

## МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТОРА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСТАНОВОК ПРИ ДЕЙСТВИЯХ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

А.Б. Уали<sup>1</sup>

А.С. Наукенова<sup>1</sup>

О.Н. Корсун<sup>2</sup>

А.К. Тулекбаева<sup>1</sup>

Э.Д. Глухова<sup>2</sup>

М.А. Глухов<sup>3</sup>

almas\_1994@mail.ru

n.a.s.1970@mail.ru

marmotto@rambler.ru

tulekbaeva@mail.ru

emma@greenfil.ru

mikl@greenfil.ru

<sup>1</sup> ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Республика Казахстан

<sup>2</sup> ГосНИИАС, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> DEPO Electronics, Московская обл., Красногорск, Российская Федерация

---

### Аннотация

Предложены методические подходы к разработке человеко-машинного интерфейса для специализированного программного обеспечения поддержки деятельности операторов производственных установок в аварийных ситуациях. В качестве примера рассмотрена разработка системы поддержки деятельности операторов нефтеперерабатывающих производств при устранении различных отказов и их последствий в соответствии с принятым регламентом плана устранения аварий. Проведен анализ особенностей действий операторов в условиях аварии, сформулированы требования к интерфейсу программ поддержки оператора. Предлагаемый подход основан на применении паттернов проектирования человеко-машинных интерфейсов критически важных по безопасности систем. Выполнен анализ основных паттернов, даны рекомендации по применению конкретных паттернов для формирования интерфейса программного обеспечения поддержки действий оператора. Приведены результаты экспериментального исследования возможностей практического применения предложенного программного обеспечения, показывающие значимое снижение времени, которое затрачивается оператором на действия по выполнению пунктов

### Ключевые слова

*План ликвидации аварий, программное обеспечение, оператор, производственная установка, поддержка, паттерны, проектирование, человеко-машинный интерфейс, нефтеперерабатывающие производства*

плана ликвидации аварий, и уменьшение числа ошибок. Это подтверждает эффективность применения разработанной методики на практике. В качестве направления дальнейшего совершенствования деятельности операторов производственных установок целесообразно рассмотреть методы оценивания состояния оператора по данным разнородных информационных каналов — речь, анализ числа морганий, оценка эмоций, анализ наклона головы, направления взгляда с использованием сверточных нейронных сетей глубокого обучения

Поступила 30.09.2022

Принята 11.11.2022

© Автор(ы), 2023

---

**Введение.** Важнейшее условие функционирования промышленных производств — обеспечение их безаварийной работы или своевременное предотвращение опасных последствий аварий. Необходимость идентификации опасностей производственных процессов определяется требованиями законодательства в области промышленной безопасности и охраны труда и реализуется на этапе разработки проектной документации путем включения в нее соответствующих разделов и требований. Например, в Республике Казахстан одним из основных нормативных документов в этой области является «Инструкция по разработке плана ликвидации аварий и проведению учебных тревог и противоаварийных тренировок на опасных производственных объектах»<sup>1</sup>.

Исходя из оценки рисков аварий на предприятиях составляются планы ликвидации аварий (ПЛА) по каждому производственному циклу и организуется обучение работников действиям в конкретных аварийных ситуациях. План разрабатывается в целях определения возможных сценариев возникновения и развития аварий, конкретизации технических средств и действий производственного персонала и спецподразделений по локализации аварий. План ликвидации составляют для аварий, которые характерны для конкретного производственного объекта (цеха). Перечень таких аварий составляется в рамках проведения оценки рисков и разработки декларации промышленной безопасности. Здесь использован ПЛА «Установка изомеризации с блоком КЦА-1»<sup>2</sup>, разработанный на нефтеперерабатывающем предприятии ТОО «ПетроКазахстан Ойл Продакшн» (Шымкент).

---

<sup>1</sup> Утверждена приказом № 349 Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан 16.07.2021 (<https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023684>).

<sup>2</sup> Утвержден 25.10.2021.

Ликвидация аварийной ситуации — сложная задача, для выполнения которой группа операторов должна выполнить большое число действий в заданной последовательности, а также проконтролировать значения определенных параметров. Ввиду большого числа потенциально возможных аварийных ситуаций и, соответственно, вариантов действий по их устранению поиск требуемого раздела в распечатанном на бумаге ПЛА и его прочтение (рис. 1) занимают некоторое время, которого нет, когда необходимо устранять отказ, а при работе по памяти операторы часто допускают ошибки.



**Рис. 1.** Работа оператора при устранении опасной ситуации (перед оператором находится распечатанный ПЛА)

Следовательно, возникает необходимость в инструменте, позволяющем оператору быстро вспомнить алгоритм работы по ликвидации аварийной ситуации и безошибочно его выполнить. Это является актуальной задачей, направленной на снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и техногенных аварий на опасных производственных объектах, к которым относятся нефтеперерабатывающие заводы.

