

---

УДК 004.75.05

А.В. Горбенко

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков*

## **КОНЦЕПЦИЯ И ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ГАРАНТОСПОСОБНЫХ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*В статье предложена концепция построения гарантоспособных сервис-ориентированных систем из негарнтоспособных Web-компонентов с неопределенными характеристиками. Концепция базируется на системе принципов, реализующих идеи функционально-компонентной интеграции Web-сервисов; учета и снижения неопределенности характеристик гарантоспособности и производительности; структурно-временной оптимизации, реверсивного обновления и реконфигурации сервис-ориентированных систем. Определена последовательность реализации принципов в рамках системного подхода к созданию гарантоспособных сервис-ориентированных систем.*

**Ключевые слова:** *сервис-ориентированные системы, гарантоспособность, концепция и принципы.*

### **Введение**

Несмотря на интенсивное развитие информационной технологий, объединенных под общей концепцией сервис-ориентированных систем (СОС) и интернет вычислений [1, 2], они еще не достигли совершенства, особенно при решении задач построения и обеспечения гарантоспособности сложных компонентно-интегрируемых сервис-ориенти-

рованных систем для критических и бизнес-критических приложений. Для повсеместного внедрения и использования сервис-ориентированные системы должны обладать способностью парировать многочисленные отказы, сбои и потенциально опасные события, обусловленные различными причинами, включая низкое качество Web-компонентов и их неполное функциональное соответствие, изменяющиеся характеристики среды взаимодействия,

отказы отдельных компонентов, ошибки интеграции, разрывы сетевых соединений, изменение условий эксплуатации и др.

Возможность создавать гарантоспособные инфраструктуры Web-сервисов является критическим условием развития бизнеса, науки, обороны, медицинского обслуживания, улучшения качества повседневной жизни, расширения рынка Web-услуг, эффективного функционирования предприятий и государственного аппарата. Такое видение будущего развития технологий Web-сервисов находится в соответствии со многими руководящими документами, планами развития, отчетами, научными проектами и инициативами, финансируемыми как из коммерческих, так и их правительственных и международных источников (например, программы NEC, NESSI, NECTISE, EPSRC, DTI, EC, FP7 и др. [3, 4]). Анализ концепции гарантоспособности и современного состояния теории гарантоспособных систем [5, 6] свидетельствует о том, что особенности нового класса информационно-вычислительных систем, основанных на принципах сервис-ориентированной архитектуры и компонентной интеграции Web-сервисов, учтены не в полной мере:

– во-первых, современные подходы к обеспечению гарантоспособности компьютерных систем (КС) основываются на допущении о том, что разработчику таких систем известны характеристики гарантоспособности используемых компонентов, что не является верным для СОС;

– во-вторых, существующая концепция гарантоспособности не уделяет достаточного внимания проблемам учета и снижения неопределенности характеристик СОС и компонентов, а также анализа и обеспечения достоверности обслуживания;

– в третьих, применительно к сервис-ориентированным системам проявляется дуализм восприятия гарантоспособности, который обусловлен наличием двух основных взаимодействующих субъектов сервис-ориентированной архитектуры: провайдера и потребителя Web-услуг. Потребитель Web-услуг воспринимает характеристики гарантоспособности и производительности некоторого Web-сервиса сквозь призму среды коммуникации;

– в четвертых, неопределенность гарантоспособности и оперативности Web-компонентов не только затрудняет прогнозирование характеристик КИСОС, но и делает невозможным оптимальное применение существующих методов и средств повышения надежности.

Следовательно, фактор неопределенности на сегодня является основным вызовом для научных работников и разработчиков таких систем.

Основываясь на результатах анализа, было выявлено объективное *противоречие* между, с одной стороны, существованием глобальных сетевых ре-

сурсов и вычислительных компонентов, предоставляющих распределенные услуги обработки и доступа к информации; наличием технологий, обеспечивающих принципиальную возможность удаленного взаимодействия Web-компонентов, но не гарантирующих надежность их интеграции; растущими требованиями физических и корпоративных пользователей к качеству, надежности и безопасности предоставления услуг и, с другой стороны, отсутствием научно-обоснованных методов и технологий, поддерживающих процесс эффективной разработки и эксплуатации СОС, индифферентных к неопределенности и недостаточной гарантоспособности и оперативности Web-компонентов.

