

DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-66-73

УДК 004.942

© Коллектив авторов, 2020

Опыт внедрения системы прогнозирования последствий аварий в режиме реального времени ТОХИ+Прогноз на производстве аммиака и карбамида



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



А.А. Агапов,
канд. техн. наук,
директор расчетно-
аналитического центра



С.А. Буйновский,
директор по
информационным
технологиям



П.С. Каныгин,
д-р экон. наук,
директор



А.С. Авдеев,
начальник штаба по делам
гражданской обороны и
чрезвычайным ситуациям

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Россия

ФБУ «НТЦ
Энергобезопасность»,
Москва, Россия

Филиал «ПМУ» АО «ОХК
«УРАЛХИМ», Пермь,
Россия

Рассмотрены предпосылки для появления систем прогнозирования последствий аварий в режиме реального времени, требования нормативных документов о необходимости наличия таких систем на опасных производственных объектах, основные возможности и опыт внедрения системы прогнозирования последствий аварий в режиме реального времени ТОХИ+Прогноз, разработанной ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности».

Ключевые слова: оценка последствий аварий, режим реального времени, рассеяние опасных веществ, взрыв облака топливно-воздушной смеси, серия ТОХИ+, ТОХИ+Прогноз, программные средства, автоматизация действий диспетчера, система безопасности предприятий.

Для цитирования: Софьин А.С., Агапов А.А., Буйновский С.А., Каныгин П.С., Авдеев А.С. Опыт внедрения системы прогнозирования последствий аварий в режиме реального времени ТОХИ+Прогноз на производстве аммиака и карбамида// Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 12. — С. 66–73. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-66-73

Основные опасности выбросов токсических и взрывопожароопасных веществ

Наиболее тяжелыми последствиями сопровождаются аварии с выбросом токсических и взрывопожароопасных веществ (опасных веществ), которые, смешиваясь с воздухом, образуют облака. Такие выбросы способны дрейфовать на значительные расстояния и выходить за пределы опасного производственного объекта (ОПО), оказывая негативное влияние не только на его персонал, но и на население прилегающей территории. История промышленности знает достаточное число примеров подобных чрезвычайных ситуаций с участием хлора [1], аммиака [2], диоксида [3], метилизоцианата [4], топливно-воздушных смесей (ТВС) [5–7], которые сопровождались жертвами, в том числе и среди третьих лиц.

В целях оценки риска аварии и связанных с ней угроз, анализа достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности ор-

ганизации к локализации и ликвидации последствий аварии на объекте, в соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [8], разрабатывается декларация промышленной безопасности (ДПБ) ОПО. Владелец ОПО также предписывается утверждать план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (далее — ПМЛЛА). Указанные документы содержат помимо прочего результаты физико-математического моделирования аварийных процессов, с учетом которых определяются необходимые действия на случай аварии. Тем не менее непосредственное применение этих сведений в то время, когда выброс уже произошел, имеет определенные трудности. Первое, с чем сталкивается диспетчер, — это отсутствие точных сведений о масштабе аварии, неопределенность при выявлении аварийного оборудования. В лучшем случае источниками этой информации являются

сообщения об аварии из цеха и (или) сведения по сработавшим датчикам загазованности. Вторая сложность состоит в том, что процесс рассеяния облаков опасного вещества (ОВ) существенно зависит от множества факторов, в частности от погодных условий (направление и скорость ветра, температура воздуха, стабильность атмосферы и т.д.). Многообразие этих параметров (и, как следствие, вариантов рассеяния облаков ОВ) затрудняет описание сценариев аварии в рамках ПМЛЛА и ДПБ, а также делает практически невозможным определение конфигурации потенциальных зон поражения диспетчером при возникновении чрезвычайной ситуации на основании этих документов. Между тем прогнозирование последствий аварий является одним из основных инструментов для получения наиболее детальной информации о распространении опасных факторов в окружающей среде и принятия оперативных решений в случае аварии. Для выполнения этой процедуры перспективным является применение специализированного программного обеспечения.

Требования нормативных документов к прогнозированию последствий аварий с участием опасных веществ

Нормативными документами по промышленной безопасности установлены требования о необходимости оснащения ОПО автоматизированными системами поддержки действий в случае аварии и прогнозирования распространения облаков ОВ.

В п. 1 ст. 10 закона [8] говорится: «В целях обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, обязана: ... создавать системы ... поддержки действий в случае аварии и поддерживать указанные системы в пригодном к использованию состоянии». Для реализации данной статьи закона в федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности установлен ряд требований.

