

день в научной литературе отсутствуют точные количественные данные о вкладе различных источников в общий уровень запыленности. Особенно это касается зон пересыпа руды, которые конструктивно практически не защищены от распространения пыли.

По результатам экспериментальных замеров установлено, что процесс разрушения руды за щитом комбайна «Урал-20Р-12» формирует 25-35% от общего объема выделяющейся пыли, тогда как основной вклад (65-75%) в запыленность рабочей зоны вносит пересып руды при её транспортировке с комбайна в бункер и далее в вагон.

Определена методика оценки содержания пыли в руде за счет ситового анализа. Разработан проект стенда для лабораторных исследований процессов пылеобразования при ссыпании руды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Борьба с пылью на калийных рудниках. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
2. Максимов А. Б. Обоснование параметров породоразрушающих исполнительных органов и погрузочно-го оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Максимов Алексей Борисович. – Пермь, 2019. – 182 с.: ил.
3. Исаевич А.Г., Суханов А.Е., Желнин М.С., Поляков И.В. Оценка эффективности различных вариантов проветривания тупикового комбайнового забоя по пылевому фактору в условиях глубокого калийного рудника // Горный журнал. – 2023 – № 11. – С. 43-49. – DOI: 10.17580/gzh.2023.11.07.
4. Исаевич А.Г. Научное обоснование методологии управления пылевой обстановкой в горных выработках калийных рудников: дис. ... докт. техн. наук: 2.8.6: защищена 12.07.23 / Исаевич Алексей Геннадьевич. – Пермь, 2023. – 266 с.
5. Овсянкин А.Д. Исследование и разработка способов мокрого обеспыливания в комбайновых забоях калийных рудников: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02. – Пермь, 1975. – 231 с.
6. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников / УрО АН СССР. – Свердловск, 1990. – 251 с.: ил.
7. Левин Л.Ю., Суханов А.Е., Исаевич А.Г., Козунин И.И. Экспериментальные исследования зависимости пылевой обстановки в тупиковой выработке от применяемого способа проветривания при механизированной добыче калийных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 10. – С. 35-50. – DOI: 10.25018/0236_1493_2024_10_0_35.
8. Шишлияников Д.И., Максимов А.Б., Трифанов Г.Д., Чекмасов Н.В. Исследование процесса формирования необогатимых классов калийной руды при добыче, погрузке и транспортировании // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2019. – № 2. – С. 230-242.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2025.3.7

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ЧАСТИ ПЛАНА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ

О.С. Краев, Н.А. Князев, Д.С. Кормщиков
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрен опыт создания программного обеспечения для визуализации и оперативного контроля за реализацией мероприятий, предусмотренных оперативной частью плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛЛПА) в командных пунктах предприятий, осуществляющих разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом. Описаны этапы развития проекта, функциональные возможности системы, особенности её применения в работе горного диспетчера и перспективы внедрения технологий виртуальной реальности для обучения персонала.

Ключевые слова: ликвидация аварий, диспетчеризация, цифровая модель, визуализация, VR, промышленная безопасность.

Введение

Цифровизация процессов обеспечения промышленной безопасности – одна из ключевых задач современной горнодобывающей отрасли. Быстрое выявление и ликвидация аварийных ситуаций требуют скоординированных действий диспетчера, инженерно-технического персонала и оперативных служб. Внедрение программных средств визуализации и автоматизации процедур позволяет значительно повысить оперативность реагирования, снизить риски человеческой ошибки и обеспечить прозрачность всех выполненных мероприятий в реальном времени.

В 2020 году Ростехнадзор издал Приказ № 505 [2], в пункте 70 которого впервые чётко зафиксировано требование об отображении оперативной части ПМЛЛПА с помощью программных средств и выводе информации на видеостены в диспетчерских пунктах. Кроме того, в Приказе № 520 [3] в пункте 26 регламентируется, что все инженерные расчёты при горноспасательных работах в подземных выработках должны выполняться с помощью специализированных программ. Это касается моделирования развития пожара, расчёта режимов проветривания и противопожарного водоснабжения, оценки устойчивости вентиляции при аварийных пожарах, а также определения зон поражения при пожарах и взрывах. В основу таких расчётов закладываются цифровые модели топологии выработок, предоставляемые горными предприятиями, что отражает переход отрасли к комплексной автоматизации аварийного менеджмента [4].

