

DOI: 10.24000/0409-2961-2023-11-7-16

УДК 004.422.81:629.039.58

© Коллектив авторов, 2023

Новая программная платформа ТОХИ+ для расчета последствий и количественной оценки риска аварий в области промышленной, пожарной и экологической безопасности



А.С. Софьин,
канд. техн. наук, зав.
отделом,
toxi@safety.ru



С.А. Буйновский,
директор по
информационным
технологиям



О.В. Гавриленко,
зав. отделом



А.М. Сверчков,
канд. техн. наук, зам.
зав. отделом



А.С. Печёркин,
д-р техн. наук, проф.,
первый зам. ген.
директора

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Российская Федерация

В статье рассматривается новая разработка ЗАО НТЦ ПБ — программная платформа ТОХИ+6 для выполнения расчетных задач в области промышленной, пожарной и экологической безопасности. Целью создания программной платформы являются кроссплатформенность (поддержка Windows и отечественных операционных систем на базе Linux), интеграция, максимальная автоматизация вычислительных процессов, связанных с оценкой последствий и риска аварий на опасных производственных объектах, на которых обращаются опасные и загрязняющие вещества. Представлены основные нововведения, касающиеся расчета риска аварий и пожарного риска, планы по дальнейшему расширению функционала платформы.

Ключевые слова: программное средство, платформа ТОХИ+, авария, методика, промышленная безопасность, пожарная безопасность, риск, оценка, опасный производственный объект.

Для цитирования: Софьин А.С., Буйновский С.А., Гавриленко О.В., Сверчков А.М., Печёркин А.С. Новая программная платформа ТОХИ+ для расчета последствий и количественной оценки риска аварий в области промышленной, пожарной и экологической безопасности // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 11. С. 7–16. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-11-7-16

New Software Platform TOXI+ for Calculating the Consequences and Quantitative Risk Assessment of Accidents in the Field of Industrial, Fire and Environmental Safety

A.S. Sofyin, Cand. Sci. (Eng.), Department Head, toxi@safety.ru, STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russian Federation

S.A. Buynovskiy, Chief Information Officer, STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russian Federation

O.V. Gavrilenko, Department Head, STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russian Federation

A.M. Sverchkov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Department, STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russian Federation

A.S. Pecherkin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., First Deputy General Director, STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents the main innovations of the TOXI+6 software platform for calculating the consequences of accidents involving hazardous substances and quantitative risk assessment in the field of industrial, fire and environmental safety and the main differences from the TOXI+Risk 5 PC. Plans are given for the future development of the platform, for conducting its beta testing among users of TOXI+Risk 5 and licensing.

Some of the most significant changes to the TOXI+6 platform in terms of performing calculations are: a general interface for working with plan objects; support for various types of equipment with hazardous substances; the ability to assess the possibility of destruction of objects and injury to people; in this case, the distribution of people can be specified considering the probability of presence in various places of the facility and with reference to the time of their presence in the vicinity of the hazardous facility during the 24-hour day and work week; an expanded list of types of dangerous accident outcomes and hazardous factors; the ability to take into account several options for one accident scenario; taking into account the impact of several hazardous factors on recipients within one scenario (or scenario option), a new system for outputting reporting materials.

New capabilities of the TOXI+6 client-server platform will ensure the most complete automation of the stages of calculating the consequences of accidents and quantitative risk assessment; take into account the new provisions of methodological and regulatory documents of Ros-technadzor, EMERCOM of Russia, etc.; provide support for multi-threaded work for productive computing, cross-platform (compatibility with Linux-based operating systems), collaboration on projects, connection of modules with the required functionality, which will allow to reduce the labor intensity for conducting calculations, reduce the computer time of calculations and the conservatism of the resulting estimates.

Keywords: software, TOXI+ platform, accident, methodology, industrial safety, fire safety, risk, assessment, hazardous production facility.

For citation: Sofyin A.S., Buynovskiy S.A., Gavrilenko O.V., Sverchkov A.M., Pecherkin A.S. New Software Platform TOXI+ for Calculating the Consequences and Quantitative Risk Assessment of Accidents in the Field of Industrial, Fire and Environmental Safety. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2023. № 11. pp. 7–16. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2023-11-7-16

Введение

В настоящее время широкое применение нашла методология оценки риска аварий на опасных производственных объектах (ОПО). Соответствующие методики для оценки риска разработаны в области промышленной [1–12] и пожарной безопасности [13]. Различные показатели риска используют для оценки эффективности компенсирующих мероприятий при отступлении от существующих требований промышленной или пожарной безопасности, обоснования новых требований при разработке специальных технических условий [14], обоснований безопасности ОПО [15]. Количественная оценка риска является обязательной процедурой при декларировании промышленной безопасности [16]. Необходимость выполнения расчетов пожарного риска регламентируется в [17].

Методология количественной оценки показателей риска требует рассмотрения возможных сценариев аварийных воздействий, анализа их последствий и определения интегральных показателей опасности (риска). Как правило, для выполнения этих задач используют математические методы, в том числе методы физико-математического моделирования аварийных процессов, методы математической статистики и теории вероятности, что приводит к большому объему сложных вычислений, который невозможно обеспечить без применения средств программной автоматизации.