Таким образом, **целью статьи** является формулирование концепции и принципов создания гарантоспособных сервис-ориентированных Web-систем из недостаточно гарантоспособных Web-компонентов с неопределенными характеристиками.

## 1. Концепция гарантоспособных сервис-ориентированных Web-систем

Базовые идеи построения гарантоспособных СОС основаны на *концепции создания гарантоспособных систем из негарантоспособных компонентов* (dependable systems out of undependable components – DSoUC), которая была сформулирована в работах [5, 7] в контексте эволюционного анализа развития проблемы надежности (гарантоспособности) компьютерных систем.

Концепция DSoUC развивает *концепцию синтеза надежных организмов из ненадежных компонентов*, изложенную в базовой работе Джона фон-Неймана [8]. Концепция, предложенная фон-Нейманом, базируется на использовании принципов межканального и внутриканального резервирования и принципа мажоритарного голосования для снижения вероятности ошибки при разработке автомата, реализующего требуемую функцию, с использованием логических элементов с известной вероятностью ошибочного срабатывания.

В работе [7] выполнен анализ эволюционного развития концепции Дж. фон-Неймана, начиная с середины 50-х годов и до середины 2000-х, позволивший сформулировать концепцию DSoUC, элементы которой отражены в исследованиях [9 – 12].

В данной статье концепция DSoUC развивается применительно к сложным системам, построенным на принципах сервис-ориентированной архитектуры, и формулируется как *концепция создания гарантоспособных компонентно-интегрируемых сервис-ориентированных систем из негарантоспособных Web-компонентов с неопределенными характеристиками* (Dependable Service-Oriented Systems out of Undependable Web-Components with Uncertain Characteristics, DSOSo2WC).

Она реализуется посредством формулирования (разработки) и реализации следующих принципов:

1) принцип функционально-компонентной интеграции (композиции) Web-сервисов для решения задач функционального синтеза сервис-ориентированных систем;

2) принцип учета и снижения неопределенности характеристик гарантоспособности и оперативности Web-компонентов сервис-ориентированных систем;

3) принцип структурно-временной оптимизации сервис-ориентированных систем;

4) принцип реверсивного обновления и реконфигурации сервис-ориентированных систем.

## 2. Принципы гарантоспособных сервис-ориентированных Web-систем

### 2.1. Принцип функционально-компонентной интеграции (композиции) Web-сервисов

Принцип функционально-компонентной интеграции (композиции) Web-сервисов определяет возможность их совместного использования для создания компонентно-интегрируемых СОС с расширенным набором функциональных характеристик. Функционально-компонентная интеграция выполняется на основе объединения предоставляемых Web-услуг (*комплементарная функциональная композиция*) и их суперпозиции, т.е. функционального преобразования с учетом совместимости по входным и выходным параметрам обслуживания (*сопряженная функциональная композиция*).

Реализация данного принципа возможна посредством формального теоретико-множественного описания Web-сервисов, их входных и выходных параметров, функциональных характеристик, а также способов интеграции.

### 2.2. Принцип учета и снижения неопределенности характеристик Web-компонентов

Данный принцип предполагает учет и снижение естественных факторов неопределенности и нестабильности характеристик гарантоспособности и оперативности Web-компонентов при создании компонентно-интегрируемых сервис-ориентированных Web-систем и оценке их нефункциональных характеристик. Его практическая реализация базируется на идеях:

– определения системных взаимосвязей между составляющими гарантоспособности сервис-ориентированных систем. Проведенный анализ показывает, что они находятся в сложных противоречивых отношениях, поскольку усиление одной характеристики может привести к уменьшению показателей другой [13]. Например, это касается пары «опера-

