

УДК 004.75.05

А.В. Горбенко

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

## ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ГАРАНТОСПОСОБНЫХ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ WEB-СИСТЕМ

*В статье рассмотрена эволюция концепции гарантоспособности и гарантоспособных систем. Выполнен анализ проблем обеспечения гарантоспособности информационных систем, построенных на принципах сервис-ориентированной архитектуры с использованием технологий web-сервисов. Одной из основных проблем обеспечения гарантоспособности сервис-ориентированных систем является неопределенность нефункциональных характеристик компонентов – Web-сервисов. Проанализированы существующие работы в области построения гарантоспособных сервис-ориентированных систем и определены актуальные направления для дальнейших исследований.*

**Ключевые слова:** гарантоспособность, сервис-ориентированные системы, web-сервисы.

### Введение

В настоящее время в Украине, ведущих странах Европы, США, Китае, Японии и России проводятся интенсивные научные исследования, практические разработки и накоплен значительный опыт использования компьютерных систем (КС) для авиационных и ракетно-космических комплексов, АЭС, железнодорожного транспорта, а также комплексов бизнес-критического применения.

Факты свидетельствуют, что надежность и безопасность современных комплексов критического и бизнес-критического применения (ККБП) существенно зависит от надежности и безопасности компьютерных систем и их компонентов – программных, аппаратных, сетевых, а также стойкости к воздействию факторов внешней среды. Это, в частности, подтверждается результатами анализа рисков ракетно-космической техники [1], в соответствии с которыми 13% отказов ракетопосредителей обусловлено программными средствами систем управления, в то же время для космических аппаратов этот показатель составляет 20% и еще 6% приходится на отказы аппаратных средств бортовых компьютеров.

До последнего времени проблемы обеспечения безотказности, готовности, отказоустойчивости и информационной безопасности в большинстве научных исследований и разработок рассматривались разными (в первую очередь, отечественными) специалистами отдельно, хотя эти и другие свойства, бесспорно, взаимосвязанные и влияют друг на друга. Это подтверждают публикации в ведущих международных журналах, технических отчетах научных центров и университетов, работах конференций относительно проблемы гарантоспособности [2–4]. Учитывая тесную связь обозначенных составляющих для КС, их определяющее влияние на надежность и безопасность ККБП в целом и определен-

ную ограниченность результатов исследований по этому вопросу, актуальным является разработка основ теории гарантоспособных систем и комплексных методов обеспечения гарантоспособности КС.

Принимая во внимание статистику инцидентов, аварий и катастроф, вызванных в почти в каждом пятом случае отказами КС, рост интенсивности влияния пассивных и активных факторов внешней среды, специалистами научно-технических центров LAAS (Франция), SRC и CSR (Великобритания), известных фирм Siemens (ФРГ), Schneider Electric (Франция), Boing, Westinghouse (США) и др. интенсифицируются исследование и разработки, направленные на разработку новых технологий создания отказоустойчивых аппаратных, программных, сетевых компонентов и КС в целом.

Следует отметить, что такие задачи приобретают все большую значимость для бизнес-критических приложений (банковских и медицинских комплексов, систем электронной коммерции, ГИС и систем мониторинга окружающей среды, приложений распределенного хранения и обработки данных для моделирования сложных систем и процессов, актуальных для науки и техники), которые строятся на принципах сервис-ориентированной архитектуры [5] с использованием технологий Web-сервисов [6] и глобальной сети Интернет – в качестве среды взаимодействия.

В связи с этим, целью статьи является исследование проблемы и формулирование актуальных задач построения гарантоспособных сервис-ориентированных Web-систем.

### 1. Гарантоспособность и гаранто-способные системы

В последние годы исследования относительно надежности и безопасности КС приобрели более комплексный системный характер. Это подтвержда-

ется разработкой концепции гарантоспособных компьютерных систем (Dependable Computing) [7], которая базируется на расширенном понятии надежности – гарантоспособности. В работах известных специалистов А. Авижениса, Ж.-К. Лапри, Б. Рендела, представляющих соответственно американские, французские и английские научные центры в этой предметной области, свойство гарантоспособности и ее состав определяются через понятие услуг (сервисов – services), которые предоставляются системой [2]. Эта работа подытоживает двадцатилетний путь формирования базовых понятий, который начался из редакционной статьи А. Авижениса и Ж.-К. Лапри в спецвыпуске корпорации IEEE, переведенной на русский язык в 1986 году [7].

