

УДК 004.896,331.452,665.6; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-5.06>

<http://orcid.org/0000-0002-6496-3258>

<https://orcid.org/0000-0003-3926-1024>

<https://orcid.org/0000-0002-3658-5405>

<https://orcid.org/0000-0001-8814-6685>

<https://orcid.org/0000-0002-8293-1997>

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСТАНОВОК В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ



А.Б. УАЛИ¹,
докторант,
almas_1994@mail.ru



О.Н. КОРСУН²,
доктор технических наук,
профессор, руководитель
научно-образовательного
центра ФАУ «ГосНИИАС»,
marmotto@rambler.ru



А.С. НАУКЕНОВА¹,
кандидат технических наук,
ассоциированный профессор,
n.a.s.1970@mail.ru



Э.Д. ГЛУХОВА²,
инженер 1 категории,
аспирант,
emma@greenfil.ru



М.А. ГЛУХОВ³,
ведущий программист
ООО «ДЕПО Электроникс»,
mikl@greenfil.ru

¹НАО «ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА»,
Республика Казахстан, 160012, г. Шымкент, пр-т Тауке хана, 5

²ФАУ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ»,
Российская Федерация, 125167, г. Москва, ул. Викторенко, 7

³ООО «DEPO ELECTRONICS»,
Российская Федерация, 143402, Московская область, г. Красногорск,
Коммунальная зона Красногорск-Митино, д. 12.

Статья посвящена разработке и применению специализированного программного обеспечения поддержки работы оператора производственных установок нефтеперерабатывающего производства. Основу работы операторов производственных установок нефтеперерабатывающих заводов при ликвидации аварийных ситуаций составляют утвержденные руководством предприятия планы ликвидации аварий, разрабатываемые в соответствии с нормативно-правовыми документами Республики Казахстан. Однако объем информации, содержащейся в планах ликвидации аварий, весьма велик. Поэтому распечатанные на бумаге планы ликвидации аварий достаточно громоздки, что затрудняет поиск необходимого алгоритма действий в аварийной ситуации.

Предлагаемое программное обеспечение реализовано в виде интерактивного приложения и может устанавливаться на различные электронные носители – планшеты, смартфоны, стационарные компьютеры. Это позволяет операторам быстро выбирать и открывать необходимый алгоритм действий, а также расширяет возможности по обучению операторов, что актуально для снижения рисков ошибочных действий при авариях и чрезвычайных ситуациях в производственных подразделениях нефтеперерабатывающих предприятий. Приложение разработано на языке Java-script с применением формата JSON.

Интерактивное приложение прошло экспериментальную апробацию в ТОО «Петро-Казахстан Ойл Продакшн», которая показала, что время, затрачиваемое оператором на ликвидацию аварий при использовании разработанного специализированного ПО в среднем на 15% меньше, чем при работе с планом, распечатанным на бумаге, и на 30% меньше по сравнению с выполнением плана работ на память. Проведенные эксперименты также показали, что использование разработанного ПО практически полностью исключает ошибки оператора. Этим подтверждается эффективность применения разработанного интерактивного приложения на практике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оператор производственных установок, нефтеперерабатывающий завод, план ликвидации аварий, обучение, разработка, программное обеспечение, человеко-машинные интерфейсы, паттерны проектирования, интерактивное приложение.

АПАТТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДА ӨНДІРІСТІК ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ОПЕРАТОРЛАРЫНЫҢ ІС-ҚИМЫЛДАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ЗАМАНАУИ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

А.Б. УАЛИ¹, докторант, almas_1994@mail.ru

О.Н. КОРСУН², техника ғылымдарының докторы, профессор,
ФАМ «АЖМҒЗИ» ғылыми-білім беру орталығының басшысы, marmotto@rambler.ru

А.С. НАУКЕНОВА¹, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастыр. профессор,
n.a.s.1970@mail.ru

Э.Д. ГЛУХОВА³, 1 санатты инженер, аспирант, emma@greenfil.ru

М.А. ГЛУХОВ³, жетекші бағдарламашысы, mikl@greenfil.ru

¹«М. ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ» ҚЕАҚ,
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қаласы, Тәуке хан даңғылы, 5

²ФАМ «МЕМЛЕКЕТТІК АВИАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ»,
Ресей Федерациясы, 125167, Мәскеу қаласы, Викторенко көшесі, 7

³«DEPO ELECTRONIC» ЖШҚ,
Ресей Федерациясы, 143402, Мәскеу облысы, Красногорск қаласы,
Красногорск-Митино коммуналдық аймағы, 12-үй

Мақала мұнай өңдеу өндірісінің өндірістік қондырғылардың операторының жұмысын қолдаудың мамандандырылған бағдарламалық жасақтамасын әзірлеуге және пайдалануға арналған. Апаттық жағдайларды жою кезінде мұнай өңдеу зауыттарының өндірістік қондырғылардың оператордың жұмысының негізін Қазақстан Республикасының нормативтік-құқықтық құжаттарына сәйкес әзірленетін және кәсіпорын басшылығы бекіткен апаттарды жою жоспарлары (АЖЖ) құрайды. Алайда АЖЖ-дағы ақпараттың көлемі өте үлкен болғандықтан, сондықтан қағазға басып шығарылған жоспар апатты жағдайда қажетті әрекеттер алгоритмін табуды қиындатады.