После вступления новых требований в силу в Горный институт обратились крупнейшие горнодобывающие компании, среди которых «Уралкалий» и «Еврохим», для создания программного обеспечения. В 2020-2022 годах для данных предприятий были разработаны и внедрены специализированные программные продукты, один из которых представлен на рисунке рис. 1.

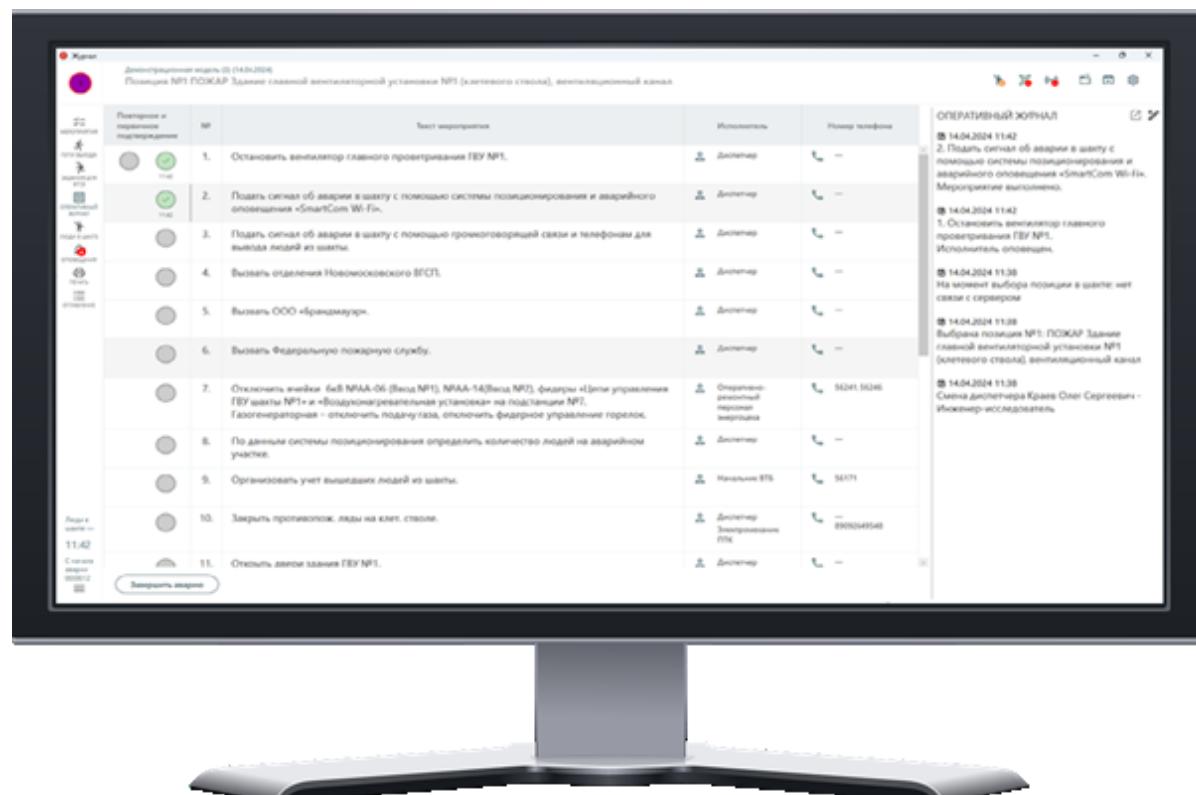


Рис. 1. Система контроля выполнения оперативной части плана ликвидации аварий Emergency Guide

Реализованные программные продукты характеризовались следующим функционалом:

- *функциональность для диспетчера*: визуализация ПМЛЛПА на многомониторных видеостенах; интерактивное подтверждение выполнения мероприятий;
- *автоматизация по данным датчиков*: система самостоятельно фиксирует данные об изменениях работы технологического оборудования с автоматической отметкой об выполнении мероприятий;
- *отчетность в реальном времени*: формирование полного комплекта документов по проделанным мероприятиям, что обеспечивает не только оперативное управление, но и последующий аудит действий.

