

УДК 338.364.2

Человеко - ориентированный интерфейс в системах управления горизонтальными факельными установками: стандартизация, проектирование и операционная эффективность

Хижняк Анастасия Сергеевна

forever_nst@mail.ru

Федотова Алена Валериевна

fea@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе рассмотрены особенности проектирования систем визуализации для автоматизированного управления горизонтальными факельными устройствами газоперерабатывающего производства. Предлагается человеко-ориентированный подход, основанный на стандарте ISA-101 и принципах высокопроизводительных интерфейсов. Описаны этапы разработки структуры мнемосхем, система сигнализации и приоритизации событий. Представлены результаты внедрения и сравнительный анализ работы оператора до и после оптимизации интерфейса.

Ключевые слова: человеко-машинный интерфейс, факельное устройство, автоматизация, мнемосхема, эффективность

Введение. Современные предприятия газовой отрасли характеризуются высоким уровнем автоматизации технологических процессов, что требует применения надежных систем визуализации и контроля. В процессе переработки газа и газового конденсата образуются промышленные сточные газы, утилизация которых традиционно осуществляется методом факельного сжигания. Наиболее приемлемым и конкурентоспособным способом утилизации считается огневой метод как наиболее универсальный, надежный и недорогой [1]. Широкое применение получили факельные устройства, управление которыми является сложной задачей, если использовать традиционные методы.

Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) (или Human Machine Interface (HMI) обеспечивает взаимодействие оператора с автоматизированными системами, предоставляя данные о ходе процесса и позволяя контролировать систему и управлять ей, но низкий уровень качества дизайна ЧМИ может привести к внештатным ситуациям и даже катастрофам. Некачественное исполнение человеко-машинного интерфейса ранее во многом обуславливалось несовершенными технологиями. Благодаря увеличению вычислительной мощности аппаратных платформ эти ограничения уже не играют существенной роли, оставаясь пережитками в виде общепринятых шаблонов и отсутствия понимания основных принципов дизайна [2].

Целью работы является анализ и практическая реализация человеко-ориентированного подхода к проектированию HMI для горизонтальных факельных установок, направленного на повышение эффективности оператор-

ского взаимодействия и обеспечение устойчивости работы автоматизированной системы.

Методология и принципы проектирования интерфейса. Проектирование человеко-машинного интерфейса для систем управления факельными установками основано на комплексном подходе, включающем использование международного стандарта ISA-101 [3] и принципов высокопроизводительных НМИ. Эти документы формируют единую методологическую основу, направленную на повышение эффективности восприятия информации оператором и минимизацию вероятности ошибок при управлении технологическим процессом.

В качестве объекта автоматизации рассматривалась горизонтальная факельная установка газоперерабатывающего участка, включающая дежурную (запальную) горелку и основной факел, а также узел замера и редуцирования и блок управления.

Интерфейс спроектирован в соответствии с этапами, регламентированными стандартом ISA-101. На основе анализа объекта автоматизации в систему были включены ключевые сигнальные точки: расход, давление, температура и индикаторы аварийных ситуаций, в которые входят: наличие пламени, состояние розжига, повышение температуры или давления и т. д. Для каждой из них был разработан специализированный экран, отображающий необходимый объем информации. С использованием CAD-системы была создана библиотека графических элементов, строго соответствующих утвержденной концепции, которая заключалась в единообразии представленных данных, минимизации когнитивной нагрузки оператора и возможности быстрого перехода от обзорных экранов к детализированным. Была внедрена система тревог и событий, спроектированная по принципам высокопроизводительных ЧМИ, предусматривающая приоритизацию, группировку и контекстные сообщения (например, «Низкое давление газа на розжиг: Аварийный останов горелки № 1» вместо абстрактного сигнала «Авария»), а также лаконичная компоновка экранов, однозначная цветовая палитра [3].