Ұсынылған бағдарламалық жасақтама интерактивті қосымша түрінде жүзеге асырылған және әртүрлі электронды тасымалдаушыларға – планшеттерге, смартфондарға, стационарлық компьютерлерге орнатылуы мүмкін. Бұл операторларға қажетті іс-қимыл алгоритмін жылдам таңдауға және ашуға мүмкіндік береді, сондай-ақ операторларды оқыту бойынша мүмкіндіктерді кеңейтеді, бұл мұнай өңдеу кәсіпорындарының өндірістік бөлімшелеріндегі апаттар мен төтенше жағдайлар кезіндегі қате іс-қимылдар тәуекелдерін төмендету үшін өзекті. Интерактивті қосымша JSON форматын қолдана отырып, Java-script тілінде жасалған.

Интерактивті қосымша «ПетроҚазақстан Ойл Продакшн» ЖШС-да эксперименттік апробациядан өтті, ол әзірленген мамандандырылған бағдарламалық қосымшасын пайдалану кезінде апаттарды жоюға оператордың жұмсайтын уақыты қағазға басып шығарылған жоспармен жұмыс істегенге қарағанда орта есеппен 15% - ға және жұмыс жоспарын «жадқа» орындаумен салыстырғанда 30% - ға аз екенін көрсетті. Жүргізілген эксперименттер сонымен қатар әзірленген бағдарламалық жасақтаманы пайдалану кезінде оператордың қателіктерін толығымен жоятынын көрсетті. Бұл әзірленген интерактивті қосымшаның тәжірибеде қолданудың тиімділігін растайды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: өндірістік қондырғылардың операторы, мұнай өңдеу зауыты, апаттарды жою жоспары, оқыту, әзірлеу, бағдарламалық жасақтама, адам-машина интерфейстері, жобалау үлгілері (паттерны), интерактивті қосымша.

THE USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF PRODUCTION UNIT OPERATORS IN EMERGENCY SITUATIONS

A.B. UALI¹, doctoral student, almas_1994@mail.ru

O.N. KORSUN², Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Scientific and Educational Center, marmotto@rambler.ru

A.S. NAUKENOVA¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, n.a.s.1970@mail.ru

E.D. GLUKHOVA², Engineer of the 1st category, graduate student, emma@greenfil.ru

M.A. GLUKHOV³, Lead Programmer, miki@greenfil.ru

¹NJSC «M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY»,
5, Tauke Khan Ave., Shymkent, 160012, Republic of Kazakhstan

²FAO «STATE RESEARCH INSTITUTE OF AVIATION SYSTEMS»,
7, Viktorenko Street, Moscow, 125167, Russian Federation

³«DEPO ELECTRONICS» LLC,
1, Krasnogorsk-Mitino Communal Zone, Krasnogorsk,
Moscow region, 143402, Russian Federation,

The article deals with specialized software to support the work of production unit operator at refineries. Operators use an emergency response plan to eliminate accidents. These Emergency Response Plans (ERPs) are developed in accordance with the regulatory and legal documents of the Republic of Kazakhstan. However, the amount of information contained in the ERP is quite large. Therefore, printed on paper ERP are quite cumbersome, which makes it difficult to find the necessary algorithm of actions in an emergency situation.

The proposed software is an interactive application and can be installed on a variety of electronic media - tablets, smartphones and desktop computers. This allows operators to quickly select and open the necessary algorithm of actions, and also expands training possibilities for operators, which is important for reducing the risk of erroneous actions in accidents and emergencies in production units of oil refineries. The application has been developed in Java-script language using JSON format.

The interactive application was experimentally tested in «PetroKazakhstan Oil Production» LLP. The experiment showed that the time spent by the operator on elimination of accidents when using the developed specialized software was on average 15% less than when working with the plan printed on paper, and 30% less than when working with the plan in memory. These experiments also showed that the software almost completely eliminated operator errors. This confirms the effectiveness of the developed interactive application in practice.

KEY WORDS: operator of production units, oil refinery, emergency response plan, training, development, software, human-machine interfaces, design patterns, interactive application.

