

*Рыбаков Сергей Владимирович, бакалавр, Санкт-Петербургский
государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-
Петербург, Россия*

**ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ НМИ-ИНТЕРФЕЙСОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ВИРТУАЛЬНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА**

Аннотация

Разработка человеко-машинных интерфейсов (НМИ) является важным этапом создания автоматизированных систем управления, однако их предварительное тестирование зачастую выполняется на реальном технологическом оборудовании либо с использованием ограниченного набора тестовых данных. В статье предложен подход к разработке и функциональному тестированию НМИ-интерфейсов на основе виртуального испытательного стенда, построенного с использованием имитационной модели технологического объекта. Рассмотрена структура предлагаемого подхода, включающая модель технологического процесса, программный обмен данными и систему визуализации. Показано, что использование виртуального испытательного стенда позволяет выполнять проверку интерфейса на различных режимах работы объекта, выявлять ошибки проектирования на ранних этапах разработки и снизить необходимость проведения испытаний на реальном оборудовании.

Annotation

The development of human-machine interfaces (HMI) is an important stage in the creation of automated control systems; however, their preliminary testing is often performed on real technological equipment or using a limited set of test data. This paper proposes an approach to the development and functional testing of HMI interfaces based on a virtual test bench built using a simulation model of a technological object. The structure of the proposed approach is considered, including a process model, software-based data exchange, and a visualization system. It is shown that the use of a

virtual test bench enables interface verification under various operating modes of the controlled object, allows design errors to be detected at early development stages, and reduces the need for testing on real equipment.

Ключевые слова: человеко-машинный интерфейс, HMI, автоматизированная система управления, виртуальный испытательный стенд, имитационное моделирование, SCADA.

Keywords: Human–Machine Interface (HMI), Automated Control System, Virtual Test Bench, Simulation Modeling, SCADA System.

1. Введение

В современных автоматизированных системах управления человеко-машинный интерфейс (Human–Machine Interface, HMI) является основным средством взаимодействия оператора с технологическим объектом [1, 2]. Посредством HMI осуществляется мониторинг технологических параметров, управление исполнительными механизмами, отображение предупредительных и аварийных сообщений. От качества проектирования интерфейса во многом зависят эффективность работы оператора, скорость принятия решений и безопасность эксплуатации автоматизированной системы [1, 2].

Разработка HMI-интерфейсов нередко начинается до ввода технологического объекта в эксплуатацию [2, 4]. Отсутствие возможности проведения полноценных испытаний приводит к тому, что проверка интерфейса переносится на этап пусконаладочных работ, увеличивая сроки реализации проекта и стоимость его доработки [4].

Для решения данной проблемы применяются различные подходы, включая использование архивных технологических данных, программных эмуляторов контроллеров и имитационных моделей технологических процессов [5, 6]. Однако существующие решения не всегда обеспечивают возможность комплексной проверки взаимодействия оператора с интерфейсом в условиях, приближённых к реальной эксплуатации автоматизированной системы [7, 8].

Целью настоящей работы является разработка подхода к созданию НМІ-интерфейсов автоматизированных систем управления с использованием виртуального испытательного стенда. Предлагаемый подход ориентирован на повышение эффективности процесса разработки за счёт переноса значительной части испытаний на этап имитационного моделирования и может быть применён к широкому классу автоматизированных систем управления независимо от типа технологического объекта.

2. Анализ существующих подходов к разработке и тестированию НМІ-интерфейсов

За последние годы разработка человеко-машинных интерфейсов стала неотъемлемой частью проектирования автоматизированных систем управления [1, 4]. В зависимости от особенностей технологического объекта, используемого оборудования и применяемых программных средств разработчики используют различные подходы к проектированию и проверке НМІ. Самыми распространёнными являются разработка интерфейса непосредственно на реальном объекте, использование программных эмуляторов контроллеров, применение архивных технологических данных и использование имитационных моделей технологических процессов [2, 5].