Первые работы в русскоязычной литературе, где использовался термин в том же смысле были опубликованы в [8, 9], но не нашли дальнейшего развития, в первую очередь, из-за некоторого терминологического консерватизма среди специалистов в надежности, а также вследствие определенного отторжения возможности комплексирования вопросов относительно обеспечения безотказности (отказоустойчивости) аппаратных и программных средств в единой системе.

*Гарнтоспособность* в [2] определяется как свойство компьютерной системы предоставлять требуемые услуги, которым можно оправданно доверять. К первичным свойствам гарантоспособности относятся:

- безотказность (reliability);
- готовность (availability);
- достоверность (high confidence);
- приспособленность к обслуживанию или ремонтпригодность (maintainability);
- информационная безопасность (security) и ее составляющие – конфиденциальность (confidentiality) и целостность (integrity);
- аварийная безопасность (safety).

При этом *отказоустойчивость (fault-tolerance)* – способность автоматически, за ограниченное время прогнозировать, предупреждать, парировать и восстанавливать работоспособность после отказов) – определяется как средство или механизм поддержки всех составляющих гарантоспособности, а не как отдельная её составляющая [10]. Такой подход к отказоустойчивости имеет смысл, поскольку обеспечение определенного уровня всех составных гарантоспособности в условиях расширения множества причин, которые могут вызвать отказ (т.е. непредоставление услуг), нуждается в реализации комплексных средств отказоустойчивости. Системы или процессы (например, вычисление), которые имеют такое комплексное свойство, могут называться *гарнтоспособными*. Причем о гарантоспособности и гарантоспособных компьютерных системах имеет смысл говорить тогда, когда таким системам присущи как традиционные

надежностные свойства (безотказность, готовность), так и свойства информационной безопасности (целостность, конфиденциальность).

Вопрос разработки и использование гарантоспособных систем обсуждаются на специализированных национальных и международных форумах и конференциях (Conference on Dependable Systems and Networks, *DSN*; European Dependable Computing Conference, *EDCC*; International Conference on Computer Safety, Reliability and Security, *SAFECOM*; Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, *PSAM*; Dependable Systems, Services and Technologies, *DESSERT*, Conference on Dependability of Complex Systems, *DepCoS* и др.) уже более 20 лет.

С 2004 года всемирно известной научно-технической корпорацией IEEE, которая отслеживает наиболее важные тенденции в информационных технологиях, издается журнал *Dependable and Security Computing*. Указанные направления научно-технических разработок относительно создания гарантоспособных компьютерных систем и сетей поддерживаются военными министерствами США, Великобритании, НАТО и распространяются в бизнес-критических приложениях, а именно электронной коммерции (Dependable e-services, Internet-commerce) и банковских технологиях высокой, продолженной и гарантированной готовности (High, Continuous, Dependable Availability Technologies) [3].

## 2. Эволюция концепции гарантоспособных систем

В последние годы появились международные и отраслевые стандарты [11, 12], посвященные гарантоспособности компьютерных систем и программного обеспечения и согласованные с концепцией гарантоспособности, предложенной в [2]. Тем не менее, эволюционный анализ концепции гарантоспособности и современного состояния теории гарантоспособных систем (рис. 1) свидетельствует о том, что теория построения гарантоспособных систем из негарнтоспособных компонентов не в полной мере учитывает особенности нового класса информационно-вычислительных систем, основанных на принципах сервис-ориентированной архитектуры и компонентной интеграции Web-сервисов.

Во-первых, современные подходы к обеспечению гарантоспособности КС основываются на допущении о том, что разработчику таких систем известны характеристики гарантоспособности используемых компонентов, что не является верным для СОС.

Во-вторых, концепция гарантоспособности не уделяет достаточного внимания проблемам учета и снижения неопределенности характеристик гарантоспособности СОС и компонентов, а также анализа и обеспечения достоверности обслуживания.