Заполнение оперативной части и хранение данных осуществляется в модели, созданной в аналитическом комплексе «АэроСеть» [1]. Благодаря такому подходу предприятия получили прозрачный и легко интегрируемый механизм контроля аварийных операций, соответствующий последним нормативным требованиям и тенденции цифровой трансформации отрасли.

Универсализация решения: разработка функционала ведения оперативного журнала в веб-приложении

Полученный опыт показал необходимость создания более гибкой и масштабируемой системы, пригодной для внедрения на предприятиях с различными условиями и инфраструктурой. Так родилась идея создания новой программы на базе разрабатываемой нами цифровой веб-платформы [4].

Основные особенности данной системы:

- клиент-серверная архитектура, обеспечивающая многопользовательский доступ;
- кроссплатформенность, позволяющая работать с системой с различных устройств;
- разделение интерфейсов, позволяющее каждому участнику аварийного реагирования видеть только ту информацию, которая ему необходима;
- автоматическая фиксация событий в оперативный журнал с возможностью последующей генерации документов.

Принцип работы программы строится на единой цифровой модели, которая отображается на видеостене, в интерфейсе диспетчера и, при необходимости, на устройствах других должностных лиц, например, главного инженера [5]. Таким образом, обеспечивается синхронная работа всех участников процесса с единым информационным полем.

Принцип работы программного обеспечения в аварийной ситуации

Алгоритм работы диспетчера в случае поступления сигнала об аварии реализован следующим образом.

1. Указание места аварии – диспетчер в модели указывает место возникновения аварии (например, пожар или выброс), и эта информация фиксируется на видеостене.
2. Автоматическая маршрутизация – система определяет рабочие места, оказавшиеся в зоне задымления, и строит индивидуальные маршруты эвакуации. Для сотрудников вне зоны поражения отображаются ближайшие запасные выходы. Пример показан на рисунке 2.
3. Автоматическое открытие нужного раздела ПМЛЛПА – интерфейс переключается на соответствующую позицию оперативной части и диспетчер может быстро выполнить задействование. Пример показан на рисунке 3.
4. Уведомление ответственных лиц – в соответствии с перечнем оповещения автоматически рассылаются уведомления о происшествии по заранее заданным каналам (смс, e-mail, push-уведомления и т. д.).

5. Универсализация способов ввода информации – добавление оперативных записей как с помощью голосового ввода данных с автоматическим преобразованием в текст, так и с клавиатуры напрямую.

6. Завершение аварии – после завершения всех мероприятий диспетчер нажимает кнопку «Завершить аварию» и при необходимости добавляет комментарий.

7. Генерация оперативного журнала – система формирует журнал действий с временными метками, данными задействованных лиц и выполненных пунктов ПМЛЛПА. Документ доступен в интерфейсе приложения, также возможна выгрузка в виде готового файла. Пример показан на рисунке 4.