Реализация системы визуализации. Логика реализована на программируемом логическом контроллере K15 (семейство K15 — промышленное решение для локальной автоматизации) [4]. Для визуализации применена панель оператора, обеспечивающая взаимодействие с контроллером по промышленному протоколу EtherNet/IP, который позволяет передавать управляющие и телеметрические данные с высокой скоростью и надежностью [5]. При проектировании сети заложено резервирование критичных каналов, буферизация тегов на НМИ и журналирование событий для последующего анализа.

Внедрение автоматической системы управления выполнялось в три этапа, что обеспечило постепенную отладку и минимизацию рисков при запуске.

На первом этапе была проведена симуляция проекта в офисной среде. В ходе моделирования проверялась корректность логики управления, реализованной на ПЛК K15, отрабатывались сценарии взаимодействия между контроллером и элементами визуализации, а также тестировались алгоритмы пе-

передачи сигналов по протоколу EtherNet/IP. Этот этап позволил выявить и устранить возможные несоответствия еще до физического внедрения системы.

На втором этапе осуществлялось внедрение на заводе-изготовителе шкафа управления. Производилась загрузка программного обеспечения на штатный контроллер и операторскую панель, выполнялась комплексная проверка всех каналов связи и отладка работы с реальными датчиками и исполнительными механизмами. Кроме того, был протестирован механизм журналирования событий и буферизация данных для последующего анализа.

На третьем этапе реализовывалось внедрение системы на объекте эксплуатации. Проводилось подключение к полевым устройствам, настройка аварийных сигналов и выполнение пусконаладочных работ в реальных условиях. Результатом этапа стало подтверждение корректной работы всей системы, включая функции тревог, визуализации и навигации по мнемосхемам.

Для унификации визуальных элементов и ускорения дальнейшего тиражирования решений была разработана библиотека графических объектов, включающая стандартные символы оборудования, индикаторы состояния, элементы управления и цветовые обозначения, соответствующие утвержденной палитре. Это позволило достичь единообразия интерфейсов на разных экранах и снизить вероятность ошибок восприятия.

Результаты внедрения. Оценка эффективности внедренного человеко-ориентированного интерфейса проводилась по совокупности количественных и качественных показателей, характеризующих работу оператора при управлении горизонтальной факельной установкой. Для анализа были использованы метрики, отражающие быстродействие реакции на аварийные сигналы, количество ошибочных действий, скорость поиска информации и длительность обучения нового персонала.

Ниже приведены наблюдения, иллюстрируемые примерами экранов мнемосхем и сравнительная таблица «до» и «после» внедрения.

На обзорном экране — мнемосхеме «Узел замера и редуцирования» (рис. 1) отображены основные аналоговые параметры, которые предоставляют оператору инструменты для мониторинга процессами измерения давления, температуры и расхода газа.

Для отслеживания аварийных ситуаций и загазованности предусмотрено окно «Газ» (рис. 2), где наглядно показано состояния автоматизированной системы.

В правом верхнем углу представлен журнал аварий, который находится на каждом окне мнемосхем, вследствие чего оператору наглядно видно, если одна из частей системы вышла из-под контроля.

Для оценки эффективности проведенной работы были выделены и проанализированы количественные и качественные метрики до и после редизайна интерфейса. Результаты представлены в таблице.

Анализ и интерпретация результатов. Результаты внедрения показали, что переход от традиционных SCADA-экранов к HMI-центрированному дизайну на основе ISA-101 и практик высокопроизводительных ЧМИ дает

практические преимущества, прежде всего за счет упорядочивания представления информации и снижения когнитивной нагрузки оператора [3].