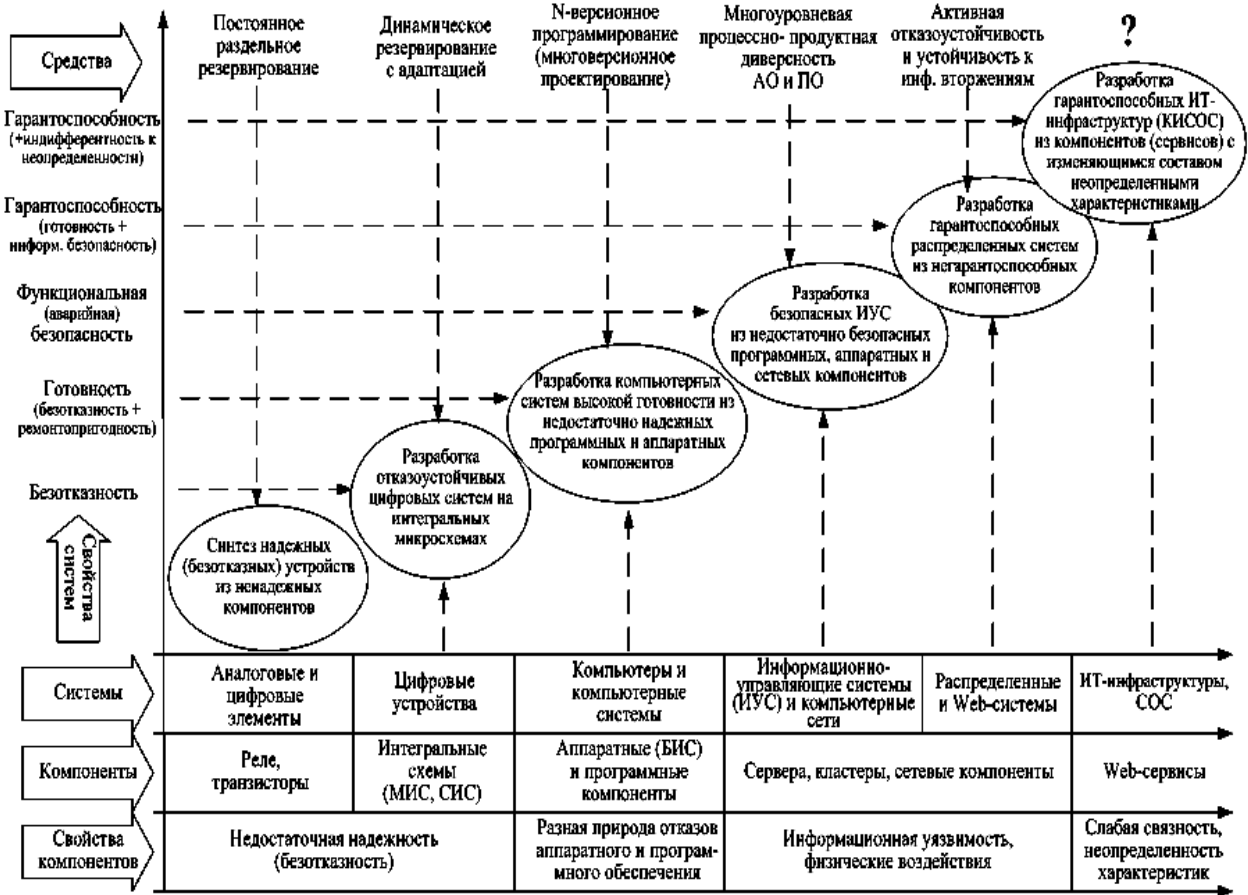


Рис. 1. Эволюция концепции гарантоспособных систем

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

Распределенная модель взаимодействия, слабая связанность, инкапсуляция деталей реализации и отсутствие контроля над используемыми Web-услугами обуславливают их «отчужденность» от потребителя и значительно сужают для него номенклатуру воспринимаемых характеристик гарантоспособности и сокращают набор доступных показателей для их оценки.

В четвертых, современная концепция гарантоспособности не учитывает вероятностно-временную взаимосвязь между различными вариантами обслуживания, возникновение которой обусловлено асинхронным распределенным характером взаимодействия потребителя и провайдера Web-услуг и нестабильностью временных задержек в коммуникационной среде Интернет, что позволяет говорить о сближении и тесной взаимосвязи характеристик гарантоспособности и оперативности.