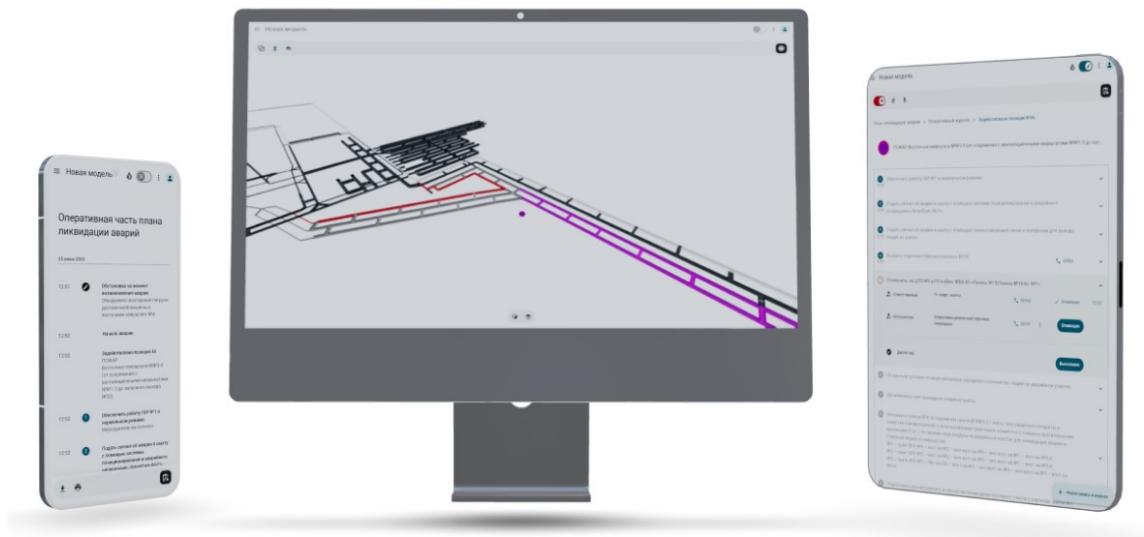


Рис. 2. Задействование ПМЛЛПА на разных устройствах

Важно отметить, что благодаря использованию клиент-серверной архитектуры и кроссплатформенности все участники процесса ликвидации аварии могут параллельно и независимо подключаться к системе с любых устройств, имеющих доступ в сеть интернет, без ущерба для её производительности [6]. Это особенно актуально для руководящего состава – например, главный инженер, не находясь на рабочем месте, но имея доступ в сеть, может войти в систему, открыть актуальную модель и в режиме реального времени наблюдать за ходом выполнения мероприятий. Такой подход обеспечивает прозрачность, контроль и синхронизацию действий всех задействованных лиц, не препятствуя при этом работе диспетчера и других операторов.

Перспективы использования технологий виртуальной реальности

В рамках дальнейшей работы над цифровыми инструментами для ПМЛЛПА нами был разработан прототип тренажера виртуальной реальности (VR), предназначенный для отработки навыков эвакуации и поведения в аварийной ситуации [5-6].

Основные возможности VR:

- перемещение внутри фотосферы, соответствующей реальному выработанному пространству (рис. 3);
- моделирование обстановки как в обычных, так и в чрезвычайных условиях;
- использование цветовых фильтров для имитации задымления (рис. 4);
- имитация работы фонаря в условиях ограниченной видимости (рис. 5);
- возможность пошагового прохождения различных маршрутов эвакуации.

VR может использоваться как для индивидуальной, так и для групповой подготовки, в том числе, в рамках учебных тревог, вводного инструктажа и регулярных тренировок.