тивность – готовность» сервис-ориентированных систем, поскольку уменьшение времени ожидания ответа от компонентов таких систем уменьшает среднее время обслуживания (т.е. улучшает оперативность) для всей системы в целом, однако приводит к снижению вероятности получения ответа от компонентов за ожидаемое время, что ухудшает готовность СОС. Другим примером служит взаимосвязь готовности и информационной безопасности: поскольку повышение информационной защищенности, с одной стороны, повышает готовность к предоставлению услуг вследствие уменьшения вероятности отказов при внешних информационных вмешательствах, а с другой – уменьшает ее из-за необходимости периодического проведения мониторинга и обновления системы защиты, которая нуждается в дополнительных непроизводительных затратах времени;

– накопления и агрегации результатов экспериментального измерения характеристик гарантоспособности и оперативности Web-компонентов в процессе их эксплуатации различными потребителями Web-услуг для формирования априорной кооперативной оценки этих характеристик. Такая оценка является начальным обоснованием выбора Web-компонентов среди множества функционально-эквивалентных услуг при создании СОС;

– уточнения априорной оценки характеристик Web-компонентов на основе их субъективного апостериорного измерения в процессе эксплуатации СОС и уточнение посредством использования Байесовского подхода;

– селектирования характеристики гарантоспособности и оперативности коммуникационной среды взаимодействия от характеристик непосредственно Web-компонентов при их измерении потребителями Web-услуг;

– оперативном контроле вида и степени неопределенности характеристик гарантоспособности и оперативности для их адекватного представления в виде точечных или интервальных оценок характеристик Web-компонентов;

– использовании моделей точечной и интервальной оценки характеристик компонентно-интегрируемых СОС с учетом их структуры и способов интеграции и характеристик Web-компонентов;

– доверительном оценивании характеристик гарантоспособности и оперативности Web-услуг на основе предоставления доказательных аргументов, гарантий, определяющих степень доверия к результату обслуживания. В качестве таких аргументов могут быть использованы доверительная вероятность и/или процент или доверительного интервала изменения характеристик гарантоспособности и оперативности. Доверительное оценивание характе-

ристик становится возможным при переходе от интервального вида неопределенности к вероятностному на основе выявления и использования вероятностных законов распределения значений этих характеристик.

### 2.3. Принцип структурно-временной оптимизации сервис-ориентированных систем

Структурно-временная оптимизация сервис-ориентированных систем может выполняться в пространстве функционально-эквивалентных диверсных Web-сервисов и их сопряженно-композиционных цепочек с взаимозависимыми характеристиками гарантоспособности и оперативности обслуживания.

Основой структурно-временной оптимизации является понимание того факта, что характеристики готовности и оперативности обслуживания связаны между собой так, что улучшение одной ведет к ухудшению другой и наоборот [13]. При этом основным параметром оптимизации является время ожидания обслуживания (таймаут).

Кроме того, естественная избыточность и разнообразие Web-сервисов и возможность их комбинирования открывают широкие возможности для оптимизации структуры сервис-ориентированных систем. Таким образом, реализация принципа базируется на учете, исследовании и использовании:

- фактора избыточности функционально-эквивалентных Web-сервисов и их сопряженно-композиционных цепочек, технологии создания которых обеспечивают естественную базу для возникновения и использования многоуровневой диверсности прикладного программного обеспечения, операционной среды функционирования (аппаратной платформы, операционной системы и набора обязательных системных компонентов) и диверсности размещения в глобальной сети Интернет. Версионная избыточность функционально-эквивалентных Web-сервисов и сопряженно-композиционных цепочек формирует пространство вариантов для постановки и решения задач структурно-временного оптимального раздельного и смешанного резервирования, особенностью которых является учет некоммукативности операции сопряженной композиции, что приводит к появлению класса структурных схем надежности с направленными мостиковыми элементами;

- сервис-ориентированного предоставления Web-услуг, обуславливающего дискретный (per-demand) характер обслуживания и отказов СОС и их компонентов (т.е. Web-сервисов);

- многовариантности результатов обслуживания и вероятностно-временной взаимосвязи между ними, обусловленной глобально-распределенным

асинхронным характером взаимодействия провайдера и потребителя Web-услуг.