Введение. Нефтеперерабатывающие производства относятся к опасным производственным объектам, деятельность которых регламентируется требованиями законодательства в области промышленной безопасности и охраны труда [1, 2]. Одним из важнейших документов, регламентирующих работу операторов предприятий нефтеперерабатывающей отрасли, эксплуатирующих взрывопожароопасные и химически опасные производственные объекты, является план ликвидации аварий (ПЛА), в котором приведены возможные сценарии аварий и действия персонала в случае их возникновения. Перечень таких аварий составляется в рамках идентификация опасностей производственных процессов каждого производственного цеха, проведения оценки рисков и разработки декларации промышленной безопасности. Планы используются также при обучении персонала – операторов производственных установок и других должностных лиц действиям при ликвидации каждой конкретной аварийной ситуации.

Каждый ПЛА представляет собой нормативный документ на бумажном носителе, разработанный в соответствии с «Инструкцией по разработке плана ликвидации аварий и проведению учебных тревог и противоаварийных тренировок на опасных производственных объектах», утвержденной приказом № 349 Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 16.07.2021 г. [3].

При устранении аварийных ситуаций на нефтеперерабатывающих производствах важным фактором является правильность и время выполнения задач ликвидации этих аварий, и, следовательно, эффективность и согласованность действий персонала как основного участника управления технологическими процессами.

В этой связи законодательством в области промышленной безопасности устанавливаются обязательные требования ко всему персоналу производственных подразделений, непосредственно занятому эксплуатацией оборудования, которые предусматривают изучение и сдачу экзаменов по ПЛА, а также организацию специальных тренировок [4]. При этом основные проблемы связаны с тем, что в отличие от

действий по ежедневным технологическим операциям, персонал не имеет практических навыков по действиям в условиях таких редких событий, как аварии. Проведение учебных тревог на работающем производстве малоэффективно, поскольку отсутствует возможность получения навыков для множества вариантов возникновения и развития аварии и активного воздействия на элементы управления в процессе тренировки. Поэтому большое значение для поддержания и развития навыков операторов по действиям в аварийных ситуациях приобретают тренировки на специальных тренажерах, в которых возможно воспроизвести перечень сценариев, предусмотренных всеми действующими ПЛА [5].

Однако, несмотря на принимаемые меры, весьма большой объем информации, которую должны изучить все операторы производственных установок (объем одного ПЛА, распечатанного на бумаге, в среднем составляет 70 – 100 страниц) создает существенные риски ошибок обслуживающего персонала при наступившей реальной аварийной ситуации [6]. Этот вывод согласуется с известными результатами исследований по психологии стресса [7], которые показывают, что показатели надежности оператора, в первую очередь память, существенно ухудшаются в стрессовой ситуации, которой, безусловно, является авария на нефтеперерабатывающем предприятии.

Актуальным направлением совершенствования деятельности персонала в аварийных ситуациях является применение современных информационных технологий, например, в виде интерактивного приложения, позволяющему оператору производственных установок быстро вспомнить алгоритм работы по ликвидации аварийной ситуации и безошибочно его выполнить. Такое программное обеспечение, может устанавливаться на все электронные носители – планшет, смартфон или стационарный компьютер, которые будут в распоряжении работника, и может стать эффективным инструментом поддержки оператора производственных установок при действиях в аварийных ситуациях, так как работа с электронной документацией такого вида значительно эффективнее, чем с бумажной.

Разработанное программное обеспечение предоставляет оператору алгоритм его работы в удобной форме и позволяет выделять выполненные действия, а также предоставляет удобный интерфейс поиска и перехода к необходимому алгоритму устранения аварийной ситуации.

Материалы и методы исследований. В качестве основы создания программного обеспечения для формирования системы поддержки оператора технологических установок нефтеперерабатывающего предприятия в процессе действий по ПЛА была применена концепция паттернов проектирования, которая позволяет использовать широко известные и проверенные архитектурные конструкции для разработки как программного кода [8–10], так и пользовательского интерфейса.

Исходные данные для разработанного интерактивного приложения были взяты из ПЛА нефтеперерабатывающего предприятия ТОО «ПетроКазахстан Ойл Продакшн» (цех №1, секция «Изомеризация»), при этом были рассмотрены две аварийные ситуации – «Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1» и «Прогар труб змеевика печи».

Для конкретного вида аварийной ситуации исходные данные представляют описание выполняемых согласно ПЛА мероприятий по позициям для каждого работника

технологической установки. В качестве примера рассмотрим алгоритм выполнения работ по ликвидации аварии «Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1». В ПЛА первый этап мероприятий по ликвидации этой аварийной ситуации – это быстрое оповещение вышестоящего руководства и всех служб предприятия – пожарной части, скорой помощи, службы охраны по каналам специальной связи, мобильных устройств и т.д. Оповещение проводят рабочий персонал установки КЦА-1 – операторы реакторного блока, блока колонн, блока печений, машинисты и т.д. Руководит всеми работами старший оператор смены. На втором этапе проводятся конкретные работы по ликвидации аварии, представленные в *таблице 1*.