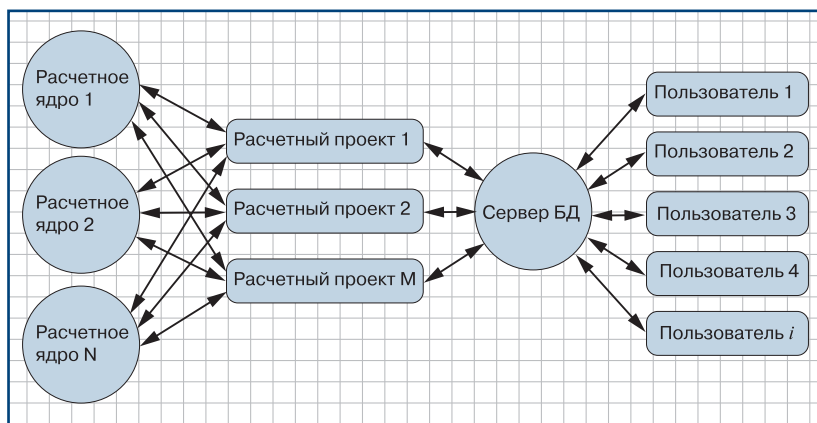
Ведущими отечественными средствами для выполнения оценки риска и последствий аварий на ОПО является серия программных комплексов (ПК) TOXI+, которая в настоящее время включает в себя ПК TOXI+Risk 5 (оценка последствий аварийных выбросов опасных веществ (ОВ), расчет зон поражения, пострадавших, показателей риска, в том числе взрывных нагрузок на здания и сооружения), TOXI+Гидроудар (расчет выбросов жидких ОВ и расчет переходных процессов в трубопроводных системах), TOXI+Прогноз (оценка последствий аварий с выбросом ОВ на ОПО в режиме реального времени с учетом актуальных метеоданных и показаний датчиков загазованности), TOXI+HAZOP (оформление протоколов процедур качественной оценки риска HAZID/HAPOZ/SIL). Подробное

описание этих программных продуктов представлено в работе [18].

Многолетняя практика применения этих программных средств показала необходимость: их объединения в рамках единой платформы для удобства использования; максимально полной автоматизации стадий проведения расчетов последствий аварий и количественной оценки риска; обеспечения кроссплатформенности (совместимость с Windows и отечественными операционными системами (ОС) на базе Linux); обеспечения поддержки многопоточной работы для производительных вычислений; обеспечения совместной работы над проектами. На базе этих принципов ведется разработка новой программной платформы TOXI+6.

Архитектура платформы TOXI+6

Архитектура платформы состоит из трех элементов: сервер базы данных (БД), клиентское приложение с графическим интерфейсом пользователя, расчетное ядро (рис. 1). Указанные элементы могут быть установлены как на одном персональном компьютере, так и на различных машинах. Например, сервер БД может быть установлен на файловый сервер, который имеет большой запас свободного места на диске и функцию резервного копирования; расчетное ядро — на наиболее мощном компьютере, имеющем наибольшее количество ядер процессора и оперативной памяти. Клиентское приложение не требует значительных ресурсов и может быть установлено на одном или нескольких компьютерах пользователей. Обмен данными среди элементов платформы происходит по сетевому протоколу TCP/IP.



▲ Рис. 1. Архитектура TOXI+6

▲ Fig. 1. Architecture of TOXI+6

Такая схема позволяет обеспечить одновременную работу нескольких пользователей над одной или разными расчетными задачами.

Приложения сервера БД и расчетного ядра поставляются в виде нативных приложений ОС Windows или Linux (ALT Linux, Astra Linux, РЕД ОС, ROSA Linux и др.). Клиентское приложение является приложением под ОС Windows, но также может быть запущено под Linux с использованием эмулятора Wine.

Функционал платформы ТОХИ+6 обеспечивают подключаемые модули. Для расчета показателей риска, в том числе и пожарного, на открытых площадных ОПО разработана первая версия модуля «Риск». Планируется также внедрение модуля «Гидроудар» для расчета нестационарных процессов и аварийных утечек из трубопроводных систем, модуля «Прогноз» для расчета последствий аварий на ОПО в режиме реального времени, модуля «Пожарный риск в зданиях и сооружениях» для обеспечения расчетов по методикам МЧС России [13, 19], модуля «Разлив по рельефу местности».

Новые возможности модуля «Риск»

Модуль «Риск» платформы ТОХИ+6 предназначен для выполнения расчетов аварийного и регламентированного поступления ОВ в окружающую среду из оборудования различного типа на ОПО (в том числе при транспортировке), моделирования распространения ОВ в окружающем пространстве, оценки возможных зон поражения при реализации опасных исходов (взрывы, пожары, кинетическое и отравляющие воздействия), последствий их воздействия на окружающие объекты и людей, показатели риска. Данный модуль представляет более широкий функционал «пакетного» расчета, реализованного в ПК ТОХИ+Risk 5.

Задание исходных данных

Общие сведения. Принцип задания исходных данных, как и в ПК ТОХИ+Risk 5, осуществляется путем расположения объектов и определения их свойств на двухмерном плане ОПО и прилегающих территорий (рис. 2). Объекты делятся на три типа: вспомогательные объекты для работы с планом (масштабный отрезок, система координат, измерительная линейка); оборудование, представляющее опасность, и его конструктивные элементы (емкостное оборудование, трубопроводы, обвалование); объекты — реципиенты риска (места расположения людей, здания (сооружения)). Параметры объектов задаются пользователем вручную либо с

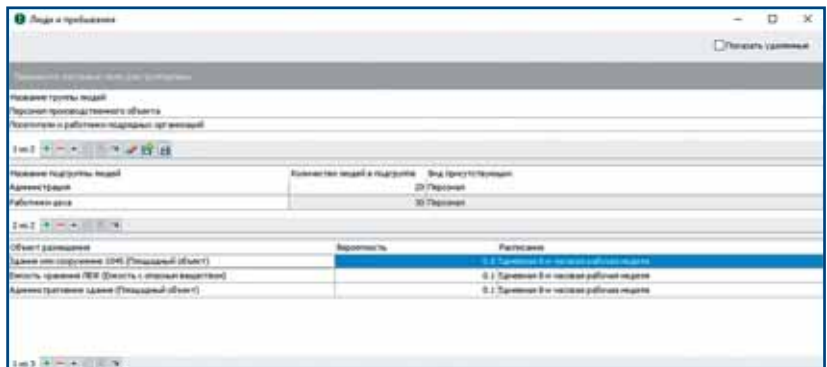


▲ Рис. 2. Общий вид графического интерфейса платформы ТОХИ+6
▲ Fig. 2. General view of the graphical interface of the TOXI+6 platform

использованием встроенных редактируемых справочников (справочник ОВ, справочник расписания пребывания людей на объекте, справочник типового оборудования, справочники аварийных событий и деревьев событий и др.).