Опыт авиационной отрасли, где для представления оператору перечня требуемых от него действий и контроля их выполнения при решении большого числа задач используются чек-листы на электронных планшетах [1, 2], свидетельствует, что работа с электронной документацией значительно эффективнее, чем с бумажной [3]. В связи с этим инструмент поддержки оператора производственных установок нефтеперерабатывающих производств при действиях в аварийных ситуациях было решено выполнить в виде интерактивного приложения, предназначенного для установки на планшет, смартфон или стационарный компьютер.

**Постановка задачи.** *Цель работы* — создание методических основ для разработки программного обеспечения поддержки действий операторов промышленных установок в аварийных ситуациях. Программа поддержки оператора разработана по аналогии с чек-листами на электронных планшетах, хорошо зарекомендовавших себя в авиации [1, 2]: оператору представляется последовательность действий, которые необходимо выполнить, а также возможность выделять уже выполненные действия. Как показывает практика [3], это увеличивает скорость выполнения всей последовательности операций и снижает вероятность ошибочных действий, прежде всего нарушения порядка выполнения операций.

Предлагаемая программа поддержки не заменяет, а дополняет существующие средства ликвидации аварий. Содержательная часть для каждой конкретной аварийной ситуации должна полностью определяться действующим на предприятии ПЛА, который разрабатывается и утверждается в соответствии с национальной нормативной базой. Однако вопрос о проектировании человеко-машинного интерфейса системы поддержки оператора с учетом специфики решаемой задачи остается во многом открытым. Здесь наряду с действующими в области эргономики стандартами<sup>3</sup> и другими эргономическими рекомендациями [4–9], предложено использовать паттерны проектирования интерфейсов [10–12]. Это достаточно общий подход, хорошо зарекомендовавший себя, например, в теории и практике программирования [13–15].

Приведены результаты исследований по следующим направлениям:

- анализ специфики решаемой задачи и формирование требований к интерфейсу системы поддержки действий операторов производственных установок в аварийных ситуациях;
- анализ основных свойств паттернов проектирования человеко-машинных интерфейсов критически важных по безопасности систем<sup>4</sup>;
- формирование рекомендаций по применению паттернов проектирования при разработке интерфейсов программ поддержки оператора в аварийных ситуациях;
- разработка рекомендаций по программной реализации;
- разработка демонстрационного образца программного обеспечения для поддержки оператора;

---

<sup>3</sup> ГОСТ Р ИСО 11064-4-2015 Эргономическое проектирование центров управления. М., Стандартиформ, 2016.

<sup>4</sup> ГОСТ Р ИСО 6385-2016 Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем. М., Стандартиформ, 2016.

– проведение экспериментов по оценке эффективности разработанного программного обеспечения.

Исследования выполнены на примере нефтеперерабатывающей отрасли на базе предприятия ТОО «ПетроКазахстан Ойл Продакшн», эксперименты по оценке эффективности проведены с привлечением сотрудников этого предприятия.

**Анализ задачи и формирование требований к интерфейсу программ поддержки действий операторов.** Как уже было отмечено, действия операторов в аварийной ситуации определяются соответствующим ПЛА. Этот документ производственного характера содержит детальные технические описания и насыщен специальными терминами и обозначениями, поэтому его анализ необходимо проводить совместно с представителем предприятия. Для наглядности приведем только один из пунктов ПЛА «Установка изомеризации с блоком КЦА-1» цеха № 1 предприятия ТОО «ПетроКазахстан Ойл Продакшн» для вида аварийной ситуации — прекращение подачи легкой нефти:

*«Оператор реакторного блока переводит деизопентанизатор К-701 на горячую циркуляцию без вывода кубовой части колонны. При переводе К-701 на режим полного орошения по мере снижения уровня в Е-702 контролирует остановку насоса орошения К-701 Н-705 (Н-706). Следит за снижением расхода теплоносителя в рибойлеры Т-702, Т-714. Закрывает клапан-отсекатель на линии подачи теплоносителя поз. UV-021 в рибойлеры Т-702, Т-714».*

Результаты анализа ПЛА показывают, что с позиции проектирования интерфейса требуется обеспечить выполнение типовых действий:

- элементарное (включить, отключить, изменить режим работы, доложить старшему оператору и др.), которое не требует дополнительного контроля результатов;
- операция контроля за изменением значения параметра (требуется указать контролируемый параметр и его значение);
- составное парное, представляющее собой сочетание элементарного действия и операции контроля значения параметра;
- составное множественное действие (последовательность нескольких элементарных действий и операций контроля, необходимых для решения некоторой частной задачи);
- операция проверки условий перехода к следующему действию — выполнение одного или нескольких предыдущих действий или достижение желаемого результата операции контроля одного или нескольких значений параметров (выход параметров на требуемые значения);

– контроль оператором результата операции проверки условий перехода.

Кроме анализа ПЛА, проводится опрос операторов производственных установок. Определено, что для более эффективной работы им необходимо упростить поиск алгоритма устранения аварийной ситуации, представить алгоритм в более удобной форме, а также реализовать возможность отмечать выполненные операции.