Наиболее традиционным подходом является разработка и тестирование НМІ непосредственно на технологическом объекте после завершения монтажа оборудования и ввода системы управления в эксплуатацию [4, 5]. Такой способ обеспечивает достоверную проверку функционирования интерфейса, поскольку оператор взаимодействует с реальным оборудованием и получает фактические значения технологических параметров. Однако данный подход имеет ряд существенных недостатков [5, 8]. Любые ошибки, выявленные в процессе тестирования, требуют внесения изменений уже на стадии пусконаладочных работ, что приводит к увеличению сроков реализации проекта и дополнительным финансовым затратам. Кроме того, проведение испытаний на действующем

объекте не всегда допускает моделирование аварийных или нештатных режимов из-за требований безопасности и риска нарушения технологического процесса.

Для сокращения времени разработки нередко используются программные эмуляторы программируемых логических контроллеров (ПЛК), позволяющие проверить корректность обмена данными между системой управления и SCADA [4]. Такой подход обеспечивает возможность тестирования алгоритмов взаимодействия между программными компонентами, однако, как правило, ограничивается воспроизведением логики работы контроллера и не позволяет моделировать динамику самого технологического процесса. Вследствие этого проверка операторского интерфейса осуществляется в условиях, недостаточно приближённых к реальной эксплуатации объекта.

Другим распространённым способом является использование архивных или заранее сформированных наборов технологических данных [4]. Этот подход отличается простотой реализации и не требует создания математической модели объекта. Вместе с тем использование фиксированных последовательностей значений ограничивает возможности тестирования, поскольку интерфейс функционирует в условиях заранее известного сценария. При этом становится затруднительным исследование реакции НМІ на изменение режима работы объекта, возникновение аварийных ситуаций или действия оператора.

Перспективным направлением является применение имитационных моделей технологических процессов [5, 6]. Такие модели способны воспроизводить изменение параметров объекта во времени в зависимости от управляющих воздействий и внешних возмущений. В большинстве случаев они используются для исследования алгоритмов автоматического управления, настройки регуляторов и анализа динамических характеристик системы [8]. Однако потенциал имитационных моделей для разработки и предварительного тестирования НМІ-интерфейсов в литературе раскрыт недостаточно полно. Как правило, модель рассматривается как самостоятельный объект исследования, а не как элемент единого программного комплекса, обеспечивающего взаимодействие оператора с виртуальным технологическим объектом.

Таким образом, существующие подходы либо требуют использования реального оборудования, либо не обеспечивают воспроизведения динамического поведения технологического объекта в процессе проверки НМІ. Это обосновывает необходимость разработки подхода, позволяющего объединить возможности имитационного моделирования и современных средств визуализации в рамках единого виртуального испытательного стенда, обеспечивающего предварительное тестирование операторских интерфейсов до ввода автоматизированной системы управления в эксплуатацию.

3. Подход к разработке НМІ-интерфейсов на основе виртуального испытательного стенда

Разработка человеко-машинного интерфейса представляет собой многоэтапный процесс, включающий определение структуры визуализации, разработку средств управления, организацию обмена данными и последующую проверку работоспособности интерфейса. Традиционно значительная часть испытаний проводится после завершения разработки системы управления и подключения НМІ к реальному технологическому объекту. Такой подход увеличивает продолжительность разработки и усложняет внесение изменений, поскольку выявленные недостатки приходится устранять на поздних стадиях реализации проекта.

Для устранения указанных ограничений предлагается использовать виртуальный испытательный стенд, представляющий собой программный комплекс, обеспечивающий взаимодействие НМІ-интерфейса с имитационной моделью технологического объекта. В отличие от традиционных методов тестирования, предлагаемый подход позволяет выполнять функциональную проверку интерфейса на этапе проектирования без использования физического оборудования.

Под виртуальным испытательным стендом в настоящей работе понимается программно-аппаратный комплекс, включающий имитационную модель технологического объекта, средства обмена данными и систему визуализации,

предназначенный для разработки и функционального тестирования НМІ-интерфейсов без использования физического оборудования [7, 9].