### 2.4. Принцип реверсивного обновления и реконфигурации СОС

Данный принцип предполагает реконфигурацию сервис-ориентированных систем с учетом фактических и прогнозируемых значений нефункциональных характеристик Web-компонентов. В простейшем случае это означает динамический выбор компонентов сервис-ориентированной системы с наилучшими, на данный момент, нефункциональными характеристиками из пула функционально-эквивалентных Web-сервисов с возможностью их реверсивного замещения при изменении или уточнении значений нефункциональных характеристик (готовности, достоверности, оперативности обслуживания и др.). В более сложном варианте возможно оперативное изменение структуры сервис-ориентированной системы, а также параметров вызова Web-сервисов (например, таймаутов) за счет динамического решения задач структурно-временной оптимизации в ответ на изменение/уточнение характеристик Web-компонентов, а также обновление их состава.

Реализация данного принципа обеспечивает способность СОС к улучшению нефункциональных характеристик обслуживания и их адаптируемости к изменению требований, условий и среды взаимодействия и характеристик Web-компонентов на основе эволюционирования структуры и режимов функционирования СОС и средств обеспечения гарантоспособности за счет:

- динамической заменяемости функционально-альтернативных Web-компонентов при изменении/уточнении характеристик оперативности и гарантоспособности;

- событийно-ориентированного оптимального резервирования и изменения параметров функционирования в условиях неопределенности характеристик компонентов и среды взаимодействия.

## 3. Системный подход к созданию гарантоспособных сервис-ориентированных систем

Предложенные концепция и принципы позволяют сформулировать и реализовать системный подход к созданию гарантоспособных сервис-ориентированных систем, предоставляющих необходимый набор услуг с требуемыми характеристиками гарантоспособности и оперативности обслуживания при минимальных затратах.

Введем формальные определения таких систем и их компонентов – Web-сервисов.

*Web-сервис S* – представляет собой программную реализацию атомарной операции *W* по предос-

тавлению услуги  $Y$  в соответствии с запросом  $X$ ,  
 $S: X \xrightarrow{W} Y$  :

1) услуга  $Y$  описывается набором параметров  $\{y_i\}_{i=1}^m$ ,  $y_i$  – суть возвращаемая информация (при интерактивном взаимодействии) или выполненная операция (при неинтерактивном взаимодействии);

2) запрос  $X$  – описывается набором параметров  $\{x_j\}_{j=1}^n$ ,  $x_j$  – суть исходная информация, необходимая для получения услуги  $Y$ .

*Сервис-ориентированная система* – это композитный сервис  $CS$ , предназначенный для предоставления заданного расширенного множества услуг  $Y_{CS}$  по запросу  $X_{CS}$ , получаемый путем объединения (комплементарной и сопряженной функциональной интеграции) отдельных Web-сервисов.

С учетом введенных формализованных понятий сервис-ориентированных систем и их компонентов системный подход к созданию гарантоспособных СОС может быть реализован в такой последовательности.

Этап 1. Функциональный синтез СОС, предоставляющей необходимый набор услуг  $Y^{CS}$  при использовании имеющегося набора входных параметров  $X^{CS}$ .

Этап 2. Снижение неопределенности нефункциональных характеристик Web-компонентов и оценка характеристик СОС в целом.

Этап 3. Выбор наилучшей безызбыточной СОС из множества возможных вариантов при использовании целевой функции оптимизации  $Z^{CS}$  с учетом установленных ограничений  $D^{CS}$  на значения характеристик гарантоспособности.

Этап 4. В случае, если выбранная СОС не удовлетворяет установленным ограничениям  $D^{CS}$ , то выполняется оптимизация параметров функционирования Web-компонентов СОС (в частности, времени ожидания обслуживания) и/или структуры СОС на основе решения задач оптимального резервирования.