Сформулированы требования к интерфейсу:

- предоставление оператору возможности выбора типа аварийной ситуации из списка;
- быстрый переход к алгоритму устранения аварийной ситуации;
- индикация всей требуемой последовательности действий и содержания каждой операции в удобной для восприятия форме;
- индикация следующего действия, которое необходимо выполнить;
- запись информации о выполненных действиях;
- возможность ветвления алгоритма.

Требование записи информации о выполненных действиях означает, что после каждого действия оператор самостоятельно фиксирует этот факт, например, путем касания соответствующей записи на экране. Это необходимо, поскольку для повышения гибкости и удобства применения программы поддержки не предполагается ее интеграция в состав технологического оборудования и получение сигналов обратной связи в автоматическом режиме.

Остальные требования к интерфейсу принимаются на основе действующих эргономических стандартов и рекомендаций [4–9].

**Основные свойства паттернов проектирования человеко-машинных интерфейсов критически важных по безопасности систем.** Паттерны — способ передачи опыта между разработчиками, который позволяет упростить коммуникацию между ними и повысить качество разработки за счет применения проверенных решений.

В случае человеко-машинных интерфейсов критически важных систем паттерны также позволяют обеспечить единообразие интерфейсов на этапе разработки и уменьшить вероятность ошибок оператора.

Впервые паттерны проектирования разработаны в контексте архитектурного проектирования [11]. Широкое применение паттерны проектирования нашли в программировании, прежде всего, в рамках объектно-ориентированного подхода [13–15].

Для обеспечения разработки интерфейса с использованием паттернов необходимо сравнить требования к интерфейсу с контекстом применения



каждого паттерна [12]. Далее паттерны, контекст которых подходит под требования к интерфейсу, применяются в соответствии с рекомендациями, описанными в [12].

В плане разработки человеко-машинных интерфейсов критически важных систем паттерны проектирования определены в [12]. Совокупность паттернов представляет собой язык паттернов, имеющий свою структуру и обладающий целостностью.

Паттерны в языке сгруппированы по четырем аспектам взаимодействия человека с компьютером (рис. 2):

- 1) управление задачами (Task Management);
- 2) выполнение задач (Task Execution);
- 3) информация (Information);
- 4) автоматическое управление (Machine Control).



**Рис. 2.** Паттерны проектирования человеко-машинного интерфейса критически важных систем

**Паттерны управления задачами.** *Лесенка (Stepladder):* если оператору необходимо выполнить сложные задачи, то предпочтительно предусмотреть разделение каждой сложной задачи на цепочку более простых.

*Восстановление (Recover):* если интерфейс позволяет пользователям переводить систему в опасное состояние, необходимо предусмотреть средство для восстановления безопасного состояния.

*Сопряжение задач (Task Conjunction)*: система обеспечивает проверку согласованности действий оператора для подтверждения того, что его действия соответствуют его намерениям.

*Группировка (Transaction)*: объединение взаимосвязанных действий оператора в группу так, что последствия каждого действия реализуются после выполнения оператором всех действий группы.

**Паттерны выполнения задач.** *Разделение (Separation)*: если случайное использование одного компонента интерфейса вместо другого может быть опасным, то они должны быть физически или логически разделены.

*Различение взаимодействия (Distinct Interaction)*: различные компоненты пользовательского интерфейса должны управляться разными физическими действиями, если их перепутывание вероятно и может привести к опасным последствиям.

*Аффорданс (Affordance)*: вид элемента пользовательского интерфейса должен указывать на то, как его использовать.

*Ограничение действий пользователя (Behaviour Constraint)*: система должна блокировать действия оператора, потенциально приводящие к опасной ситуации.

**Информационные паттерны.** *Представление реальности (Reality Mapping)*: интерфейс системы должен представлять пользователю наиболее близкую к истинной информацию обо всех необходимых параметрах системы.

*Образное представление (Abstract Mapping)*: когда состояние системы характеризуется настолько большим объемом информации, что человеку становится трудно ее воспринимать, следует представлять информацию в переработанном виде — интегральными параметрами или образами.

*Избыточность (Redundant Information)*: если информация, представленная пользователю, сложна для восприятия или может быть неправильно истолкована, то следует предоставить пользователю несколько различных согласованных представлений этой информации.

*Тенденция (Trend)*: поскольку человек не может одновременно следить за изменением нескольких параметров, в случае, когда важно понимание тенденции их изменения, следует представлять пользователю эту тенденцию непосредственно, а сравнение текущих значений с предыдущими и обработку результатов поручить автоматике.

*Запрос (Interrogation)*: не вся информация необходима пользователю постоянно — во многих случаях пользователю достаточно основных параметров, а доступ ко второстепенным можно предоставлять по запросу.



*Поддержка памяти (Memory Aid)*: если пользователи должны выполнять чередующиеся задачи, то необходимо предусмотреть вспомогательные средства для представления информации о завершении задач.

**Паттерны автоматического управления.** *Блокировка (Interlock)*: система должна обеспечивать обнаружение и блокировку ошибочных действий и опасных состояний.