Новизной данной структуры объектов является то, что все объекты (кроме вспомогательных) могут характеризоваться пороговыми значениями их разрушения от основных опасных факторов аварии, а также являться местами присутствия людей. Таким образом, люди могут располагаться не только на площадках, как это было в ПК ТОХИ+Risk 5, но и в конкретных точках (пост охраны) или перемещаться по маршруту в виде ломанной линии (обходчики магистральных трубопроводов).

Новый порядок учета пребывания людей. Существенные изменения претерпел интерфейс задания людей. В ПК ТОХИ+Risk 5 на одном площадном объекте могла находиться только одна группа людей, которая относилась либо к персоналу ОПО, либо к третьим лицам. Такой способ задания приводил к определенным неудобствам при расчете риска для людей, которые в течение рабочего дня перемещаются по различным составляющим ОПО. В модуле «Риск» это ограничение устранено, принят следующий подход для задания распределения людей (рис. 3).



▲ Рис. 3. Интерфейс задания распределения людей
▲ Fig. 3. Interface for setting the distribution of people

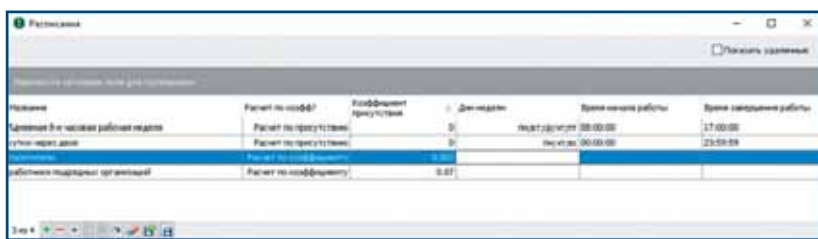
1. Люди, присутствующие на ОПО и в его окрестностях, разбиваются на подгруппы согласно штатно-

му расписанию и соответствию местоположению и времени пребывания.

2. Каждая подгруппа характеризуется численностью и категорией (например, персонал, третьи лица), а также местами временного размещения (таких мест может быть несколько).

3. Каждое место временного размещения характеризуется областью пребывания, может быть опасным оборудованием (точечный объект), трубопроводом (линейный объект), площадкой или зданием (сооружением), вероятностью пребывания в указанной области при присутствии в окрестности ОПО, длительностью присутствия в окрестности ОПО, которая задается при помощи расписания.

4. Расписание определяет время присутствия людей подгруппы в окрестности ОПО в часах и минутах для каждого дня недели (рис. 4).



▲ Рис. 4. Панель задания расписаний

▲ Fig. 4. Panel for setting schedules

5. Подгруппы людей объединяются в группы с возможностью вывода общих по группе показателей риска.

Возможность внедрения такого детального учета места пребывания людей появилась с выходом новой редакции руководства по безопасности [1], описание математического аппарата представлено в работе [20]. Указанный подход позволяет не только моделировать скопления людей в определенное время в течение недели, но и учитывать время пребывания людей в течение суток. Последнее важно при расчете последствий аварий от ряда опасных факторов, например, наихудшие условия для рассеивания облаков топливно-воздушной смеси (ТВС) возникают в вечернее и ночное время, когда сотрудники предприятия покинули место работы.

Особенности задания опасного оборудования и деревьев событий. Способ задания опасного оборудования также претерпел ряд изменений по сравнению с ПК TOXI+Risk 5. Исключена необходимость привязки опасного оборудования к площадным объектам. Параметры оборудования, как и других объектов плана, задаются в унифицированном интерфейсе (см. рис. 2). Возможность задания нескольких состояний оборудования, которая была в TOXI+Risk 5, в модуле «Риск» исключена. В целом для емкостного оборудования перечень определяемых параметров существенно не изменился.

Основные изменения коснулись порядка задания параметров трубопроводов. Исключена концепция

задания аварий на трубопроводах с помощью «модельных источников опасности» ПК TOXI+Risk 5. В модуле «Риск» предусмотрено задание следующих видов трубопроводов: технологический газопровод, магистральный газопровод, технологический трубопровод с жидкостью, магистральный нефтепровод, магистральный конденсаторопровод. Трубопроводы разделяются на секции, в которых задаются специфические параметры, в том числе наличие запорной арматуры, характер залегания (подземное, наземное, на эстакаде, подводное), глубина залегания, параметры грунта (для газопроводов), толщина стенки трубы, шаг разбиения аварийных участков и т.д.

Задание аварийных событий для опасного оборудования любого типа выполняется автоматически с использованием заранее заданных шаблонов.

При первом выборе аварийных событий генератор подбирает нужный шаблон аварийных событий исходя из типа оборудования (в том числе типа трубопроводов и диаметра), давления в оборудовании.

Задание деревьев событий выполнено с использованием аналогичного шаблонного подхода. При выборе ветвей деревьев из шаблонов учитываются тип оборудования, фазовое состояние вещества — только горючий газ, наличие жидкой фазы

на уровне выброса, наличие избыточного давления в емкости, способности ОВ к горению, значения давления насыщенного пара вещества, зависимости вероятности реализации ветвей дерева от аварийного расхода. При этом и аварийные события, и деревья событий могут быть заданы пользователем вручную. Шаблоны доступны для аварийных событий и деревьев по методике МЧС России [13] и Ростехнадзора [5–11].