Основу виртуального испытательного стенда составляет имитационная модель технологического процесса, воспроизводящая изменение технологических параметров в зависимости от управляющих воздействий и внешних возмущений. Модель формирует значения технологических переменных, которые передаются в систему визуализации посредством стандартного механизма обмена данными [3]. В свою очередь, управляющие воздействия, задаваемые оператором через НМІ, поступают обратно в модель, обеспечивая двустороннее взаимодействие между операторским интерфейсом и виртуальным технологическим объектом.

Предлагаемый подход не зависит от типа технологического объекта и может быть использован при разработке НМІ-интерфейсов различных автоматизированных систем управления. При наличии адекватной имитационной модели виртуальный испытательный стенд способен воспроизводить как штатные режимы работы оборудования, так и переходные процессы, изменение нагрузки и аварийные ситуации, что позволяет проводить комплексную проверку функционирования операторского интерфейса.

Важной особенностью предлагаемого подхода является разделение процесса разработки НМІ и процесса ввода системы управления в эксплуатацию. Значительная часть проверки интерфейса переносится на этап имитационного моделирования, благодаря чему появляется возможность заранее оценить корректность отображения технологических параметров, проверить функционирование органов управления, настроить систему сигнализации и визуализации без необходимости использования реального оборудования.

Общая структура предлагаемого подхода представлена на рисунке 1.

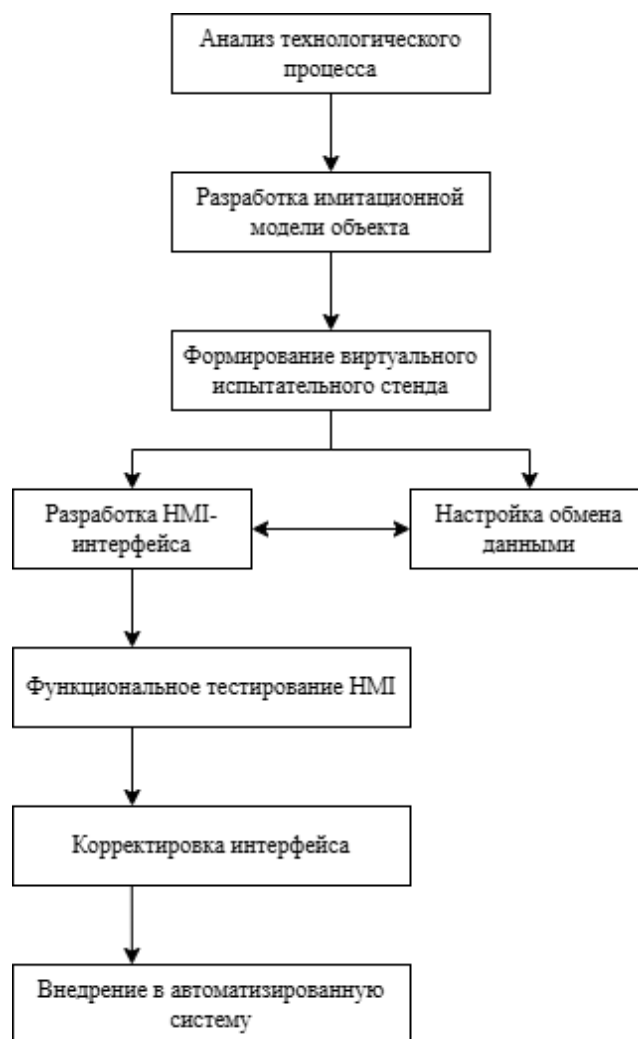


Рисунок 1 – Структурная схема предлагаемого подхода к разработке НМИ-интерфейсов.

Предлагаемая последовательность позволяет выявлять большинство ошибок проектирования до этапа пусконаладочных работ. В отличие от разработки интерфейса непосредственно на реальном объекте, использование виртуального испытательного стенда обеспечивает возможность многократного воспроизведения различных режимов работы системы, изменения входных воздействий и проверки реакции интерфейса без риска нарушения технологического процесса.