Таблица 1 – Исходные данные для разработки кода программы для аварийной ситуации – Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1

№ п/п	Мероприятия по ликвидации аварий по номерам позиций и места их возникновения	Ответственные за выполнения мероприятий
1	Ведет контроль за параметрами процесса, не допускает выход за критические пределы, дает распоряжение операторам реакторного блока предотвращать резкое повышение температуры в реакторах P-701, P-702 и начитать остановку установки изомеризации.	Старший оператор
2	Закрывает запорную арматуру на линии подачи сырья на установку изомеризации.	оператор реакторного блока
3	Останавливает насосы подачи сырья в деизопентанизатор Н-701, Н-702, нажав кнопку «Стоп», закрывает запорную арматуру на нагнетании насосов.	машинист
4	Закрывает электрораздвижку поз.UV-527 на линии вывода в продуктового изомеризата в парк.	оператор блока колонн
6	Закрывает запорную арматуру на регулирующем клапане поз.FV-008 на линии подачи теплоносителя в теплообменник Т-703. Закрывает клапаны-отсекатели на линии подачи теплоносителя UV-024 в теплообменник Т-707.	оператор реакторного блока
7	Снижает расход теплоносителя, подаваемого в печь П-751. Уменьшает расход топлива, подаваемого на горелки печи П-751.	оператор блока печей
8	Переводит деизопентанизатор К-701 на горячую циркуляцию без выводов 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 в рибойлеры Т-702, Т-714.	оператор реакторного блока
9	Переводит кубовый продукт колонны К-702 на горячую циркуляцию. Закрывает запорную арматуру на регулирующем клапане FV-028 на линии подачи кубового продукта стабилизатора К-702 в деизогексанизатор К-704. При переводе К-702 на режим полного орошения, по мере снижения уровня в Е-705 контролирует осановку насоса орошения стабилизатора Н-709 (Н-710). Следит за снижением расхода теплоносителя в рибойлер Т709. Закрывает клапан –отсекатель на линии подачи теплоносителя поз. UV-526.	оператор блока колонн
10	Производит остановку сырьевых насосов реакторов изомеризации Н-707 (Н-708), нажав кнопку «СТОП», закрывает запорную арматуру на нагнетании насосов. Прекращает подачу сырья в реакторный блок.	машинист
11	Останавливает насосы откачки бокового погона деизогексанизатора Н-719 (Н-720), нажав кнопку «СТОП», прекращает подачу бокового погона деизогексанизатора Н-704, закрывает запорную арматуру на нагнетании насосов.	машинист
12	Переводит сброс газа на скруббера К-703 на факел, открыв запорную арматуру на байпасе предохранительного клапана, закрыв клапан поз. UV-512 на линии вывода газа в топливную сеть.	оператор реакторного блока
13	Увеличивает расход свежего ВСГ до максимально возможного. Открывает клапан HV-013 на линии продувки головного реактора свежим ВСГ. Медленно открывает клапан PV-026 для сброса давления на контура реакторного блока в стабилизатор К-702, затем через скруббер К-703 на факел. Сброс давления производит с такой скоростью, которая позволяет устойчиво регулировать давление в стабилизаторе К-702.	оператор реакторного блока
14	При достижении температуры в головном реакторе 105 °С останавливает насос подачи хлорида Н-730 (Н-731), нажав кнопку «СТОП», закрывает запорную арматуру на нагнетании насосов.	машинист

Таблица 1 – Исходные данные для разработки кода программы для аварийной ситуации – Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1

15	Наблюдает за температурой в реакторах. Если температура ниже 232 °С и стабильна, то продолжает продувку реактора свежим ВСГ. Если при сбросе давления из реактора в К-702 до 1,84 Мпа температура в реакторе увеличивается, то открывает клапаны UV-026 и UV-027 для сброса давления в факельную систему, предварительно закрыв клапан-отсекатель поз. UV-025 на входе в головной реактор, закрыв запорную арматуру на линиях ВСГ для продувки, запорную арматуру с перегревателя регенерирующего агента TE-704, запорную арматуру на регулирующем клапане PV-026 на линии подачи сырья в стабилизатор К-702.	оператор реакторного блока
16	Переводит деизогексанизатор К-704 на горячую циркуляцию без вывода кубовой части колонны. Следит за снижением расхода теплоносителя в рибойлеры Т-714, Т-715. Закрывает клапан –отсекатель на линии подачи теплоносителя поз. UV-028 в рибойлеры Т-714, Т-715. Останавливает насосы кубового продукта деизогексанизатора Н-721 (Н-722), нажав кнопку «СТОП», закрывает запорную арматуру на нагнетании насосов. Останавливает холодильник Х-704. Останавливает насосы орошения деизогексанизатора Н-717 (Н-718), прекращает подачу сырья в К-705.	оператор блока колонн
17	Переводит депентанизатор К-705 на горячую циркуляцию. Закрывает запорную арматуру на регулирующем клапане FV-049 на линии подачи нефти в емкость Е-701. При переводе К-705 на режим полного орошения, по мере снижения уровня в Е-707 контролирует остановку насоса орошения депентанизатора Н-723 (Н-724). Следит за снижением расхода теплоносителя в рибойлер Т-713. Закрывает клапан-отсекатель на линии подачи теплоносителя поз. UV-029.	оператор блока колонн