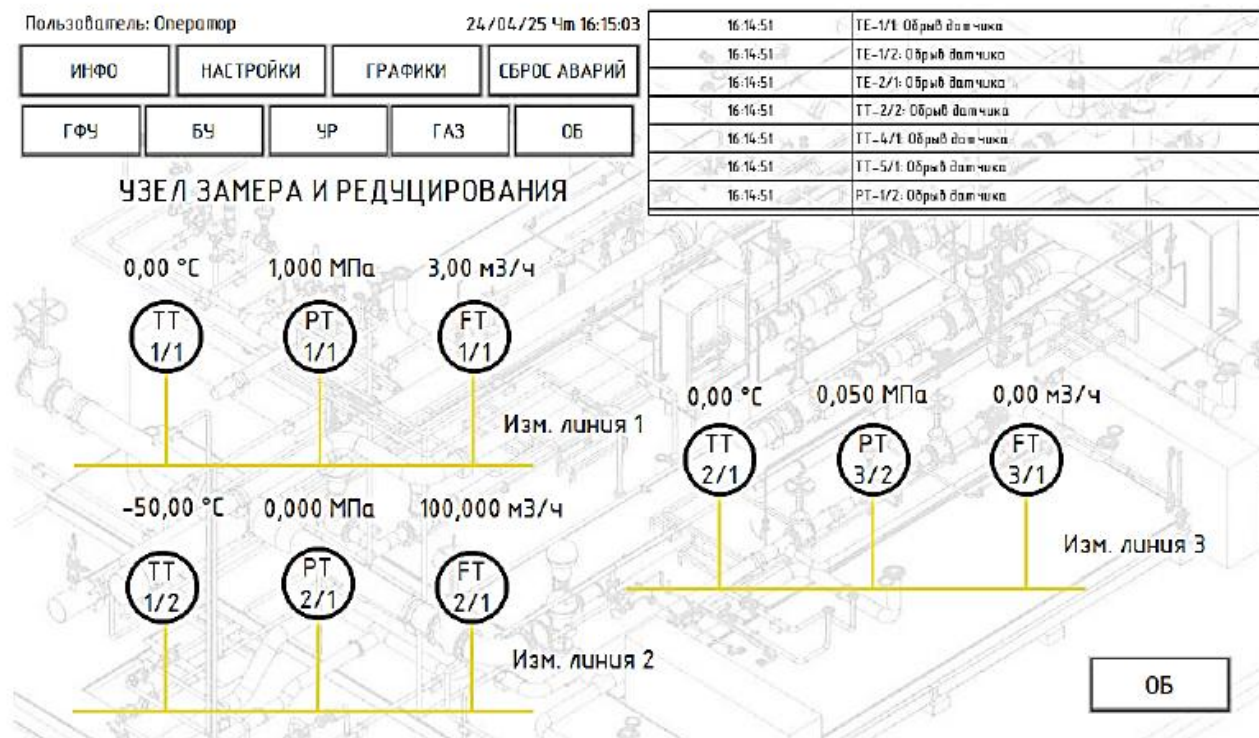


Рис. 1. Мнемосхема «Узел замера и редуцирования»