*Автоматизация (Automation)*: если задача не подходит для выполнения человеком, то ее следует автоматизировать.

*Отключение (Shutdown)*: когда отключение системы переводит ее в безопасное состояние и является простым и малозатратным, система должна автоматически отключаться при возникновении опасного состояния.

*Предупреждение (Warning)*: система должна информировать пользователя о приближении к критическим для безопасности пределам значений параметров.

Развернутое описание каждого паттерна содержит следующие разделы: контекст использования; решаемую с помощью него проблему; действующие при этом факторы; описание решения проблемы; примеры решения и результирующий контекст, в котором описываются преимущества этого паттерна и возможности его применения совместно с другими паттернами языка.

В качестве примера приведено полное описание паттерна «Лесенка» [12].

*Контекст использования*: система определяется набором задач, которые можно разделить на более простые задачи, при этом последствия неправильного выполнения этой задачи значительны и их достаточно трудно исправить.

*Проблема*: пользователю необходимо решать достаточно большую и сложную задачу, которую можно разложить на последовательность простых задач.

*Факторы*:

– при выполнении сложной задачи пользователю легко забыть, что он сделал, а что нет. Это особенно актуально при наличии отвлекающих факторов;

– желательно, чтобы пользователь умел решать низкоуровневые задачи, чтобы он мог справиться с различными, в том числе с новыми ситуациями;

– последовательность задач пользователя могут воспринимать как одну совокупную задачу.

*Решение*: определить достаточно сложные задачи и в явном виде декомпозировать их на последовательности более простых задач.

*Пример:* экипажи самолетов используют чек-листы, в которых пошагово описано, какие действия необходимо предпринять в аварийных ситуациях [16].

*Результирующий контекст:* в результате применения паттерна «Лесенка» пользователь получит четкое представление о том, какие задачи необходимо выполнять в любой момент времени.

Указанный паттерн лучше всего работает в тандеме с паттерном «Группировка». В этом случае несколько «ступеней» паттерна «Лесенка» образуют одну группу. Таким образом, многие из отдельных задач можно отменить, поскольку они не будут переданы на исполнение.

Паттерн «Лесенка» также может быть использован для структурирования элементов интерфейса при применении паттерна «Аффорданс».

**Рекомендации по применению паттернов проектирования при разработке интерфейсов программ поддержки операторов в аварийных ситуациях.** Для использования в процессе разработки программного обеспечения паттернов проектирования человеко-машинного интерфейса критически важных систем необходимо сравнить требования к проектируемой системе с контекстом использования паттернов и выбрать паттерны, подходящие по контексту. При этом следует учесть содержащиеся в развернутом описании паттерна основные факторы, предлагаемое паттерном решение, примеры и результирующий контекст, а также ограничения применения каждого паттерна, которые в явном или неявном виде указаны в их описании.

Рассмотрим применение языка паттернов проектирования человеко-машинных интерфейсов критически важных систем на примере разработки системы поддержки оператора производственных установок нефтеперерабатывающего предприятия.

*Первый этап. Выбор применимых паттернов.* Ликвидация аварийной ситуации — достаточно сложный процесс, требующий большое число различных операций, поэтому целесообразно применение паттерна «Лесенка», который предполагает разделение этой задачи на простые, выполняемые оператором в определенной последовательности. Проведен анализ [7] и разработаны блок-схемы алгоритмов работы оператора для описанных в ПЛА аварийных ситуаций. Таким образом, все задачи разделены на операции, выполняемые в определенной последовательности.

Паттерн «Лесенка» часто используется вместе с паттерном «Группировка». Для более удобного представления операции группируются в блоки. Проведен анализ всех блок-схем алгоритмов с целью выделить логиче-

ски связанные блоки операций, которые должны быть выполнены полностью перед переходом к следующему блоку.

Для обеспечения полноты выполнения всех операций выбран паттерн «Поддержка памяти», предполагающий информирование оператора о том, какие действия уже выполнены. Для реализации этого паттерна от интерфейса требуется наличие возможности отмечать выполненные операции.

Выбраны паттерны «Аффорданс», «Тенденция», «Группировка», «Сопряжение задач» и «Модель представления».

*Второй этап. Синтез человеко-машинного интерфейса приложения.* На этом этапе приняты следующие проектные решения:

– реализовать возможность выбора аварийной ситуации с помощью интерактивного списка наименований отказов (паттерны «Лесенка», «Модель представления»);

– реализовать содержание операций и последовательность их выполнения в виде списка элементов (паттерн «Поддержка памяти»), т. е. наименований операций с возможностью выделения выполненных (паттерны «Аффорданс», «Модель представления»);

– реализовать возможность контроля значений критически важных параметров и переход к следующему шагу (паттерны «Тенденция», «Сопряжение задач»);

– скомпоновать эти операции и проверки в блоки (паттерн «Группировка»);

– реализовать ветвление алгоритма с использованием кнопок в конце блока, условия ветвления указать на кнопке (паттерн «Аффорданс»).