Особенности проведения расчетов

Наибольшие изменения были внесены в порядок расчета опасных сценариев аварии с выбросом ОВ.

1. Доступные модели аварийного истечения существенно расширены с учетом новых типов оборудования: трубопровод, скважина. Помимо моделей истечения из отдельно стоящего емкостного оборудования [2] и [13] и модели истечения из однониточного магистрального газопровода [10], добавлены расчет аварийного истечения из технологического газопровода по [8], аналитическая модель истечения жидкости из технологического и магистрального трубопроводов и численная модель истечения TOXI+Гидроудар [5, 6, 12]. Последняя модель будет доступна для пользователей модуля «Гидроудар», расчеты по ней будут полностью интегрированы в платформу, что исключает необходимость использования нескольких программ и передачи данных между ними.

Для моделирования нестационарных процессов в трубопроводных системах численными методами

ТОХИ+Гидроудар [5, 6, 12] будет предусмотрен отдельный объект плана.

II. Существенно расширен список событий, генерирующих опасные факторы (опасные исходы), по сравнению с перечнем событий, который предлагал пакетный расчет в ПК ТОХИ+Risk 5. Так, в модуле «Риск» могут быть выполнены расчеты по следующим типам таких исходов.

1. Рассеивание без воспламенения [2].
2. Огненный шар [13].
3. Взрывное расширение паров кипящих жидкостей (BLEVE) [13].
4. Пожар пролива [13].
5. Горизонтальный факел [13].
6. Вертикальный факел [13].
7. Взрыв ТВС по [2–4] и [13].
8. Пожар-вспышка по [2, 3] и по [13].
9. Разлет осколков [10].
10. Физический взрыв оборудования под давлением [10].
11. Пожар колонного типа (для газопроводов) [10].
12. Струевое горение газа (для газопроводов) [10].
13. Воздействие высокоскоростной струи газа (для газопроводов) [10].

III. Существенно расширен список опасных факторов различных исходов, по которым расчет проводится в автоматизированном режиме. Рассматриваемые в модуле «Риск» типы воздействий и опасные факторы представлены в таблице.

Тип воздействия	Опасный фактор
Поражение волной давления при взрыве	Избыточное давление, кПа [1, 13] Импульс фазы сжатия, Па·с [1] Пробит-функция вероятности повреждений стен промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу [1], полное разрушение зданий [13] Пробит-функция вероятности повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление без сноса [1], тяжелые разрушения зданий и поражения человека в зданиях [13] Пробит-функция вероятности разрыва барабанных перепонок [13] Пробит-функция вероятности отброса человека волной давления [1] Пробит-функция вероятности воздействия на человека вне здания [13], вероятности длительной потери управляемости у людей (нокдаун) [1]
Поражение высокотемпературными продуктами горения	Область распространения высокотемпературных продуктов горения
Криогенное воздействие	Область криогенного воздействия
Тепловое излучение от пожара	Интенсивность теплового излучения, кВт/м ² [1, 10, 13] Доза теплового излучения от пожара, кДж/м ² [1, 10] Пробит-функция смертельного поражения человека тепловым излучением [1, 10, 13]
Кинетическое поражение	Вероятность попадания осколка [1]
Токсическое поражение	Концентрация ОВ в атмосфере, кг/м ³ Токсодоза, кг/(м ³ ·с) [2] Пробит-функция для смертельного поражения человека [1, 2]

IV. Расчеты зон поражения построены таким образом, что заранее (до расчета) необходимо выбрать только типы опасных факторов и их минимальные значения. Значения же самих опасных факторов, на основании которых в отчетных материалах выво-

дятся зоны поражения, после расчета зон поражения могут быть откорректированы и дополнены (при условии, что значение добавляемого опасного фактора не будет меньше минимального).

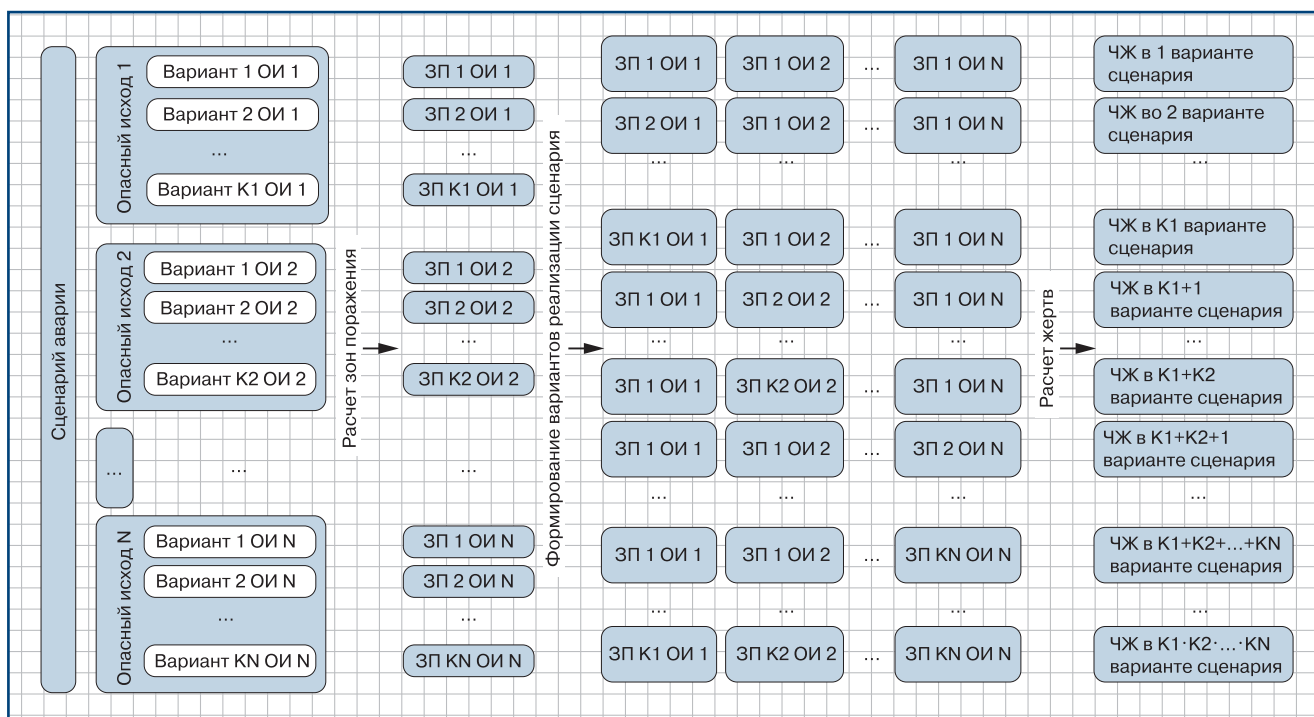
V. Деревья событий и оценка последствий аварий модуля «Риск» теперь позволяют учитывать различные опасные факторы, которые происходят в рамках одного сценария аварии. Характерным примером таких сценариев является разгерметизация газопровода высокого давления [13]: в результате разгерметизации на полное сечение возникает воздушная ударная волна, образующаяся при выбросе сжатого газа, разлетаются осколки оболочки трубопровода, загораются струи газа, бьющие из разрушенных участков трубопровода. Соответственно возникает четыре типа опасного воздействия: ударно-волновое, кинетическое, воздействие высокотемпературными продуктами горения и тепловым излучением. В модуле «Риск» сигналом для рассмотрения нескольких опасных исходов как совместных служит их расположение на одной ветви дерева событий. Это является важной информацией при оценке числа пострадавших и расчете показателей риска.