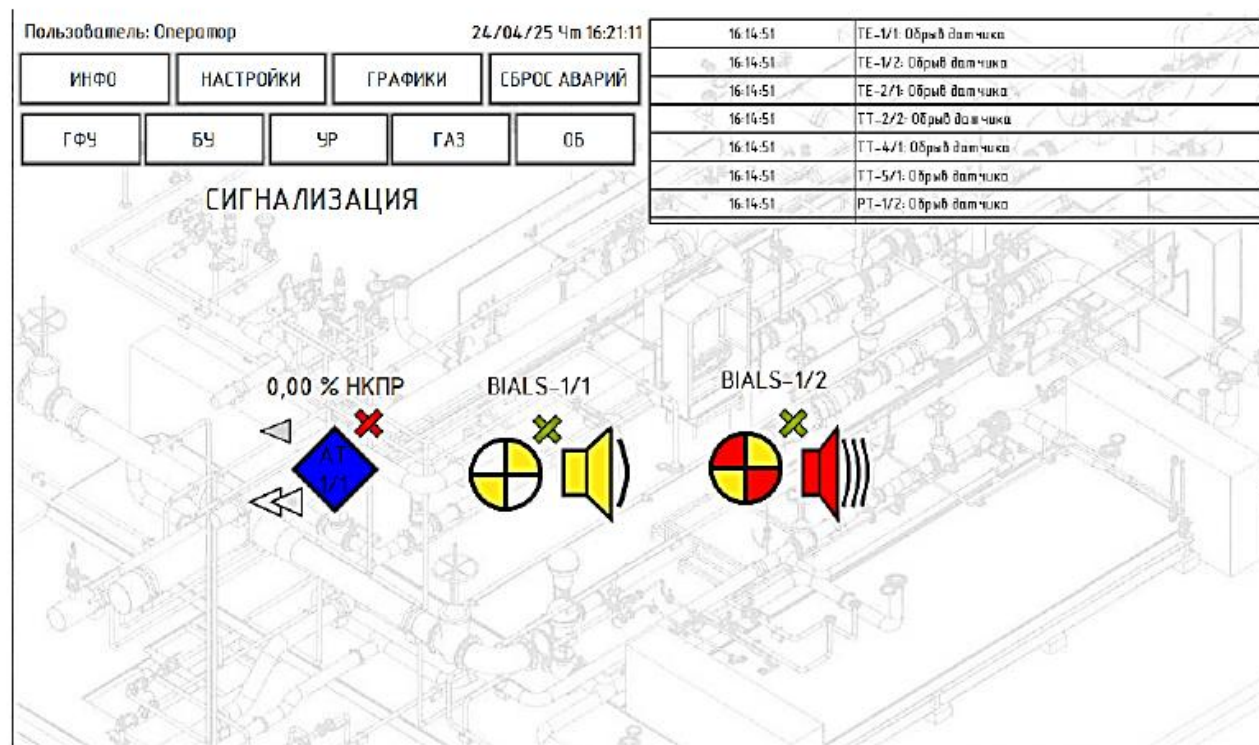


Рис. 2. Мнемосхема «Газ»

Сравнительный анализ эффективности НМІ до и после оптимизации с точки зрения оператора

Критерий оценки	Ситуация «До»	Ситуация «После»	% улучшения
Среднее время реакции на аварийный сигнал	45–60 секунд	15–20 секунд	Сокращение на ~67 %
Количество ошибочных действий оператора в месяц	5–7 инцидентов	1–2 инцидента	Сокращение на ~75 %
Время, затрачиваемое на поиск нужной информации	Высокое (требовался последовательный просмотр нескольких мнемосхем)	Низкое (принцип иерархичности)	Сокращение на ~80 %
Время обучения нового оператора	10–14 дней	3–5 дней	Сокращение на ~65 %

В отличие от перегруженных традиционных экранов, НМІ-подход предлагает иерархию представлений, ограниченную цветовую палитру и акцент на трендах и контекстных подсказках. Такие меры сокращают время сканирования экрана и уменьшают вероятность ошибочной интерпретации сигналов, что критично для объектов с высокой аварийной значимостью, например факельных установок [3].

Ограничения традиционной визуализации — «визуальный шум», непоследовательная навигация и отсутствие единых правил оформления — делают НМІ-центрированный подход оправданным инвестиционным решением для промышленных объектов с повышенными требованиями к безопасности и непрерывности работы. Внедрение ISA-101 — совместного НМІ способствует улучшению ситуационной осведомленности, сокращению операторских ошибок и упрощению обучения персонала.

Заключение. Проведенная работа показала, что применение человеко-ориентированного подхода к проектированию интерфейсов управления горизонтальными факельными установками обеспечивает существенное повышение эффективности операторского взаимодействия и надежности технологического процесса.

Использование стандарта ISA-101 в сочетании с принципами высокопроизводительных НМІ позволило создать систему визуализации, отвечающую требованиям эргономичности, структурности и функциональной гибкости. Разработанная методика продемонстрировала практическую применимость при внедрении на реальных объектах: сокращено время реакции на аварийные сигналы, уменьшено количество ошибочных действий и ускорен процесс обучения новых операторов.