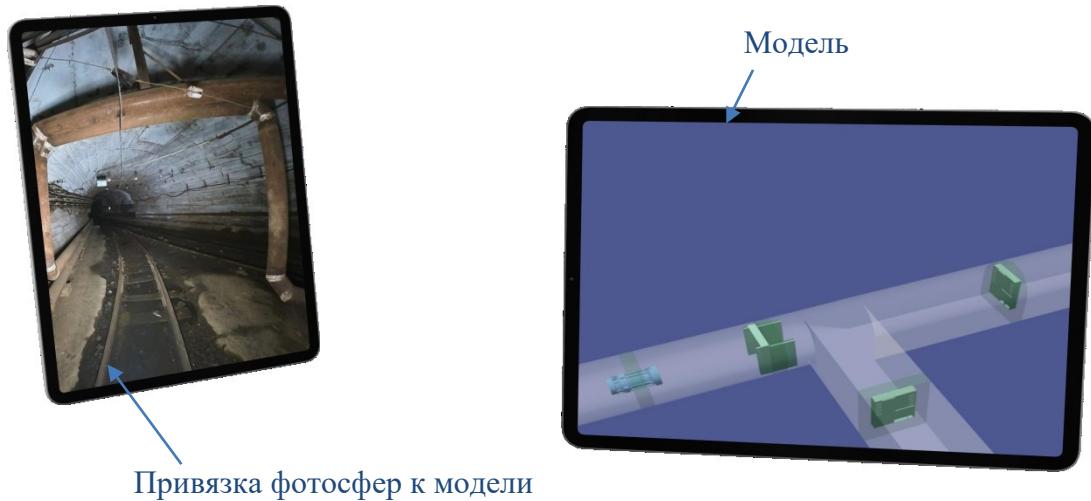


Рис. 3. Виртуальное перемещение в фотосфере реальной выработки



Рис. 4. Визуализация дымового эффекта цветовыми фильтрами



Рис. 5. Эмуляция светового луча в условиях ограниченной видимости

Заключение

Разработка цифровых инструментов для визуализации и сопровождения ПМЛПА является важным шагом на пути повышения промышленной безопасности и цифровизации шахтной диспетчерской службы. Полученный опыт показал высокую востребованность подобных решений в отрасли, а внедрение технологий автоматического воздействия и виртуальной реальности открывает новые горизонты для обучения и оперативного управления аварийными ситуациями.

В ходе практической эксплуатации двух специализированных программных продуктов, созданных в 2020-2022 гг. для предприятий «Уралкалий» и «Еврохим», были достигнуты следующие результаты.

- **Сокращение времени реагирования**

При проведении опытно-промышленных испытаний на базе ПАО «Уралкалий» время выполнения полного цикла мероприятий по локализации и ликвидации аварии снизилось.

- **Повышение точности и оперативности учёта мероприятий**

Автоматическая фиксация срабатываний датчиков и интерактивное подтверждение выполнения пунктов ПМЛПА позволили исключить пропуски, несвоевременную фиксацию данных, а также опоздания в отчётности. В результате время подготовки необходимого пакета документов сократилось с нескольких часов до непрерывного онлайн-формирования.

- **Уменьшение доли человеческого фактора**

За счёт перехода на цифровые модели пропуска критически важных операций практически не выявлялись. В ходе испытаний число отклонений от регламентированных действий снизилось.

Полученный положительный опыт и объективные показатели pilot-тестов свидетельствуют о том, что комплексное цифровое решение для сопровождения ПМЛПА не только соответствует современным требованиям Ростехнадзора (Приказ № 505 [2] и № 520 [3]), но и существенно превосходит традиционные методы по скорости, надёжности и удобству эксплуатации.

Перспективы дальнейшего развития заключаются во внедрении алгоритмов искусственного интеллекта [6] для предиктивной оценки рисков аварийных сценариев в реальном времени, интеграции с ERP- и SCADA-системами предприятий, а также расширении VR-функционала за счёт моделирования мультипользовательских аварийных ситуаций и адаптивного обучения персонала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аналитический комплекс «АэроСеть»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2015610589 / Зайцев А.В., Казаков Б.П., Кашников А.В., Кормщиков Д.С., Круглов Ю.В., Левин Л.Ю., Мальков П.С., Шалимов А.В.; заявитель и правообладатель ГИ УрО РАН – № 2014613790; заявл. 24.04.2014; зарегистрировано 14.01.2015; опубл. 20.02.2015. С. 1.
2. Приказ от 8 декабря 2020 года № 505 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Пункт 70.
3. Приказ от 1 декабря 2020 года № 520 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы». Пункт 26.
4. Беляева В.Д., Керейник Ю.Ф. Современные системы безопасности опасных производственных объектов // Автоматизация в промышленности. 2022. № 1. С. 61-64.
5. Нехорошев С.Н., Кудрявцев А.Н., Попов А.П., Свентская Н.В. О цифровом развитии единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18, № 8. С. 60-67
6. Weidong Z., Zhijie G., Chaoxian W. Digital Transformation of Emergency Management System: Technical Framework and Policy Path // Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 107-116.