### 3. Проблемы и задачи построения гарантоспособных сервис-ориентированных систем

Сервис-ориентированные системы представляют собой компонентную интеграцию Web-сервисов, предполагающую их параллельно-последовательное функционирование при решении комплексной задачи. Основными проблемами обеспечения гарантоспособных таких систем, помимо недостаточной надежности и оперативности Web-компонентов, являются:

1) *нестабильность функционального состава и структуры СОС;*

2) *многовариантность результатов обслуживания*, которая проявляется в том, что при вызове Web-сервиса может быть получен корректный результат обслуживания; некорректный (неочевидный ошибочный) результат, очевидный ошибочный результат (явное сообщение о возникшей ошибке), а также отсутствие любого из перечисленных выше результатов в течение установленного времени ожидания;

3) *неопределенность характеристик гарантоспособности отдельных компонентов* (т.е. Web-сервисов) – доступности, безотказности, готовности, достоверности и др.;

4) *неопределенность характеристик оперативности* Web-сервисов, прежде всего, времени обработки запросов и *непредсказуемость изменения сетевой задержки*, индивидуальной для каждого клиента, что обусловлено глобальностью, недостаточно высоким качеством и надежностью сети Интернет;

5) *сложность эффективного применения традиционных средств повышения гарантоспособности и оперативности* из-за невозможности точного диагностирования возникающих отказов, а также отсутствия достоверной априорной информации о значении надежных характеристиках Web-компонентов и оперативности обслуживания.

Таким образом, можно констатировать, что, несмотря на существенный прогресс в информационных технологиях на сегодня отсутствуют устоявшиеся методы и технологии измерения, оценки и прогнозирования характеристик Web-сервисов и сервис-ориентированных систем в условиях их использования множеством независимых клиентов, неравномерности поступления запросов, отсутствие информации о текущем состоянии (загруженности, готовности и др.) удаленных Web-компонентов.

Существующие трудности объективной и достоверной оценки гарантоспособности и оперативности отдельных Web-сервисов фактически делают невозможным прогнозирование характеристик компонентно-интегрируемых сервис-ориентированных систем, а также целенаправленного и оптимального синтеза таких систем с требуемыми характеристиками.

Кроме того, недостаточность информации и характеристиках компонентов СОС, участвующих в интеграции, сложность и неоднозначность результатов их выполнения, а также глобальная распределенность компонентов таких систем в Интернет и возникающие из-за этого проблемы с синхронизацией затрудняют применение традиционных методов обеспечения отказоустойчивости в целях повышения гарантоспособности.

Несмотря на интенсивное развитие технологий Web-сервисов они еще не достигли своего предела, особенно при решении задач построения и обеспечения гарантоспособности сложных компонентно-интегрируемых сервис-ориентированных систем для критических и бизнес-критических приложений.

Для повсеместного использования сервис-ориентированные системы должны обладать способностью парировать многочисленные отказы, сбои и потенциально-опасные события, обусловленные разнообразными причинами, включая низкое качество Web-компонентов их неполное функциональное соответствие, изменяющиеся характеристики среды взаимодействия, отказы отдельных компонент, ошибки интеграции, разрывы сетевых соединений, изменение условий эксплуатации. Возмож-

ность 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 из правительственных и международных источников (например, программы NEC, NESSI, NECTISE, EPSRC, DTI, EC, FP7 и др. [13, 14]).

Современные научные исследования и практические разработки в этой области ведутся в следующих направлениях [15–18]:

1) адаптация традиционных механизмов обеспечения отказоустойчивости (включая мажоритарное резервирование, репликацию, технологии восстановления после сбоя, основанные на механизмах контрольных точек или коллективной обработки исключений) для сервис-ориентированной архитектуры;

2) проведение оценочных испытаний, экспериментальная и теоретическая оценка характеристик гарантоспособности;

3) анализ робастности технологий Web-сервисов и сервис-ориентированных систем и их поведения в условиях экстремальных внешних и внутренних воздействий на основе стрессового тестирования и техники «засева» ошибок;

4) расширение описания WSDL Web-сервисов за счет включения параметров качества обслуживания QoS и их использования в качестве дополнительных критериев поиска и отбора сервисов.