Описание разработанного программного обеспечения. Разработанное ПО представляет собой программу, позволяющую просматривать алгоритм действий оператора и отмечать уже выполненные действия, а также выбирать необходимые в зависимости от условий ветви алгоритма работы оператора. ПО разработано на языке Java-script, описания конкретных операций по ПЛА задаются в файлах формата JSON [8].

Программа реализована в виде блоков, представленных на *рисунке 1*, визуально упрощенных для понимания производственного персонала и поэтапно направляющая операторов на проверку и выполнение действий по плану ликвидации аварии.

Интерфейс интерактивного приложения разработан с применением паттернов проектирования человеко-машинных интерфейсов критически важных систем [9]. Эти паттерны представляют собой описания выявленных опытным путем и признанных удачными способов решения конкретных задач проектирования человеко-машинных интерфейсов и позволяют избежать известных часто повторяемых ошибок проектирования, чем экономят время при разработке ПО.

Алгоритмы работы оператора задаются в виде файлов в формате JSON. Таким образом, реализуется возможность добавления новых аварийных ситуаций без внесе-

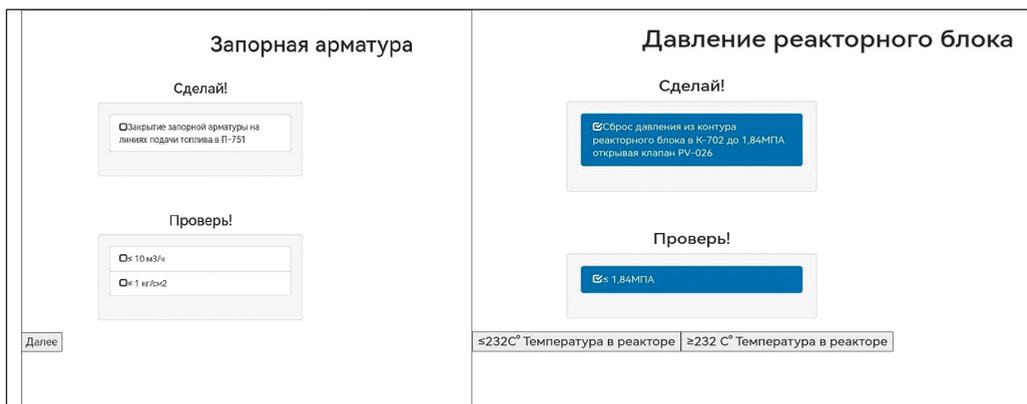


Рисунок 1 – Пример интерфейса системы поддержки оператора

ния изменений в базовый программный код [10]. Простота формата JSON позволяет вводить описания новых аварийных ситуаций специалистам в предметной области, которые знают, что именно нужно операторам и хорошо ориентируются в нормативной документации. При этом не требуется привлечение высококвалифицированных специалистов по программированию, что существенно снижает стоимость работ.

На *рисунке 2* представлен текст файла в формате JSON. Фрагменты файла, которые отображены на *рисунке 1*, на *рисунке 2* выделены оранжевой рамкой.

Результаты и обсуждение.

Эксперимент по оценке результативности созданного программного обеспечения.

Разработанное программное обеспечение было протестировано пятью операторами технологических установок цеха №1, секции «Изомеризация» для двух аварийных ситуаций – «Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1» и «Прогар труб змеевика печи».