VI. Некоторые опасные исходы сценария могут также иметь несколько вариантов реализации. Характерным примером такого сценария является горизонтальный факел при разгерметизации емкости под давлением. Методика [13] выделяет 12 возможных направлений распространения такого факела, из которых фактически реализуется только один. Другим

характерным примером является сценарий «Взрыв ТВС» — взрывопожароопасное облако при дрейфе может воспламениться в различных местах и моментах времени. При этом, если в сценарии аварии реализуется несколько опасных исходов, а сами эти

исходы имеют несколько вариантов их реализации, то рассматривается комбинация вариантов этих исходов без учета последовательности их возникновения (рис. 5, здесь ОИ — опасный исход; ЗП — зона поражения; ЧЖ — число жертв). Каждый вариант исхода характеризуется своей условной вероятностью. Таким образом, каждый сценарий может характеризоваться вариантами его реализации, в результате которых может пострадать различное число людей. Иначе говоря, сценарий характеризуется не единственными значениями погибших и пострадавших, а их вероятностным распределением. Число погибших и пострадавших для сценария консервативно может быть оценено как максимальное количество погибших и пострадавших среди вариантов сценария. Дополнительно модуль «Риск» позволяет оценивать число погибших и пострадавших от каждой зоны поражения варианта сценария аварии, что позволяет с высокой степенью детализации исследовать негативные последствия.

для вывода территориально распределенных показателей риска (полей риска), просмотр подробностей расчета сценариев аварии, отчеты в формате docx, xlsx, pdf, приближенные к формату отчетов количественной оценки риска и деклараций промышленной безопасности — отчет о метеорологической статистике, загруженной в программу и используемой в расчетах, отчет с перечнем заданного опасного оборудования, отчет с перечнем сценариев расчета, их описанием и частотой, отчет о количестве ОВ, участвующих в аварии, отчет о размерах зон поражений, отчет о числе погибших и пострадавших в результате реализации сценария аварии, вариантов сценария аварии и детальный отчет о числе погибших и пострадавших по заданным группам и подгруппам людей, отчет о значениях коллективного, индивидуального риска для групп и подгрупп людей, $F-N$ -диаграмма по категориям (персонал, третьи лица и т.д.), $F-P$ -диаграммы для зданий и сооружений,



▲ Рис. 5. Порядок учета нескольких опасных исходов и вариантов их реализации в сценарии аварии
 ▲ Fig. 5. Procedure for considering several hazardous outcomes and options for their implementation in an accident scenario

VII. С учетом того, что объектам плана (зданиям, сооружениям, технологическому оборудованию) могут быть присвоены критерии поражения различной тяжести, планируется внедрить анализ степени их повреждения, что является необходимым элементом для автоматизации расчета взрывоустойчивости зданий (сооружений) и возможности эскалации аварий.

Визуализация результатов расчетов

Система вывода результатов расчета включает следующие элементы: интерфейс для вывода изолированных зон опасных факторов, в том числе с учетом вариантов реализации сценариев аварии, интерфейс

опасного оборудования, генератор ситуационных планов с зонами поражения и полями риска.

Новый генератор отчетов не зависит от наличия MS Office на компьютере.

Для удобства чтения структурированных данных отчетов предложен способ генерации уникального кода для каждого сценария аварии: «С <Название оборудования> <Тип оборудования> <Тип аварийного события П (Полное разрушение)/Ч (частичное разрушение) <диаметр отверстия разгерметизации>> <Перечень опасных исходов сценария аварии> <Метеоданные>».

Перспективы дальнейшего развития

Развитие платформы ТОХИ+6 предполагается в направлении расширения перечня ее модулей и их возможностей. Перечень разрабатываемых модулей представлен во 2-м разделе статьи. На первых этапах совершенствования платформы ТОХИ+6 предлагается повторить их функционал.

В бета-версии платформы ТОХИ+6 будет доступен модуль «Риск» с возможностью расчета зон поражения, указанных в разделе 3.2Б для емкостного оборудования, содержащего ОВ в газообразном и жидком виде, и технологических трубопроводов. Также будет доступен расчет погибших и пострадавших с учетом вариантов сценариев аварии, показателей риска гибели людей с учетом вариативности их присутствия в окрестности ОПО.

