

## Сравнительный анализ программных механизмов повышения надежности встраиваемых систем реального времени

Зиновичев Е. С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., Быковский С. В.

(Университет ИТМО)

**Введение.** Программные механизмы повышения надежности играют одну из ключевых ролей в минимизации рисков отказов и обеспечении устойчивости встраиваемых систем реального времени к внешним и внутренним воздействиям. Однако на данный момент основная проблема заключается в отсутствии четкой и компактной методики внедрения таких механизмов в функциональность проектируемых встраиваемых систем. Анализ источников [1, 2] и существующих проектов подтверждает необходимость создания таких методик, а также инструментов, которые смогут позволить разрабатывать надежные решения с учетом особенностей критически важных систем на базе известных методов обнаружения и устранения ошибок.

**Основная часть.** Целью данной работы стало выявление наиболее эффективных подходов к проектированию и внедрению программных механизмов повышения надежности, а также оценка их практической ценности по критериям: надежность, простота интеграции, степень автоматизации, совместимость с различными платформами и эффективность устранения ошибок. В рамках работы проведен обзор, классификация и сравнительный анализ существующих методов повышения надежности. Были рассмотрены методы пространственной, временной и информационной избыточности [3], включая такие подходы, как N-версионное программирование, использование контрольных точек, блоков восстановления, планирование вычислительных единиц, параметризация задач, применение диагностических модулей. Также были выделены два варианта надежной разработки ПО [2]: внедрение механизмов надежности на основе одной версии ПО (Single Design) и использование нескольких реализаций ПО в рамках повышения надежности целевой системы (Design Diversity).

Преимуществами метода Single Design являются простота реализации, сокращение расходов на разработку и тестирование за счет использования единой кодовой базы, удобство сопровождения и обновления системы. Однако в то же время он обладает повышенной уязвимостью к систематическим ошибкам, малой эффективностью по обнаружению и устранению сложных отказов, а также провоцирует увеличение нагрузки на систему из-за необходимости постоянного мониторинга и обеспечения возможности ее восстановления.

Метод Design Diversity обеспечивает повышение отказоустойчивости за счет устранения единых точек отказа, устойчивость к специфическим ошибкам реализации благодаря разнообразию версий ПО, а также гибкость системы в различных условиях эксплуатации. Его основными недостатками являются значительные затраты на разработку, сложность тестирования из-за возникающих нескольких версий ПО, вероятность появления схожих ошибок из-за общих требований и спецификаций, а также

повышенные временные и вычислительные издержки, связанные с параллельным выполнением различных реализаций.

**Выводы.** Результаты проведенной работы подчеркивают необходимость комплексного подхода к разработке механизмов повышения надежности с учетом специфики конкретных систем. Полученные данные могут быть использованы для разработки методических рекомендаций и шаблонов решений, направленных на улучшение надежности встраиваемых систем реального времени.

**Список использованных источников:**

1. Платунов А.Е., Стерхов А.С. Сторожевые механизмы во встраиваемых вычислительных системах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 301–311. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-301-311
2. Amel Solouki, Mohammadreza & Angizi, Shaahin & Violante, Massimo. Dependability in Embedded Systems: A Survey of Fault Tolerance Methods and Software-Based Mitigation Techniques. 2024. IEEE Access. PP. 1–1. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3509633.
3. Dubrova, Elena. Fault-Tolerant Design. // Springer. 2013. doi: 10.1007/978-1-4614-2113-9\_2.