Однако, анализ показывает, что проводимые исследования посвящены частным задачам и предлагают отдельные решения, не делая попытки их объединения и комплексного использования. Несмотря на то, что эти решения способны улучшить некоторые аспекты создания и функционирования Web-сервисов, существующие работы не рассматривают в комплексе важнейший для СОС *фактор неопределенности* и не предлагают единого подхода для его учета и снижения, что является необходимым условием обеспечения гарантоспособности сервис-ориентированных систем при их создании из Web-компонентов с недостаточными и/или неопределенными характеристиками гарантоспособности и оперативности.

Состояние проблемы создания гарантоспособных сервис-ориентированных систем и возможные подходы к её решению систематизированы на рис. 2.



Рис. 2. Состояние проблемы гарантоспособности СОС и пути решения

С учетом возможных направлений и подходов к решению указанной проблемы может быть сформулирован набор взаимосвязанных частных задач анализа и синтеза:

- 1) анализ проблемы создания гарантоспособных сервис-ориентированных систем из негарантоспособных Web-компонентов с неопределенными характеристиками;
- 2) разработка методологии (концепции и принципов) создания гарантоспособных СОС;
- 3) разработка моделей формального описания СОС и оценки их гарантоспособности, а также методов композиции web-сервисов и функционального синтеза СОС;
- 4) разработка методов снижения неопределенности характеристик гарантоспособности и оперативности обслуживания Web-сервисов на основе результатов аналитического и имитационного моделирования, а также экспериментального оценивания;
- 5) разработка методов повышения производительности, оперативности и гарантоспособности СОС на основе использования имеющейся естественной избыточности web-сервисов;
- 6) разработка информационных технологий создания, предоставления и использования гаранто-

способных СОС и Web-сервисов, а также практическое внедрение полученных методологии, моделей, методов и информационных технологий.

### Заключение

Анализ и обобщение опыта практического создания и эксплуатации Web-сервисов и сервис-ориентированных систем позволяет выявить противоречие между:

- растущими требованиями физических и корпоративных пользователей к гарантоспособности и оперативности предоставления информационно-вычислительных услуг в Интернет-среде, с одной стороны, и отсутствием методологических основ для эффективного создания КИСОС, индифферентных к неопределенности и недостаточной гарантоспособности и оперативности Web-компонентов, – с другой;
- существованием глобальных сетевых ресурсов и программных компонентов, предоставляющих распределенные услуги обработки информации;
- наличием технологий, обеспечивающих принципиальную возможность удаленного взаимодействия Web-компонентов, но не гарантирующих надежность их интеграции.

Таким образом, актуальной научно-прикладной проблемой в развитии информационных технологий является создание гарантоспособных компонентно-интегрируемых сервис-ориентированных Web-систем из недостаточно гарантоспособных глобально-распределенных Web-компонентов с неопределенными характеристиками.