**Разработка демонстрационного образца программного обеспечения для поддержки оператора и экспериментальное исследование его эффективности.** Результаты анализа показали, что программное обеспечение для поддержки действий оператора целесообразно реализовать в виде приложения на языке *Java-script*. При этом следует разделить содержание работы оператора от самого приложения и реализовать алгоритмы работы оператора согласно ПЛА в виде отдельных файлов в формате JSON [15].

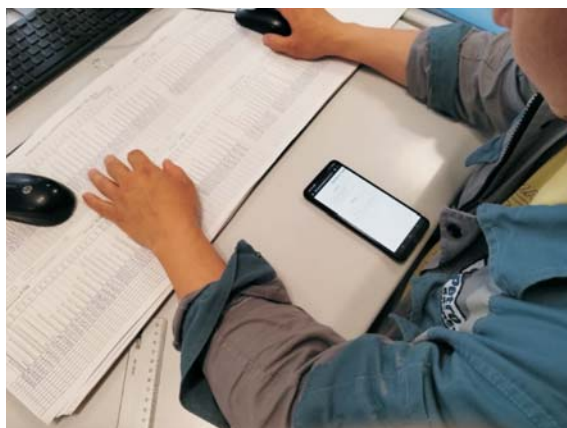
Для проверки эффективности применения разработанного приложения проведено экспериментальное исследование.

На тренажере, позволяющем отрабатывать процесс действий оператора, испытуемый ликвидировал последовательно две аварийные ситуации:

- 1) прекращение подачи легкой нефти на установку;
- 2) прогар труб змеевика печи.

В эксперименте участвовали пять операторов технологических установок, каждый выполнил ликвидацию аварий 3 раза: без ПЛА (на память);

с использованием распечатанного на бумаге ПЛА (см. рис. 1); с использованием разработанного программного обеспечения на портативном планшете (рис. 3).



**Рис. 3.** Работа оператора при устранении опасной ситуации со специализированным программным обеспечением, установленном на портативный планшет

Результаты экспериментов приведены в табл. 1, 2 и на диаграммах (рис. 4, 5).

Таблица 1

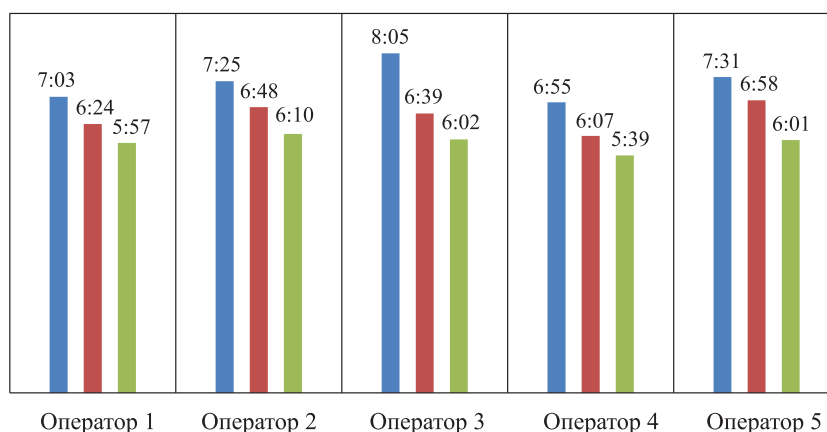
**Время выполнения (мин, с) ПЛА «Прекращение подачи легкой нефти» и число ошибок оператора при ликвидации аварии**

| Оператор                         | Без ПЛА | С использованием ПЛА | С использованием разработанного программного обеспечения |
|----------------------------------|---------|----------------------|--|
| <i>Время выполнения (мин, с)</i> |         |                      |  |
| 1                                | 7:03    | 6:24                 | 5:57   |
| 2                                | 7:25    | 6:48                 | 6:10   |
| 3                                | 8:05    | 6:39                 | 6:02   |
| 4                                | 6:55    | 6:07                 | 5:39   |
| 5                                | 7:31    | 6:58                 | 6:15   |
| Среднее                          | 7:39    | 6:58                 | 6:01   |
| <i>Число ошибок оператора</i>    |         |                      |  |
| 1                                | 0       | 0                    | 0  |
| 2                                | 2       |                      |  |
| 3                                | 3       | 1                    |  |
| 4                                | 2       | 0                    |  |
| 5                                | 1       |                      |  |