В дальнейшем планируется расширить список рассчитываемых типов трубопроводов, добавить другие типы источников опасности — факельные системы, скважины, компрессоры (насосы), сепараторы, технологические аппараты, химические реакторы, теплообменники, запорную арматуру и другие, а также технологические блоки как систему взаимосвязанного оборудования с возможностью расчетов аварийного истечения с учетом потоков ОВ из цепочки оборудования к месту аварии, многониточных газопроводов.

Возможность рассмотрения вариантов сценариев аварии позволит, например, реализовать рекомендации из [3] по оценке последствий взрывов ТВС с учетом переменной загроможденности окружающего пространства.

Параметры зон поражений организованы в универсальной форме, что позволяет определять их в трехмерном пространстве и выполнять оценку их размеров на различной высоте. Это открывает возможности для оценки распределения риска в многоэтажных модульных ОПО, к которым, в частности, относятся СПГ-заводы, а также оценки риска гибели воздушных судов в полете в результате аварий на ОПО и внедрения трехмерных CFD-кодов (например, кода для расчета распространения взрывных волн ТОХИ+CFD [21, 22]).

Еще одной перспективной задачей является моделирование разливов жидких сред по рельефу, которую предлагается решать в рамках отдельного модуля и в непосредственной связи с модулями «Риск» и «Гидроудар». Платформа ТОХИ+6 позволит помимо двухмерного плана местности загрузить его рельеф и выполнить расчеты разливов с учетом аварийных сценариев, вычисленных в модуле «Риск» или Гидроудар.

Конечно, данный перечень перспективных направлений не является исчерпывающим. Авторы надеются на обратную связь от пользователей в части предложений и критических замечаний. На базе платформы ТОХИ+6 прежде всего планируется ре-

ализация существующих подходов, изложенных в методических и нормативных документах и научных публикациях. При этом определенный круг практических задач не имеет четко сформулированных универсальных методических решений, например, моделирование выбросов и распространения многофазных смесей произвольного состава, их рассеивания и горения. Для разработки таких методик необходимы дальнейшие исследования.

О лицензировании

Кардинальное изменение архитектуры и механизмов взаимодействия с программным обеспечением закономерно влечет за собой изменение и механизма лицензирования и ценообразования.

Базовая поставка ПК ТОХИ+6 Risk будет распространяться по годовой подписке, в нее включены сервер БД и расчетное ядро с ограничением производительности до 10 одновременно используемых при расчете потоков и возможностью работы с продуктом одного оператора. Базовая поставка может быть расширена для увеличения числа одновременно работающих пользователей. В том случае, если для расчетов выделяется отдельный сервер, а его мощность позволяет использовать большее число расчетных потоков, доступны варианты поставок с ограничениями расчетного ядра до 30 либо до 60 потоков, а также версия без ограничения потоков.

В случае, когда пользователям требуетсякратно ускорить процессы расчетов, будет доступна возможность дополнительно докупить лицензии на ПК, аналогичные уже имеющимся с соответствующими ограничениями по потокам.

Подробная таблица цен будет представлена на официальном сайте продукта toxi.ru после релиза коммерческой версии продукта.

Приглашаем принять участие в бета-тестировании

Действующие лицензиаты текущих коммерческих версий продуктов ТОХИ+Risk 5, начиная с 6 ноября 2023 г., могут принять участие в бета-тестировании новой платформы ТОХИ+6. Для участия необходимо отправить заявку в свободной форме на электронную почту soft@safety.ru.

Заключение

В статье представлены основные нововведения программной платформы ТОХИ+6 для расчета последствий аварий с участием опасных веществ, количественной оценки риска в области промышленной, пожарной и экологической безопасности и основные отличия от ПК ТОХИ+Risk 5. Приведены планы по перспективному развитию платформы, по проведению ее бета-тестирования среди пользователей ПК ТОХИ+Risk 5 и лицензированию.

Новые возможности платформы ТОХИ+6 позволяют обеспечить максимально полную автоматизацию стадий проведения расчетов последствий аварий и количественной оценки риска; учесть новые положения методических и нормативных

документов Ростехнадзора, МЧС России и др.; обеспечить поддержку многопоточной работы для производительных вычислений, кроссплатформенность (совместимость с отечественными операционными системами на базе Linux), совместную работу над проектами, подключение модулей с необходимым функционалом, что позволит снизить трудоемкость выполнения расчетов, уменьшить машинное время расчетов и консервативность получаемых оценок.