### Список литературы

1. Безопасность ракетно-космической техники и надежность компьютерных систем [Текст] / А.В. Горбенко, С.А. Засуха, В.И. Рубан и др.] // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – №1(78). – С. 9–20.
2. *Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing* [Текст] / A. Avizienis, J.-C. Laprie, B. Randell, C. Landwehr // *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. – 2004. – Vol. 1, No. 1. – С. 11–33.
3. Харченко, В.С. От безотказности электронных устройств к гарантоспособности web-систем [Текст] / В.С. Харченко // *Контрольно-измерительные приборы и автоматика*. – 2004. – № 9. – С.4–10.
4. Теслер, Г.С. Решение проблемы гарантоспособности компьютерных систем в аспекте базисов компьютерной науки [Текст] / Г.С. Теслер // *Математичні машини і системи*. – 2008. – № 4. – С. 171–188.
5. MacKenzie C.M. *OASIS Reference Model for Service Oriented Architecture. Ver. 1.0* [Текст] / С.М. MacKenzie, K. Laskey, F. McCabe, etc. – Burlington: OASIS, 2006. – 31 p.
6. Seybold, P.A. *Web Services Guide for Customer-Centric Executives* [Текст] / P.A. Seybold. – Boston: Patricia Seybold Group, 2002. – 42 p.
7. Avizienis, A. *Dependable Computing: From Concepts to Design Diversity* [Текст] / A. Avizienis, J.C. Lapri // *Proceedings of the IEEE*. – 1986. – Vol.74, Issue 5. – P. 8–21.
8. Харченко, В.С. Многоальтернативные системы и обеспечение гарантоспособности [Текст] / В.С. Харченко. – Харьков: Ин-т проблем машиностроения АН Украины. – 1989. – 33 с.
9. Харченко, В.С. Модели и свойства отказоустойчивых многоальтернативных систем [Текст] / В.С. Харченко // *Автоматика и телемеханика*. – 1992. – №12. – С.140–147.
10. Єфімова, Т.І. Відмовостійкість програмного забезпечення гарантоздатних комп'ютерних систем [Текст] / Т.І. Єфімова, Б.Г. Мудла, О.М. Шалейко // *Математичні машини і системи*. – 2009. – №4. – С. 200–209.
11. IEC 62628. *Guidance on software aspects of dependability*. – Geneva: IEC, 2011. – 63 p.
12. СОУ-Н НК АУ 0060:2010. *Гарантоздатність програмно-технічних комплексів критичного призначення. Настава національного космічного агентства України. Галузева система управління якістю*. – К.: НК АУ, 2010. – 60 с.
13. *Grand Challenges in Computing Research Report* [Електронний ресурс]. – London: UK Computing Research Committee, 2008. – Режим доступу: <http://www.ukcrc.org.uk/press/news/challenge08/gccr08final.cfm?type=pdf>.
14. *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: <http://www.cnsoftware.org/nss2report/NSS2FinalReport04-29-05PDF.pdf>.
15. *Service-Oriented Computing: A Research Roadmap* [Текст] / M. Papazoglou, P. Traverso, S. Dustdar, F. Leymann // *Int. Journal of Cooperative Information Systems*. – 2008. – Vol. 17, No 2. – P. 223–255.
16. Zheng, Z. *A QoS-Aware Fault Tolerant Middleware for Dependable Service Composition* [Text] / Z. Zheng, M. Lyu // *Int. Conf. On Dependable Systems and Networks – DSN'2009: conference proceedings*. – Lisbon (Portugal), 2009. – P. 239 – 248.
17. Vieira, M. *Assessing Robustness of Web-services Infrastructures* [Text] / M. Vieira, N. Laranjeiro, H. Madeira // *Int. Conf. On Dependable Systems and Networks – DSN'2007: conference proceedings*. – Edinburg (UK), 2007. – P. 131–136.
18. Gonczy, L. *Dependability Evaluation of Web Service-Based Processes* [Text] / L. Gonczy, S. Chiaradonna, F. Giandomenico // *3rd European Performance Engineering Workshop – EPEW'2006: conference proceedings*. – Budapest (Hungary), 2006. – P. 166–180.

Поступила в редакцію 19.07.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.С. Харченко, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків.

### ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНИХ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ WEB-СИСТЕМ

А.В. Горбенко

У статті розглянуто еволюцію концепцію гарантоздатності та гарантоздатних систем. Виконано аналіз проблем забезпечення гарантоздатності інформаційних систем, побудованих за принципами сервіс-орієнтованої архітектури з використанням технологій Web-сервісів. Однією з основних проблем забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих систем є невизначеність не функціональних характеристик компонентів – Web-сервісів. Проаналізовано існуючі роботи в галузі створення гарантоздатних сервіс-орієнтованих систем та визначені актуальні напрямки для подальших досліджень.

**Ключові слова:** гарантоздатність, сервіс-орієнтовані системи, web-сервіси.

### PROBLEMS AND TASKS OF DEVELOPING DEPENDABLE SERVICE-ORIENTED WEB-SYSTEMS

A.V. Gorbenko

In the paper we discuss evolution of the dependability and dependable systems concept. We analyzed issues of ensuring dependability of systems that are built using the principles of service-oriented architecture and web services technologies. One of the key issue of building dependable service-oriented systems is an uncertainty of non-functional components they use, i.e. web-services. Existing works in the area of developing service-oriented systems have been analyzed and actual directions of the further researches in this area have been drawn.

**Keywords:** dependability, service-oriented systems, web-services.