Таблица 2

**Время выполнения (мин, с) ПЛА «Прогар труб змеевика в печи»  
и число ошибок оператора при ликвидации аварии**

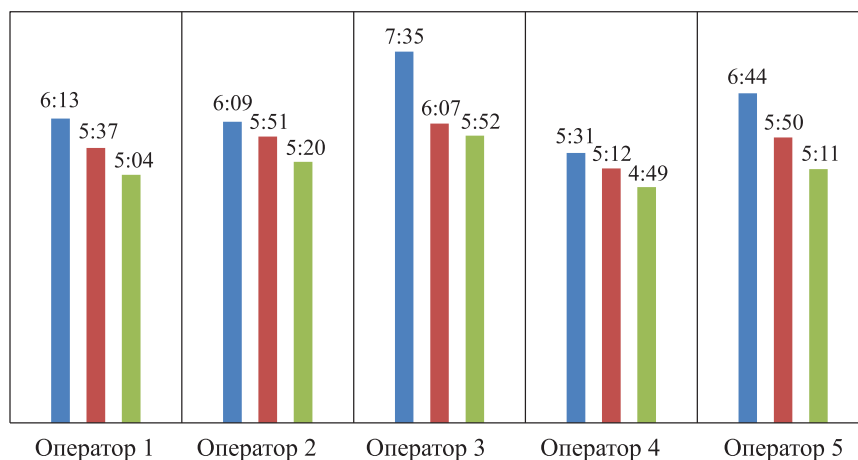
| Оператор                         | Без ПЛА | С использованием ПЛА | С использованием разработанного программного обеспечения |
|----------------------------------|---------|----------------------|--|
| <i>Время выполнения (мин, с)</i> |         |                      |  |
| 1                                | 6:13    | 5:37                 | 5:04   |
| 2                                | 6:09    | 5:51                 | 5:20   |
| 3                                | 7:35    | 6:07                 | 5:52   |
| 4                                | 5:31    | 5:12                 | 4:49   |
| 5                                | 6:44    | 5:50                 | 5:11   |
| Среднее                          | 6:44    | 5:52                 | 5:25   |
| <i>Число ошибок оператора</i>    |         |                      |  |
| 1                                | 0       | 0                    | 0  |
| 2                                |         |                      |  |
| 3                                |         |                      |  |
| 4                                |         |                      |  |
| 5                                |         |                      |  |



**Рис. 4.** Диаграмма значений времени выполнения ПЛА «Прекращение подачи легкой нефти»:

■ — без ПЛА; ■ — с использованием ПЛА; ■ — с использованием разработанного программного обеспечения

**Обсуждение полученных результатов.** Полученные результаты показывают, что для рассмотренных трех вариантов работы и для всех операторов имеет место сокращение времени выполнения работ по ликвидации аварии. Число ошибок, как и следовало ожидать, является наибольшим при выполнении работ без ПЛА и снижается до нуля при использовании ПЛА, записанного на любом носителе — бумажном или электронном.



**Рис. 5.** Диаграмма значений времени выполнения ПЛА «Прогар труб змеевика в печи»:

■ — без ПЛА; ■ — с использованием ПЛА; ■ — с использованием разработанного программного обеспечения

Анализируя средние значения времени, получаем, что для аварии «Прекращение подачи легкой нефти» (см. табл. 1) средние сокращения времени при переходе от варианта без ПЛА к варианту с использованием ПЛА составили 41 с, а при переходе от варианта с использованием ПЛА к варианту с использованием разработанного программного обеспечения — 57 с.

Для аварии «Прогар труб змеевика в печи» аналогичные сокращения времени (см. табл. 2) составили 52 и 27 с. После осреднения по обеим авариям получены значения 46,5 и 42 с, что составляет примерно 15 % полного времени выполнения задачи.

Следовательно, применение планшета с разработанным программным обеспечением в среднем уменьшает время выполнения работ на 15 % по сравнению с распечатанным на бумаге ПЛА и на 30 % по сравнению с работой без ПЛА (на память).

Полученные результаты показывают, что предложенное специализированное программное обеспечение, реализованное на портативном электронном планшете, обеспечивает существенное сокращение времени выполнения работ в аварийных ситуациях и отсутствие ошибок оператора. Другими словами, внедрение предложенного решения на нефтеперерабатывающих предприятиях может дать значимый практический эффект.

В качестве направления дальнейшего совершенствования деятельности операторов производственных установок целесообразно рассмотреть методы сверточных нейронных сетей и другие методы для оценивания состояния оператора по данным разнородных информационных каналов



(речь, анализ числа морганий, оценка эмоций по изображению лица), которые показали хорошие результаты применительно к пилотам воздушных судов [17, 18].

**Заключение.** Предложенная методика обеспечивает разработку программного обеспечения для поддержки действий операторов промышленных установок в аварийных ситуациях. Это достигается выполненным анализом предметной области, позволившим определить основные требования к программному обеспечению, а также применением паттернов проектирования человеко-машинных интерфейсов критически важных систем, которые существенно упрощают процесс разработки программного обеспечения.

В процессе эксперимента установлено, что время, затрачиваемое оператором на ликвидацию аварий на тренажере, при использовании специализированного программного обеспечения в среднем на 15 % меньше, чем при работе с ПЛА, распечатанным на бумаге, и на 30 % меньше при работе без ПЛА (на память). Кроме того, в эксперименте выявлено уменьшение числа ошибок оператора при использовании предложенного программного обеспечения.