Внедрение разработанного решения показало, что стандартизация интерфейсов способствует формированию единой визуальной среды на уровне

предприятия, что особенно важно для масштабирования и сопровождения систем автоматизации.

Литература

- [1] Горизонтальные факельные установки ООО «ТюменНИИгипрогаз»: решение проблемы нейтрализации промстоков. *Нефтегазовая вертикаль*, 2012, № 1, 26 с.
- [2] Человеко-ориентированный подход при проектировании систем визуализации автоматизированных объектов. *Электронные системы*, 2021. URL: <https://electron.ru/cheloveko-orientirovannyj-podxod-pri-proektirovanii-sistem-vizualizacii-avtomatizirovannyx-obektov> (дата обращения 10.10.2023).
- [3] ANSI/ISA-101.01-2015. *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*. ISA. URL: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-101-standards> (accessed 15.10.2023).
- [4] *Программируемые логические контроллеры серии K15: техническая документация*. URL: https://www.owen.ru/catalog/plk_series_k15 (дата обращения 15.10.2023).
- [5] Самуйлов К.Е., Шалимов И.А., Кулябов Д.С. *Сети и телекоммуникации*. Москва, Юрайт, 2025, 464 с.

Human - oriented visualization in control systems for horizontal flare units: standardization, design, and operational efficiency

Khizhnyak Anastasia Sergeevna

forever_nst@mail.ru

Fedotova Alena Valereivna

fea@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

The paper examines visualization design features for automated control of horizontal flare units used in gas processing. A human-oriented approach based on the ISA-101 standard and High-Performance HMI principles is proposed. The work describes the design stages of mimic diagrams, event prioritization, and alarm management. Implementation results demonstrate improved operator response time, reduced training duration, and increased situational awareness.

Keywords: HMI, flare device, automation, visualization, efficiency

Содержание

Предисловие	3
Программный комитет конференции	3
Организационный комитет	4
Секция 1. Автоматизированное проектирование и компьютерное моделирование	5
<i>Али Салман, Карпенко А.П., Спасёнов А.Ю.</i> Обзор методов интерполяции кадров	7
<i>Ахмад Хади, Волосатова Т.М.</i> Автоматизация оптимизации ресурсов в интегрированных сетях зондирования и связи с использованием машинного обучения и компьютерного моделирования	14
<i>Боженко Д.В., Соколов А.П.</i> Постановка задачи переноса ресурсоемкой вычислительной нагрузки с локальных машин на удаленные вычислительные узлы	20
<i>Борисенков Е.И., Соколов А.П.</i> Обзор технологий, методов и алгоритмов фотограмметрии при отсутствии искусственных маркеров	29
<i>Витюков Ф.А.</i> Обзор факторов снижения производительности рендеринга при переходе от Unreal Engine 4 к Unreal Engine 5	36
<i>Гриценко Ю.А., Молчанова Н.О., Князева С.В.</i> Разработка обучаемой интеллектуальной системы для автоматизированного принятия экспертных решений на основе анализа реальных данных в судебной деятельности	43
<i>Гросс Я.А., Волосатова Т.М., Князева С.В.</i> Автоматизация внедрения в изображения неизвлекаемых цифровых меток для защиты авторских прав с использованием стеганографии	51
<i>Ермилов Л.В., Соколов А.П.</i> Обзор моделей и методов определения коэффициентов температурного линейного расширения волокнистых композиционных материалов	60
<i>Зотов Д.А., Пивоварова Н.В.</i> Методологические проблемы и современные решения в области контролируемых онлайн-экспериментов	67
<i>Карпенко А.П.</i> Многообъектное многокритериальное многоличностное автоматизированное проектирование	79
<i>Кочетов И.А., Трудоношин В.А.</i> Применение метода расщепления при решении многомерных нестационарных задач методом конечных элементов	84
<i>Маничев В.Б., Кожевников Д.Ю.</i> Программные системы для 1D моделирования	90
<i>Михайлова Е.А., Волосатова Т.М.</i> Обзор методов реконструкции и параметризации геометрии топологически оптимизированных конструкций	100
<i>Петросян А.В., Бурков П.В.</i> Препроцессинг облаков точек в задачах анализа результатов лазерного сканирования объектов капитального строительства ...	107