Заключение

В статье предложен подход к разработке НМИ-интерфейсов автоматизированных систем управления на основе виртуального испытательного стенда, построенного с использованием имитационной модели технологического

объекта. В отличие от традиционных методов разработки, предполагающих тестирование интерфейса на реальном оборудовании либо с использованием ограниченного набора статических данных, предлагаемый подход обеспечивает возможность предварительной функциональной проверки операторского интерфейса на этапе проектирования, без использования физического оборудования.

Проведённый анализ существующих подходов показал, что применение эмуляторов контроллеров и архивных технологических данных не позволяет в полной мере воспроизвести динамическое поведение технологического объекта, необходимое для комплексной проверки НМІ. Предложенный подход устраняет данное ограничение за счёт объединения имитационного моделирования и средств визуализации в рамках единого программного комплекса, обеспечивающего двустороннее взаимодействие оператора с виртуальным технологическим объектом.

Рассмотренная структура подхода является универсальной по отношению к типу технологического объекта и может быть адаптирована для разработки НМІ-интерфейсов автоматизированных систем управления различного назначения при наличии соответствующей имитационной модели и средств информационного обмена.

Дальнейшее развитие предложенного подхода связано с разработкой методики количественной оценки его эффективности, включая анализ трудоёмкости разработки, полноты функционального тестирования и качества операторского интерфейса, а также с практической апробацией подхода при создании НМІ для конкретных классов технологических объектов.

Литература

1. Hollifield B. The High Performance HMI Handbook. – Houston : PAS, 2008.
2. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом. — М. : Горячая линия – Телеком, 2009.

3. Mahnke W., Leitner S.-H., Damm M. OPC Unified Architecture. – Berlin ; Heidelberg : Springer, 2009.
4. Андреев Е. Б., Куцевич Н. А., Синенко О. В. SCADA-системы: взгляд изнутри. – М. : РТСофт, 2004. – 176 с.
5. Law A. M. Simulation Modeling and Analysis. – 5th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2014.
6. Banks J., Carson J. S., Nelson B. L., Nicol D. M. Discrete-Event System Simulation. – 5th ed. – Upper Saddle River : Pearson, 2010.
7. Janota A., Hruboš M., Kuchár P., Ždánský J. Virtual Commissioning as Part of New Machine Implementation // MM Science Journal. – 2024.
8. Создание имитационных моделей технологических процессов для отладки программ ПЛК и проектов SCADA/HMI // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 7. – С. 50–54.
9. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // Бизнес-информатика. – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 7–20.

Literature

1. Hollifield B. The High Performance HMI Handbook. – Houston : PAS, 2008.
2. Denisenko V. V. Computer-Based Process Control. – Moscow : Goryachaya liniya – Telekom, 2009.
3. Mahnke W., Leitner S.-H., Damm M. OPC Unified Architecture. – Berlin ; Heidelberg : Springer, 2009.
4. Andreev E. B., Kutsevich N. A., Sinenko O. V. SCADA Systems: An Inside View. – Moscow : RTSOft, 2004. – 176 p.
5. Law A. M. Simulation Modeling and Analysis. – 5th ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2014.
6. Banks J., Carson J. S., Nelson B. L., Nicol D. M. Discrete-Event System Simulation. – 5th ed. – Upper Saddle River : Pearson, 2010.
7. Janota A., Hruboš M., Kuchár P., Ždánský J. Virtual Commissioning as Part of New Machine Implementation // MM Science Journal. – 2024.

8. Creation of Simulation Models of Technological Processes for Debugging PLC Programs and SCADA/HMI Projects // Automation in Industry. – 2013. – No. 7. – P. 50–54.
9. Digital Factory: Methods of Discrete-Event Simulation and Optimization of Production Performance Characteristics // Business Informatics. – 2021. – Vol. 15, No. 2. – P. 7–20.