Суть эксперимента заключалась в том, чтобы на тренажере, имитирующем технологический процесс, были проведены мероприятия по ликвидации этих аварий в 3-х вариантах:

```

1 {
2   "Caption": "Прогар труб змеевика П-751",
3   "Sequence": [
4
5     {
6       "Actions": ["Вызов ПАСЧ",
7                 "Вызов ГСО",
8                 "Скорую помощь",
9                 "«Тарлан Сарбаз»,",
10                "Сообщение диспетчеру завода",
11                "руководству цеха и секции"
12              ],
13       "Checks": []
14     },
15     {
16       "Actions": ["Остановка насосов Н-751,752,753", "Закрытие отсекаателей Хв-526,525,523"],
17       "Checks": ["Остановка печи П-751"]
18     },
19     {
20       "Actions": ["Закрытие запорной арматуры на линиях подачи топлива в П-751"],
21       "Checks": ["≤ 10 м3/ч", "≤ 1 кг/см2"]
22     },
23     {
24       "Actions": ["Сброс давления из контура реакторного блока в К-702 до 1,84МПа открывая клапан РВ-026"],
25       "Checks": ["≤ 1,84МПа"],
26       "Variants": [
27         {
28           "Caption": "≤232С° Температура в реакторе",
29           "Sequence": [
30             "Actions": ["Продолжить продувку реактора свежим ВСГ"],
31             "Checks": ["До 65С°"]
32           ]
33         },
34         {
35           "Caption": "≥232 С° Температура в реакторе",
36           "Sequence": [
37             "Actions": ["Открывает клапан отсекатели UV-026,027 для сброса давления."],
38             "Checks": ["До 65С°"]
39           ]
40         }
41       ]
42     }
43   ]
44 }
45
46 ]

```

Рисунок 2 – Файл в формате JSON

- с регламентом ПЛА, отображенным в документе (бумажная версия).
- без регламента ПЛА (на память)
- с разработанным программным обеспечением (ПО) на портативном планшете.

Эти эксперименты выполнялись для двух аварийных ситуаций: «Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1» и «Прогар труб змеевика печи».

На *рисунке 3* показана работа оператора при устранении опасной ситуации с регламентом ПЛА в бумажном варианте.

На *рисунке 4* – работа оператора при устранении опасной ситуации со специализированным ПО, установленном на портативный планшет.

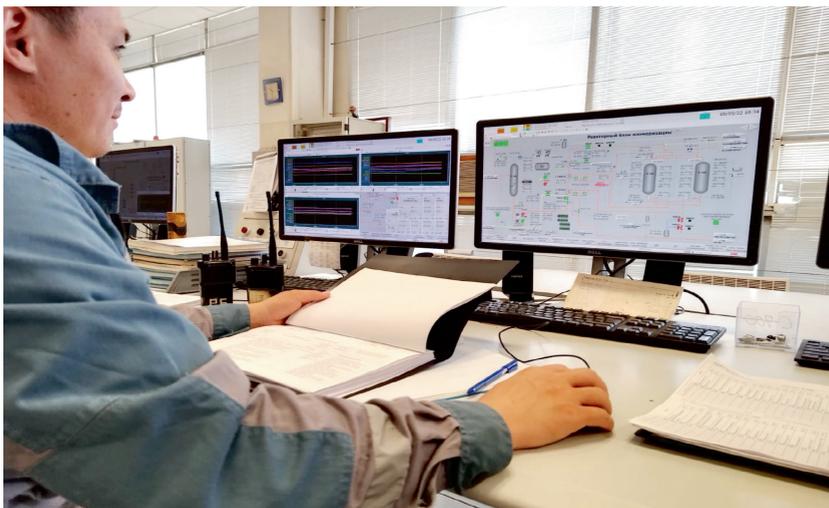


Рисунок 3 – Работа оператора при устранении опасной ситуации с ПЛА в бумажном варианте



Рисунок 4 – Работа оператора при устранении опасной ситуации со специализированным ПО, установленном на электронном устройстве

Засекалось время решения операторами этих задач – ликвидации аварийных ситуаций. Данные по эксперименту «Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1», приведены в *таблице 2*, по аварийной ситуации «Прогар труб змеевика в печи», в *таблице 3*.

Таблица 2 – Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1

Оператор	Время ликвидации аварии, в мин		
	С использованием бумажного варианта ПЛА	На память	С использованием специализированного ПО
Оператор 1	6:24	7:03	5:57
Оператор 2	6:48	7:25	6:10
Оператор 3	6:39	8:05	6:02
Оператор 4	6:07	6:55	5:39
Оператор 5	6:58	7:31	6:15

Таблица 3 – Прогар труб змеевика в печи

Оператор	Время ликвидации аварии, в мин		
	С использованием бумажного варианта ПЛА	На память	С использованием специализированного ПО
Оператор 1	5:37	6:13	5:04
Оператор 2	5:51	6:09	5:20
Оператор 3	6:07	7:35	5:52
Оператор 4	5:12	5:31	4:49
Оператор 5	5:50	6:44	5:11

На основе данных *таблиц 2 и 3* на *рисунках 5 и 6* для всех пяти операторов построены диаграммы зависимости времени, затрачиваемого на выполнение мероприятий по ликвидации данной аварии от вариантов выполнения работ (с бумажной версией ПЛА, на память без регламента и с разработанным программным обеспечением на электронном носителе – планшете).