<i>Трудоношин В.А., Георгиев А.Ф., Оглоблин Д.И.</i> Модели теплообмена в комплексе МДС	115
<i>Утепбергенов И.Т., Сейдазимов С.Б., Тимофеев В.Б.</i> Многоагентные системы для поддержки инновационной деятельности научно-педагогических работников	122
<i>Штанов Е.Л.</i> Интеграция системы вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent в программный комплекс 1-d моделирования PRADIS	132
<i>Юрченко А.А., Бурков П.В.</i> Способы формирования топологии полигональной модели	138
Секция 2. Компьютерные системы автоматизации производства	145
<i>Авдулов В.А., Мешихин И.А.</i> Синтез рациональной конфигурации информационно-измерительной системы мониторинга эксплуатационного состояния сооружений	147
<i>Беличенко Д.А.</i> Расчет прочностных характеристик самомонтирующегося крана	156
<i>Буханов С.А.</i> Автоматизация формирования конфигурации гибкой производственной системы с использованием ПО CMSolver	162
<i>Горбачева Г.А., Грачева К.В., Маков М.М., Смирнов С.Е., Калинина А.А., Санаев В.Г.</i> Разработка технологии формирования профильной поверхности древесины	168
<i>Гришин Н.С., Лагута В.С.</i> Реализация вариативных исполнений технологических и сборочных процессов в САПР «СПРУТ-ТП»	174
<i>Долгачев Д.В.</i> Применение больших языковых моделей для предсказания отказов оборудования	180
<i>Касьянов С.В., Аввакумов И.И.</i> Вопросы теоретической подготовки информационного сопровождения для управления цифровым производством автокомпонентов	186
<i>Кобаченко А.А., Мурашов М.В., Герасименко И.В.</i> Разработка объяснимых моделей для виртуального анализа содержания серы в нефтепродуктах	192
<i>Куликова О.Д.</i> Анализ и оценка погрешностей в системах с роботизированными манипуляторами	198
<i>Лапшин Л.А.</i> Перспективы использования мультиагентных систем искусственного интеллекта для оптимизации биотехнологических процессов	206
<i>Махмуд Рами, Гаврюшин С.С.</i> Двухкритериальная нечеткая система предиктивного обслуживания холодильных установок: анализ параметров работы в реальном времени, безопасности и экономической эффективности	215
<i>Новикова А.А., Тумакова Е.В.</i> Оценка погрешности методов базирования лопатки компрессора газотурбинного двигателя в процессе контроля геометрии профиля пера контактными методами	224
<i>Погорелый В.Р., Текучева С.В.</i> Программный комплекс для количественной оценки пространственной ориентации и динамики анатомических структур на основе метода главных центральных осей инерции и итеративного алгоритма ближайших точек	230

<i>Рыжаков Е.С., Федотова А.В.</i> Обзор методов автоматизации технологического процесса маркировки и приемки паллет на предприятии по производству комбикормов	240
<i>Скуратов Н.В.</i> Анизотропия разбухания и усушки древесины сосны	248
<i>Хижняк А.С., Федотова А.В.</i> Человеко-ориентированный интерфейс в системах управления горизонтальными факельными установками: стандартизация, проектирование и операционная эффективность	253

Научное издание

III Международный конгресс
«Русский инженер»

Комплексная автоматизация
проектирования и производства
(КАПП-2025)

III научно-практическая конференция
(с международным участием)

(Москва, 31 октября 2025 г.)

Сборник статей

Том 3

Художник *Э.Ш. Мурадова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 23.01.2026. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 21,29. Тираж 50 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
<https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.