Этап 5. Адаптация структуры СОС и/или параметров функционирования Web-компонентов к изменению требований, функциональных и нефункциональных характеристик компонентов или множества доступных Web-услуг.

## Заключение

Анализ проблем построения сервис-ориентированных систем показывает, что на сегодня не существует общей теории, предлагающей строгое математическое описание, обоснование и решение задач синтеза сервис-ориентированных систем с требуемыми характеристиками гарантоспособности и производительности с учетом неопределенности, присущей таким системам, могут быть сформулирова-

ны следующие актуальные направления исследований в этой области.

1. Экспериментальное исследование, анализ и определение причин и последствий функциональной изменчивости и неопределенности характеристик гарантоспособности и оперативности сервис-ориентированных систем и Web-компонентов; анализ видов, причин и последствий отказов в таких системах.

2. Достоверная оценка и прогнозирование (разработка методик измерения и статистического анализа характеристик КИСОС и Web-сервисов, а также определение статистических законов их распределения и прогнозирование изменения; построение моделей, позволяющих определять уровень неопределенности (нестабильности), оценивать степень доверия к измеренным характеристикам, а также повысить эффективность взаимодействия слабосвязанных компонентов, в частности, за счет правильного выбора времени ожидания обслуживания).

3. Поддержка конкурентоспособности на рынке Web-услуг на основе разработки научно-обоснованных методик, позволяющих сравнивать характеристики различных Web-компонентов СОС с учетом фактора неопределенности, их ранжирование и многокритериальный выбор при решении задач динамической интеграции сервис-ориентированных систем из множества альтернативных по своей функциональности Web-сервисов.

4. Формулирование принципов создания продвинутых механизмов отказоустойчивости и восстановления после отказов и сбоев, устойчивых к проблеме неопределенности и способных динамически адаптировать структуру и параметры СОС к изменениям характеристик компонентов для достижения требуемой гарантоспособности и оперативности. Должны быть исследованы особенности и проблемы использования традиционных методов и средств повышения надежности и предложены методы их адаптации для сервис-ориентированных систем.

Таким образом, компьютерная индустрия и научное сообщество нуждаются в новой теории, имеющей строгую математическую основу и практическую направленность и обеспечивающей лучшее понимание проблемы неопределенности сервис-ориентированных систем, динамического поведения Web-компонентов и механизма слабо-связанного взаимодействия.

В свою очередь, эффективные методы и технологические решения, позволяющие создавать естественно-гарантоспособные (*dependability-explicit*) сервис-ориентированные системы из негарантоспособных компонентов с изменяемой функциональностью и высокой неопределенностью нефункциональных характеристик, должны базироваться на строгой методологической основе, которую обеспе-

чивають пропозиції в статті концепція і принципи побудови гарантоспособних сервіс-орієнтованих систем.

Для подолання вказаних проблем в статті запропонована концепція створення гарантоспособних компонентно-інтегрованих сервіс-орієнтованих систем з негарантоспособних Web-компонентів з неопределеними характеристиками, яка ґрунтується на системі принципів, направлених на:

1) зменшення неопределенності за рахунок моніторингу і експериментального оцінювання характеристик Web-сервісів, обобщення і аналізу статистических даних від множини користувачів;

2) розробка методів оптимізації структур і параметрів функціонування СОС, оптимального резервування, адаптації і динамічної реконфігурації незважаючи на недостатність інформації, використовуючи евристичний і так званий Best-Effort-підхід, не гарантуючий забезпечення глобальної оптимальності характеристик гарантоспособності і оперативності, але направлений на використання всіх доступних можливостей для їх максимізації.