Участовавшие в исследовании операторы дали положительные отзывы о применении разработанного программного обеспечения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Authorization for use of electronic flight bags. AC 120-76D. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. 2017.
- [2] Руководство по электронным планшетам (EFB). ИКАО, 2018.
- [3] Шевелев А.А. Внедрение применения электронного полетного планшета в боевой авиации на этапах подготовки и выполнения полетного задания. *Univer-sum: технические науки*, 2021, № 11-1.  
DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.92.11.12536>
- [4] Adelstein B., Hobbs A., O'Hara J., et al. Design, development, testing, and evaluation: human factors engineering. NASA/TM-2006-214535. NASA, 2006.
- [5] Anokhin A.N. Ergonomics in Russia. In: *Ergonomics in Developing Regions: Needs and Applications*. CRC Press, 2009, pp. 385–390.
- [6] Anokhin A., Ivkin A., Dorokhov S. Application of ecological interface design in nuclear power plant (NPP) operator support system. *Nucl. Eng. Technol.*, 2018, vol. 50, iss. 4, pp. 619–626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2018.03.005>
- [7] Купер А., Рейман Р., Кронин Д. и др. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. СПб., Питер, 2021.
- [8] Анохин А.Н., Назаренко Н.А. Проектирование интерфейсов. *Биотехносфера*, 2010, № 2, с. 21–27.

- [9] Hollnagel E. Handbook of cognitive task design. CRC Press, 2003.
- [10] Todd E., Kemp E., Philips C. What makes a good User Interface pattern language? *Proc. 5th AUIIC2004*. Vol. 28. Australian Computer Society, 2004, pp. 91–100.
- [11] Александр К. Язык шаблонов. Студия Артемия Лебедева, 2020.
- [12] Mahemoff M.J. Design reuse in human-computer interaction and software engineering. The University of Melbourne. 2001.
- [13] Coplien J.O. Advanced C++ programming styles and idioms. Addison Wesley, 1991.
- [14] Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р. и др. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. М., Вильямс, 2015.
- [15] Макконелл С. Совершенный код. М., Русская редакция, 2010.
- [16] Fields R., Wright P. Safety and human error in activity systems: a position. *CHI'98*, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1145/286498.286685>
- [17] Себряков Г.Г., Корсун О.Н., Лаврова Г.А. и др. Современные аудиотехнологии в интерфейсе кабины пилотов. М., ИД Академии Жуковского, 2021.
- [18] Korsun O.N., Yurko V.N., Om M.H., et al. Estimation of the interrelation between the pilot state and the quality index of piloting. *AS*, 2022, vol. 5, no. 3, pp. 465–471. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42401-022-00135-z>

**Уали Алмас Болатулы** — докторант, ЮКУ им. М. Ауэзова (Республика Казахстан, 160012, Шымкент, пр-т Тауке Хана, д. 5).

**Науkenова Айгуль Сагындыковна** — канд. техн. наук, ассоциированный профессор, ЮКУ им. М. Ауэзова (Республика Казахстан, 160012, Шымкент, пр-т Тауке Хана, д. 5).

**Корсун Олег Николаевич** — д-р техн. наук, профессор, руководитель научно-образовательного центра ГосНИИАС (Российская Федерация, 125167, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

**Тулкбаева Айжамал Конисбаевна** — канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой, ЮКУ им. М. Ауэзова (Республика Казахстан, 160012, Шымкент, пр-т Тауке Хана, д. 5).

**Глухова Эмма Дмитриевна** — аспирантка, ГосНИИАС (Российская Федерация, 125167, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

**Глухов Михаил Андреевич** — ведущий программист DEPO Electronics (Российская Федерация, 143402, Московская обл., Красногорск, коммунальная зона «Красногорск–Митино», д. 12).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Уали А.Б., Науkenова А.С., Корсун О.Н. и др. Методика разработки человеко-машинного интерфейса в системе поддержки оператора производственных установок при действиях в аварийных ситуациях. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2023, № 1 (142), с. 98–116.  
DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2023-1-98-116>

## DEVELOPMENT METHODOLOGY OF A HUMAN-MACHINE INTERFACE IN THE SYSTEM SUPPORTING THE OPERATOR OF INDUSTRIAL FACILITIES ACTING IN THE EMERGENCIES

A.B. Uali<sup>1</sup>

A.S. Naukenova<sup>1</sup>

O.N. Korsun<sup>2</sup>

A.K. Tulekbayeva<sup>1</sup>

E.D. Glukhova<sup>2</sup>

M.A. Glukhov<sup>3</sup>

almas\_1994@mail.ru

n.a.s.1970@mail.ru

marmotto@rambler.ru

tulekbaeva@mail.ru

emma@greenfil.ru

mikl@greenfil.ru

<sup>1</sup> Auezov University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> DEPO Electronics, Moscow Region, Russian Federation