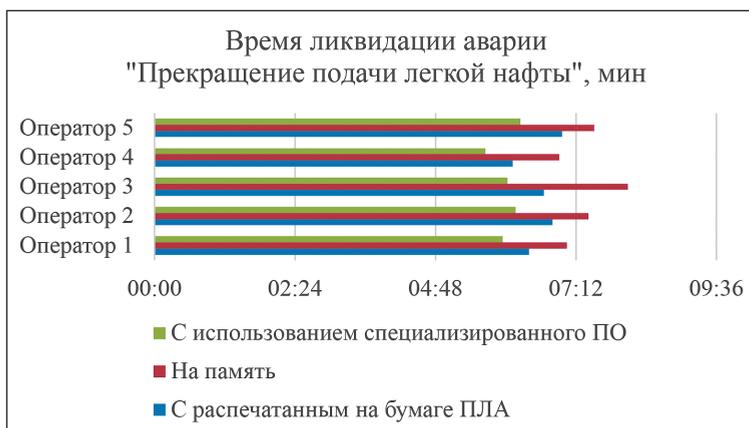


Рисунок 5 – Время ликвидации аварии «Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1»

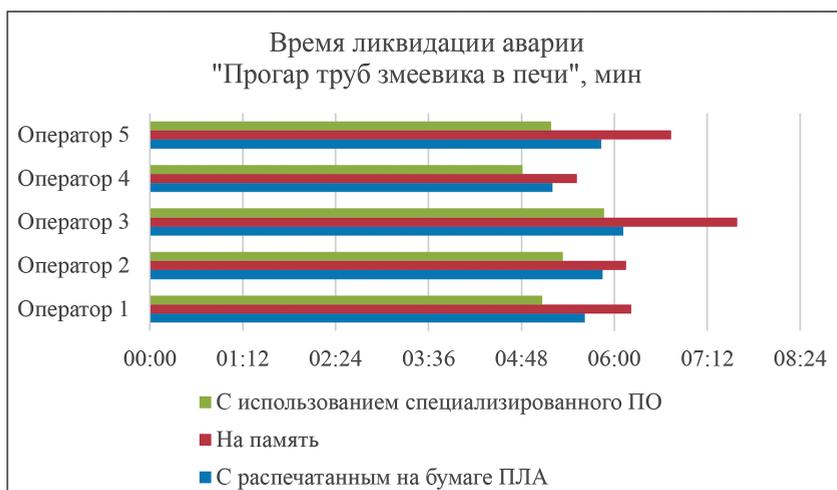


Рисунок 6 – График зависимости времени ликвидации аварии «Прогар труб змеевика в печи»

Диаграммы наглядно показывают, что для всех операторов разработанное ПО снижает время выполнения работ по ПЛА.

Вычисление средних значений времени по всем операторам для обоих вариантов аварий показало, что время, затрачиваемое оператором на ликвидацию аварий при использовании разработанного специализированного ПО, в среднем на 15% меньше, чем при работе с планом, распечатанным на бумаге, и на 30% меньше по сравнению с выполнением плана работ на память.

Другим важным результатом применения ПО является уменьшение количества ошибок операторов, соответствующие данные представлены в *таблицах 4 и 5*.

Таблица 4 – Количество ошибок оператора при ликвидации аварии «Прекращение подачи легкой нефти на установку КЦА-1»

Оператор	Количество ошибок оператора		
	С использованием бумажного варианта ПЛА	На память	С использованием специализированного ПО
Оператор 1	0	0	0
Оператор 2	0	2	0
Оператор 3	1	3	0
Оператор 4	0	2	0
Оператор 5	0	1	0

Например, оператором №3, который руководствовался только личным опытом (вариант работы на память) были допущены ошибки в последовательности действий, а именно 3 ошибки в ситуации «Прекращение подачи легкой нефти», 1 ошибка в ситуации «Прогар труб змеевика в печи». Пользуясь программой, ни один из операторов ошибок не допустил.

Таким образом, предложенное ПО повышает скорость работы оператора и снижает число ошибок. Это подтверждает его практическую значимость.

Таблица 5 – Количество ошибок оператора при ликвидации аварии
«Прогар труб змеевика в печи»

Оператор	Количество ошибок оператора		
	С использованием бумажного варианта ПЛА	На память	С использованием специализированного ПО
Оператор 1	0	0	0
Оператор 2	0	0	0
Оператор 3	1	1	0
Оператор 4	0	0	0
Оператор 5	2	2	0

Однако необходимо учитывать, что разработанное ПО является дополнительным средством поддержки работы оператора при ликвидации аварийной ситуации, а также интерактивным средством обучения. Разработанное ПО не может и не должно полностью заменить ПЛА, который является основным нормативным документом, регламентирующим действия персонала в аварийных ситуациях.

Выводы.