### Список литературы

1. Antonopoulos N. *Cloud Computing: Principles, Systems and Applications* [Текст] / N. Antonopoulos, L. Gillam. – L.: Springer, 2010. – 379 p.
2. *Service-Oriented Architecture*. [Електронний ресурс] // Microsoft Developer Network. – Режим доступу к ресурсу: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa480021.aspx>.
3. *Grand Challenges in Computing Research Report* [Електронний ресурс]. – London: UK Computing Research Committee, 2008. – Режим доступу к ресурсу: <http://www.ukcrc.org.uk/press/news/challenge08/gccr08final.cfm?type=pdf>.
4. *Software 2015: A National Software Strategy to Ensure US Security and Competitiveness* [Електронний ресурс]. – Upper Marlboro (USA): US Center for National

*Software Studies*, 2005. – Режим доступу к ресурсу: [http://www.cnsoftware.org/nss2report/NSS2\\_FinalReport04-29-05PDF.pdf](http://www.cnsoftware.org/nss2report/NSS2_FinalReport04-29-05PDF.pdf).

5. Харченко В.С. Гарантосдатні системи з негарантосдатних компонент: принципи побудови, контролю та управління [Текст] / В.С. Харченко, А.В. Горбенко // *Оптика-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – 2006. – №1(11). – С. 115-121.

6. Теслер Г.С. Концепція побудови гарантоспособних вычислительных систем [Текст] / Г.С. Теслер // *Математичні машини і системи*. – 2006. – № 1. – С. 134-145.

7. Харченко В.С. От безотказных цифровых устройств к гарантоспособным Веб-системам: эволюция парадигм, методов и средств [Текст] / В.С. Харченко // *Международная конференция – СИЭТ'2004: тр. Конференции*. – Одесса, 2004. – С. 15-17.

8. Фон-Неман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент [Текст] / Дж. Фон-Неман // *Автоматы*. – 1956. – С. 68-139.

9. Многоверсионные системы, технологии, проекты [Текст] / В.С. Харченко, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко, Н.В. Нечипорук; под редакцией В.С. Харченко. – X.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 586 с.

10. CS-TR: 863 *Development of Dependable Web Services out of Undependable Web Components* [Text] / A. Gorbenko, V. Kharchenko, P. Popov, et al. – School of Computing Science, University of Newcastle, 2004. – 36 p.

11. Avizienis A. *The N-Version Approach to Fault-Tolerant Software* [Text] / A. Avizienis // *IEEE Trans. on Software Engineering*. – 1985. – Vol. 11, No. 12. – P. 1491-1501.

12. Харченко В.С. Теоретические основы дефектоустойчивых цифровых систем с версионной избыточностью [Текст] / В.С. Харченко. – X.: МО Украины, 1996. – 506 с.

13. Горбенко А.В. Вероятностно-временная модель отказов web-сервисов [Текст] / А.В. Горбенко // *Системи обробки інформації: збірник наукових праць*. – X.: ХУ ПС, 2012. – Вип. 2(100). – С. 32-37.

Поступила в редколлегию 15.08.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### КОНЦЕПЦІЯ ТА ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНИХ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ

А.В. Горбенко

У статті запропоновано концепцію створення гарантосдатних сервіс-орієнтованих систем з негарантосдатних Web-компонентів з невизначеними характеристиками. Концепція базується на принципах, що реалізують ідеї функціонально-компонентної інтеграції Web-сервісів; урахування та зниження невизначеності характеристик гарантосдатності та продуктивності; структурно-часової оптимізації, реверсивного оновлення та ре конфігурації сервіс-орієнтованих систем. Визначено послідовність реалізації принципів у межах системного підходу до створення гарантосдатних сервіс-орієнтованих систем.

**Ключові слова:** сервіс-орієнтовані системи, гарантосдатність, концепція та принципи.

### A CONCEPT AND PRINCIPLES OF DEPENDABLE SERVICE-ORIENTED SYSTEMS DEVELOPMENT

A.V. Gorbenko

In the paper we propose a concept of dependable service-oriented systems development out of undependable web-components with uncertain characteristics. The concept is based on the principles of functional-components integration of Web-services; accounting and reducing uncertainty of their dependability and performance; time-structural optimization, reverse update and reconfiguration of service-oriented systems. A sequence of the principles implementation under the system approach of dependable service-oriented systems development is described.

**Keywords:** service-oriented systems, dependability, a concept and principles.