Список литературы

1. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 3 нояб. 2022 г. № 387. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/311/elyz1igobu3rgrw18pyu23sx7npobaer/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-03.11.2022-N-387.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
2. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ»: приказ Ростехнадзора от 2 нояб. 2022 г. № 385. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-02112022-n-385-ob-utverzhenii-rukovodstva/> (дата обращения: 30.10.2023).
3. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 412. URL: <https://nalogcodex.ru/zakonodatelstvo/prikaz-rostekhnadzora-ot-28.11.2022-n-412> (дата обращения: 30.10.2023).
4. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 413. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-28.11.2022-N-413/?ysclid=lp8b3whfcx124576445> (дата обращения: 30.10.2023).
5. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов»: приказ Ростехнадзора от 29 дек. 2022 г. № 478. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-29.12.2022-N-478/?ysclid=lp8awzhkh9836886608> (дата обращения: 30.10.2023).
6. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазодобычи»: приказ Ростехнадзора от 10 янв. 2023 г. № 4. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-10.01.2023-N-4/?ysclid=lp8avabqqr154708775> (дата обращения: 30.10.2023).
7. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 414. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-414%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf?ysclid=lp8asasprx367691882> (дата обращения: 30.10.2023).
8. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 410. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-410%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf?ysclid=lp8ai3rprt74579661> (дата обращения: 30.10.2023).
9. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей»: приказ Ростехнадзора от 28 нояб. 2022 г. № 411. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-411%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf?ysclid=lp8afx4171193613558> (дата обращения: 30.10.2023).
10. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа»: приказ Ростехнадзора от 22 дек. 2022 г. № 454. URL: <http://sro-ural.ru/doc/site/library/doc/1113.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
11. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах морского нефтегазового комплекса»: приказ Ростехнадзора от 10 февр. 2023 г. № 51. URL: <https://lawnotes.ru/npa/prikaz-rostekhnadzora-ot-10.02.2023-n-51> (дата обращения: 30.10.2023).
12. *Об утверждении* Руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах»: приказ Ростехнадзора от 17 февр. 2023 г. № 69. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-17022023-n-69-ob-utverzhenii-rukovodstva/?ysclid=lp84yf5ah2160824556> (дата обращения: 30.10.2023).
13. *Об утверждении* методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/667> (дата обращения: 30.10.2023).
14. *Методические рекомендации*. Порядок построения и оформления специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства: решение Нормативно-технического совета Минрегиона России, протокол от 1 февр. 2011 г. № 1. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200086233> (дата обращения: 30.10.2023).
15. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов*: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. 23-е изд., испр. и доп. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2022. 52 с.
16. *Об утверждении* Порядка оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечня включаемых в нее сведений: приказ Ростехнадзора от 16 окт. 2020 г. № 414. URL: <https://base.garant.ru/75073030/> (дата обращения: 30.10.2023).
17. *Технический регламент о требованиях пожарной безопасности* (с изм. на 14.07.2022): федер. закон от 22 июля

2008 г. № 123-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 30.10.2023).

18. *Цифровая трансформация в сфере промышленной безопасности, линейка российских программных продуктов ТОХИ+*/ А.С. Софьин, С.А. Буйновский, А.Л. Марухленко, В.К. Шалаев// *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 9. С. 36–42. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-36-42

19. *Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 14 нояб. 2022 г. № 1140*. URL: https://11.mchs.gov.ru/uploads/resource/2023-04-20/12-dopolnitelnaya-informaciya_1681972722435401672.pdf (дата обращения: 30.10.2023).

20. *Софьин А.С., Сумской С.И.* Расчет показателей риска поражения людей с учетом вариативности их присутствия в областях воздействия аварийных процессов на опасных производственных объектах// *Безопасность труда в промышленности*. 2022. № 6. С. 81–89. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-81-89

21. *Шаргатов В.А., Сумской С.И., Софьин А.С.* Верификация модели распространения волн избыточного давления программного комплекса ТОХИ+CFD// *Безопасность труда в промышленности*. 2018. № 5. С. 44–52. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-5-44-52

22. *Modeling of shock wave propagation over the obstacles using supercomputers*/ V.A. Shargatov, S.V. Gorkunov, S.I. Sumskoi et al.// *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1099. DOI: 10.1088/1742-6596/1099/1/012014

References

1. On Approval of the Safety Guide «Methodological Basis for Hazard Analysis and Accident Risk Assessment at Hazardous Production Facilities»: Order of Rostekhnadzor dated November 3, 2022 № 387. Available at: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/311/elyzligobu3rgrw18pyo23sx7npobaep/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-03.11.2022-N-387.pdf> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

2. On Approval of the Safety Guide «Methodology for Modeling the Spread of Emergency Releases of Hazardous Substances»: Order of Rostekhnadzor dated November 2, 2022 № 385. Available at: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-02112022-n-385-ob-utverzhdanii-rukovodstva/> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

3. On Approval of the Safety Guide «Methodology for Assessing the Consequences of Emergency Explosions of Fuel-air Mixtures»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 412. Available at: <https://nalogcodex.ru/zakonodatelstvo/prikaz-rostekhnadzora-ot-28.11.2022-n-412> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

4. On Approval of the Safety Guide «Methods for Justifying the Explosion Resistance of Buildings and Structures during Explosions of Fuel-air Mixtures at Hazardous Production Facilities»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 413. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-28.11.2022-N-413/?ysclid=lp8b3whfcx124576445> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

5. On Approval of the Safety Manual «Methodological Recommendations for Conducting a Quantitative Analysis of the

Risk of Accidents at Hazardous Production Facilities of Trunk Oil Pipelines and Oil Product Pipelines»: Order of Rostekhnadzor dated December 29, 2022 № 478. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-29.12.2022-N-478/?ysclid=lp8awzxhk9836886608> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

6. On Approval of the Safety Guide «Methodology for Analyzing the Risk of Accidents at Hazardous Oil and Gas Production Facilities»: Order of Rostekhnadzor dated January 10, 2023 № 4. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-10.01.2023-N-4/?ysclid=lp8avabqqr154708775> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

7. On Approval of the Safety Manual «Methodology for Assessing the Risk of Accidents at Hazardous Production Facilities of the Oil and Gas Processing, Oil and Gas Chemical Industry»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 414. Available at: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-414%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf?ysclid=lp8asasprx367691882> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

8. On Approval of the Safety Manual «Methodology for Assessing the Risk of Accidents on Technological Pipelines Associated with the Movement of Explosive and Flammable Gases»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 410. Available at: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-410%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf?ysclid=lp8ai3rprt74579661> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

9. On Approval of the Safety Manual «Methodology for Assessing the Risk of Accidents on the Technological Pipelines Associated with the Movement of Explosive and Flammable Liquids»: Order of Rostekhnadzor dated November 28, 2022 № 411. Available at: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/acts/%D0%9F%D1%80-411%20%D0%BE%D1%82%2028.11.2022.pdf?ysclid=lp8afx4171193613558> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