1. Время, затрачиваемое оператором на ликвидацию аварий при использовании разработанного специализированного ПО, в среднем на 15 % меньше, чем при работе с планом, распечатанным на бумаге, и на 30 % меньше по сравнению с выполнением плана работ на память. Кроме того, применение разработанного ПО позволяет практически полностью исключить ошибки оператора.

2. Разработанное ПО может обеспечивать работу с другими аварийными ситуациями, при этом разрабатывается новый файл программы, в который вводится содержание разделов ПЛА для соответствующей аварийной ситуации. Принятый при разработке архитектурный шаблон программирования позволяет оптимизировать процесс ввода исходных данных для нового ПЛА, что делает приложение удобным, безопасным и стабильно работающим.

3. Интерактивное приложение в силу доступности для операторов производственных установок (может устанавливаться на все электронные носители – планшет, смартфон или стационарный компьютер) позволяет облегчить как процесс обучения и проверки своих знаний, так и собственно действия оператора по алгоритму ликвидации потенциальных аварийных ситуаций на практике. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов в нефтехимической, нефтеперерабатывающей отраслях, нефтебаз и автозаправочных станций. Интернет-ресурс: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010256> [Pravila obespecheniya promyshlennoj bezopasnosti dlya opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov v nefekhimicheskoj, neftepererabatyvayushchej otraslyah, neftebaz i avtozaprovchnyh stancij. Internet-resurs: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010256>]
- 2 Трудовой кодекс Республики Казахстан. Интернет-ресурс: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414> [Pravila obespecheniya promyshlennoj bezopasnosti dlya opasnyh

produktivnykh ob"ektov v neftekhimicheskoi, neftepererabatyvayushchei otraslyah, neftebaz i avtozaprovodnykh stantsij. Internet-resurs: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010256>]

- 3 Инструкция по разработке плана ликвидации аварий и проведению учебных тревог и противоаварийных тренировок на опасных производственных объектах (утверждена приказом Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 16 июля 2021 года № 349). Интернет-ресурс: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023684> [Instrukciya po razrabotke plana likvidacii avarij i provedeniyu uchebnykh trevog i protivoavarijnykh trenirovok na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektah (utverzhdena prikazom Ministra po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan ot 16 iyulya 2021 goda № 349). Internet-resurs: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023684>]
- 4 Габиров Ф.Г., Багиров К.А., Оджагов Г.О. и др. Обеспечение безаварийности опасных объектов на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности // Вестник Калмыцкого университета. – 2014. – №3 (23). – С. 46–50. [Gabibov F.G., Bagirov K.A., Odzhagov G.O. i dr. Obespechenie bezavarijnosti opasnykh ob"ektov na predpriyatiyah himicheskoi, neftekhimicheskoi i neftepererabatyvayushchei promyshlennosti // Vestnik Kalmyckogo universiteta. – 2014. – № 3 (23). – S. 46–50.]
- 5 Козлитин А.М. Анализ и оценка риска возникновения и развития аварии в планах локализации и ликвидации аварий // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 5. – С. 402 - 417. [Kozlitin A.M. Analiz i ocenka riska vzniknoveniya i razvitiya avarii v planah lokalizacii i likvidacii avarij // Neftegazovoe delo. - 2013. – № 5. -S. 402 – 417.]
- 6 Козлитин А.М. Анализ и оценка риска в планах локализации и ликвидации аварий химически опасных производств на предприятиях органического синтеза // Нефтегазовое дело. – 2014. – No 12. – С. 146–154. [Kozlitin A.M. Analiz i ocenka riska v planah lokalizacii i likvidacii avarij himicheskii opasnykh proizvodstv na predpriyatiyah organicheskogo sinteza // Neftegazovoe delo. – 2014. – №12. – S. 146–154.]
- 7 Сапольски Р. Психология стресса / пер. с англ. под ред. Е. И. Николаевой. – М.: Питер, 2015. – С. 480. [Sapolsky R. Psychology of stress / per. from English. ed. E. I. Nikolaeva. – M.: Peter, 2015. – S. 480.]
- 8 Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – М.: Вильямс, 2015. – С. 368. [Gamma E., Helm R., Dzhonson R., Vlissides Dzh. Priemy ob"ektno-orientirovannogo proektirovaniya. Patterny proektirovaniya. – M.: il'yams, 2015. – S. 368.]
- 9 Mahemoff M.J. Design Reuse in Human-Computer Interaction and Software Engineering. The University of Melbourne, 2001. 377 p.
- 10 Макконелл С. Совершенный код. Практическое руководство по разработке программного обеспечения. – М.: Русская редакция, 2013. – С. 896. [Makkonell S. Sovershennyi kod. Prakticheskoe rukovodstvo po razrabotke programmnoo obespecheniya. – M.: Russkaya redakciya, 2013. -896 s.]