---

### Abstract

The paper proposes methodological approaches to development of a human-machine interface for the specialized software supporting operator activities of industrial facilities in emergencies. As an example, development of a system is considered to support activities of the oil refinery operators in eliminating various failures and their consequences in accordance with the adopted regulations of the accident elimination plan. Features of the operator actions in the emergency were analyzed, and requirements for the operator support program interface were formulated. The proposed approach is based on introduction of design patterns for human-machine interfaces in the safety-critical systems. Main patterns were analyzed, and recommendations were given on the use of specific patterns in creating a software interface to support the operator actions. Results of the experimental study of possibilities of the proposed software practical application are presented showing significant reduction in the time spent by the operator on actions to execute the emergency response plan requirements and decrease the number of errors. This confirms effectiveness of the developed methodology in practice. As the area for further improvement of the industrial facilities operator actions, it is advisable to consider methods for estimating the operator state according to the data obtained from heterogeneous information channels including speech, analysis of the number of blinks, evaluation of emotions,

### Keywords

*Emergency response plan, software, operator, industrial facility, support, patterns, design, human-machine interface, refineries*

analysis of the head tilt, direction of gaze and others using the convolutional neural networks of deep learning

Received 30.09.2022

Accepted 11.11.2022

© Author(s), 2023

---

## REFERENCES

- [1] Authorization for use of electronic flight bags. AC 120-76D. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. 2017.
- [2] Manual on electronic flight bags (EFBs). ICAO, 2018.
- [3] Shevelev A.A. Introduction of the use of an electronic flight tablet in combat aviation at the stages of preparation and execution of a flight mission. *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2021, no. 11-1 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.92.11.12536>
- [4] Adelstein B., Hobbs A., O'Hara J., et al. Design, development, testing, and evaluation: human factors engineering. NASA/TM-2006-214535. NASA, 2006.
- [5] Anokhin A.N. Ergonomics in Russia. In: *Ergonomics in Developing Regions: Needs and Applications*. CRC Press, 2009, pp. 385–390.
- [6] Anokhin A., Ivkin A., Dorokhov S. Application of ecological interface design in nuclear power plant (NPP) operator support system. *Nucl. Eng. Technol.*, 2018, vol. 50, iss. 4, pp. 619–626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2018.03.005>
- [7] Cooper A., Reimann R., Cronin D., et al. *About face. The essentials of interaction design*. Wiley, 2014.
- [8] Anokhin A.N., Nazarenko N.A. Interface design. *Biotekhnosfera*, 2010, no. 2, pp. 21–27 (in Russ.).
- [9] Hollnagel E. *Handbook of cognitive task design*. CRC Press, 2003.
- [10] Todd E., Kemp E., Philips C. What makes a good User Interface pattern language? *Proc. 5th AUIC2004*. Vol. 28. Australian Computer Society, 2004, pp. 91–100.
- [11] Alexander C., Ishikawa S., Silverstein M. *A pattern language*. Oxford University Press, 1977.
- [12] Mahemoff M.J. *Design reuse in human-computer interaction and software engineering*. The University of Melbourne. 2001.
- [13] Coplien J.O. *Advanced C++ programming styles and idioms*. Addison Wesley, 1991.
- [14] Gamma E., Helm R., Johnson R., et al. *Design patterns. Elements of reusable object-oriented software*. Pearson, 1994.
- [15] McConnell S. *Code complete*. Microsoft Press, 1993.
- [16] Fields R., Wright P. Safety and human error in activity systems: a position. *CHI'98*, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1145/286498.286685>
- [17] Sebryakov G.G., Korsun O.N., Lavrova G.A., et al. *Sovremennye audiotekhnologii v interfeyse kabiny pilotov [Modern audio technology in a cockpit interface]*. Moscow, ID Akademii Zhukovskogo Publ., 2021.

[18] Korsun O.N., Yurko V.N., Om M.H., et al. Estimation of the interrelation between the pilot state and the quality index of piloting. *AS*, 2022, vol. 5, no. 3, pp. 465–471.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s42401-022-00135-z>

**Uali A.B.** — Doctoral Student, Auezov University (prospekt Tauke Khana 5, Shymkent, 160012 Republic of Kazakhstan).

**Naukenova A.S.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Auezov University (prospekt Tauke Khana 5, Shymkent, 160012 Republic of Kazakhstan).

**Korsun O.N.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Scientific and Educational Centre, State Research Institute of Aviation Systems (ul. Viktorenko 7, Moscow, 125167 Russian Federation).

**Tulekbayeva A.K.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Head of the Department, Auezov University (prospekt Tauke Khana 5, Shymkent, 160012 Republic of Kazakhstan).

**Glukhova E.D.** — Post-Graduate Student, State Research Institute of Aviation Systems (ul. Viktorenko 7, Moscow, 125167 Russian Federation).

**Glukhov M.A.** — Leading Programmer, DEPO Electronics (Krasnogorsk–Mitino Communal Zone, Krasnogorsk, Moscow Region, 143402 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Uali A.B., Naukenova A.S., Korsun O.N., et al. Development methodology of a human-machine interface in the system supporting the operator of industrial facilities acting in the emergencies. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2023, no. 1 (142), pp. 98–116 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2023-1-98-116>