10. On Approval of the Safety Manual «Methodology for Assessing the Risk of Accidents at Hazardous Production Facilities of the Main Pipeline Transport of Gas»: Order of Rostekhnadzor dated Dec 22, 2022 № 454. Available at: <http://sro-ural.ru/doc/site/library/doc/1113.pdf> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

11. On Approval of the Safety Manual «Methodology for Analyzing the Risk of Accidents at Hazardous Production Facilities of the Offshore Oil and Gas Complex»: Order of Rostekhnadzor dated February 10, 2023 № 51. Available at: <https://lawnotes.ru/npa/prikaz-rostekhnadzora-ot-10.02.2023-n-51> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

12. On Approval of the Safety Manual «Methodological Recommendations for Conducting a Quantitative Analysis of the Risk of Accidents on Condensate Pipelines and Product Pipelines»: Order of Rostekhnadzor dated February 17, 2023 № 69. Available at: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-17022023-n-69-ob-utverzhdanii-rukovodstva/?ysclid=lp84yf5ah2160824556> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

13. On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk at Production Facilities: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 10,

2009 № 404. Available at: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/667> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

14. Methodological Recommendations. The Order of Construction and Registration of Special Technical Conditions for the Development of Project Documentation for the Capital Construction Object: Decision of the Regulatory and Technical Council of the Ministry of Regional Development of Russia, Protocol of February 1, 2011 № 1. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200086233> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

15. On industrial safety of hazardous production facilities: Federal Law of July 21, 1997 № 116-FZ. 23-e izd., ispr. i dop. Moscow: ZAO NTTs PB, 2022. 52 p. (In Russ.).

16. On Approval of the Procedure for Registration of the Declaration of Industrial Safety of Hazardous Production Facilities and the List of Information Included in it: Order of Ros-technadzor dated October 16, 2020 № 414. Available at: <https://base.garant.ru/75073030/> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

17. Technical Regulations on Fire Safety Requirements (as amended on 07/14/2022): Federal Law of July 22, 2008 № 123-FZ. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

18. Sofin A.S., Buynovskiy S.A., Marukhlenko A.L., Shalaev V.K. The Digital Transformation of Industrial Safety, the Line of Russian Software Products TOXI+. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2020. № 9. pp. 36–42. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-36-42

19. On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk in the Buildings, Structures and Fire Compartments of Various Classes of Functional Fire Hazard: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated November 14, 2022 № 1140. Available at: https://11.mchs.gov.ru/uploads/resource/2023-04-20/12-dopolnitelnaya-informaciya_1681972722435401672.pdf (accessed: October 30, 2023). (In Russ.).

20. Sofyin A.S., Sumskey S.I. Calculation of the Indicators of the Risk of People Damage Considering the Variability of Their Presence in the Areas of Emergency Processes Impact at Hazardous Production Facilities. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2022. № 6. pp. 81–89. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-81-89

21. Shargatov V.A., Sumskey S.I., Sofyin A.S. Verification of the model of overpressure waves propagation in the TOXI+ CFD software. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 6. pp. 44–52. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-5-44-52

22. Shargatov V.A., Gorkunov S.V., Sumskey S.I., Bogdanova Y.A., Karabulin A.V., Pecherkin A.S., Sofin A.S., Agapov A.A. Modeling of shock wave propagation over the obstacles using supercomputers. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1099. DOI: 10.1088/1742-6596/1099/1/012014

E-mail: toxi@safety.ru

Материал поступил в редакцию/ Received 07.11.2023

После рецензирования/ Revised 09.11.2023

Принят к публикации/ Accepted 19.11.2023

По страницам научно-технических журналов

ноябрь 2023 г.

Сибирский пожарно-спасательный вестник (научно-аналитический журнал)

Михайлин П.О., Данилов М.М. Анализ влияния интенсивного теплового потока, выделяемого в группе резервуаров в резервуарном парке. 2023. № 2 (29). С. 132–142.

Дана количественная оценка основным показателям, влияющим на каскадное развитие пожаров. Расчетным способом определена зависимость уровня разлива горючей жидкости в резервуаре на выделяемую теплоту от пожара и рассчитаны показатели определяющие сухую стенку резервуара как источника возникновения пожара. Приведен анализ условий, влияющих на принятие опорных действий по тушению пожаров, руководителем тушения пожаров, при управлении силами и средствами подразделений пожарной охраны.

Гавкалюк Б.В., Давиденко А.С. Методика выполнения пожарно-тактической экспертизы пожаров с использованием беспилотных авиационных систем. 2023. № 2 (29). С. 186–192.

Рассмотрены возможности и особенности выполнения пожарно-тактической экспертизы с использованием беспилотных авиационных систем при

расследовании пожаров. Приведен порядок выполнения боевых действий по тушению пожара согласно требованиям современных нормативных правовых актов. Предложено применение беспилотных авиационных систем в рамках производства пожарно-тактических экспертиз.

Шлома В.В. Анализ статистики пожаров и пожарных рисков в Донецкой Народной Республике. 2023. № 2 (29). С. 193–201.

Приведены статистические данные мониторинга пожаров в Донецкой Народной Республике за последние три года. Показана динамика пожаров, количество погибших и травмированных людей за этот период. Выполнен расчет основных пожарных рисков и интегрального социально-экономического показателя пожарного риска городов и районов Донецкой Народной Республики.

Анализ аварийности объектов нефтегазовой отрасли/ Д.В. Иванов, А.С. Перевалов, В.В. Стяжкин, В.Н. Сащенко. 2023. № 2 (29). С. 202–207.

Представлены результаты статистической обработки и анализа аварий на объектах нефтегазовой отрасли со смертельным исходом в результате несчастных случаев и аварий за последнее десятилетие. Отмечено, что при ежегодном снижении числа рассматриваемых значений, наиболее опасными остаются объекты нефтегазопереработки.