Так, в п. 6.8.2 [9] отмечено: «В технологических блоках всех категорий взрывоопасности должны быть предусмотрены технические средства, обеспечивающие в автоматическом режиме оповещение об обнаружении, локализации и ликвидации выбросов опасных веществ. Информация, включая данные прогнозирования о путях возможного распространения взрывоопасного (или вредного химического) облака, должна передаваться в газоспасательную службу промышленного объекта и диспетчеру организации, а также в вышестоящую систему управления».

В п. 134 [10] закреплено: «... Организации, имеющие склады хлора в танках и/или контейнерах-цистернах, должны быть оснащены метеостанцией и системой прогнозирования распространения хлора в атмосфере».

В п. 25 [11] установлено: «Для ХОПО I, II и III класса опасности с учетом химико-технологических особенностей организация разрабатывает и

утверждает план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (далее — планы мероприятий), в котором предусматривает действия персонала по предупреждению аварий, а в случае их возникновения — по локализации и максимальному снижению тяжести последствий, а также технические системы и средства, используемые при этом».

В п. 100 [12] определено: «Система должна быть оснащена автоматическими средствами, позволяющими контролировать уровень загазованности на промышленной площадке (I уровень наружного контура контроля) и прогнозировать распространение зоны химического заражения за территорию объекта. Такое оснащение должно быть обосновано оценкой возможных последствий аварии, подтвержденной соответствующими расчетами. На площадке должно быть установлено устройство, измеряющее направление и скорость ветра, данные которого используются при расчетах возможных масштабов загазованности».

Правила [13] (п. 8.12.9) гласят: «Система оснащается автоматическими средствами, позволяющими контролировать уровень загазованности на промышленной площадке (первый уровень наружного контура контроля) и прогнозировать распространение зоны химического заражения за территорию объекта».

Необходимость разработки и внедрения программного обеспечения для прогнозирования, оперативной оценки ситуации в области обеспечения химической безопасности в целях повышения обоснованности принятия управленческих решений также подчеркивается в Указе Президента Российской Федерации от 11 марта 2019 г. № 97 «Об основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».

С учетом требований перечисленных нормативных документов системы прогнозирования последствий аварий и поддержки принятия решений являются обязательными к применению на ОПО, которые оперируют с взрывоопасными и химически опасными веществами, способными образовывать газопаровоздушные смеси.

Около 10 лет назад ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ) представило первый программный продукт в этой области — программно-аппаратный комплекс ТОХИ+Meteo [14]. Опыт внедрения данной программы на различных объектах позволил выявить основные проблемы и потребности диспетчерских служб ОПО и разработать новую систему прогнозирования последствий аварий в режиме реального времени — программный комплекс (ПК) ТОХИ+Прогноз [15].

Основные возможности программного комплекса ТОХИ+Прогноз

Программный комплекс ТОХИ+Прогноз предназначен для моделирования ситуаций аварийных

выбросов и оценки последствий аварий с учетом метеоданных, поступающих с метеостанции, сигналов от датчиков опасных факторов (газосигнализаторов, газоанализаторов и др.), информации о состоянии оборудования. Моделирование аварийных ситуаций может выполняться вручную диспетчером либо автоматически по сигналу от системы обнаружения утечки ОВ с опциональным подтверждением действия.

В результате вычислений ПК ТОХІ+Прогноз позволяет получить размеры зон действия опасных факторов, рассчитанные по различным критериям поражения (по пороговой и смертельной токсодозам, по вероятности смертельного токсического поражения, по вероятности смертельного поражения в результате горения или взрыва облака ТВС) на заданное время после аварии, а также перечень мест пребывания людей и количество людей, которые потенциально могут подвергнуться негативному воздействию.

Исходные данные для прогнозирования последствий аварий предварительно задаются в систему с помощью графического интерфейса и включают: ситуационный план ОПО с прилегающими территориями, сведения об оборудовании с ОВ (наименование, количество и физико-химические параметры ОВ, его фазовый состав, давление и температура в емкости, наличие и характеристики обвалования, его площадь) и его местоположении на плане местности, степени загроможденности пространства, времени от начала аварии, на которое выполняется прогноз последствий аварии. Число потенциальных жертв аварий оценивается с учетом данных о местах расположения людей, которые задаются на плане местности в виде многоугольника с указанием числа людей, присутствующих в этой области, и времени их пребывания в ней.

Необходимо учитывать изменение ряда исходных данных в процессе функционирования ОПО, например, обязателен прием метеоусловий от метеостанции (температура воздуха, скорость и направление ветра). Опционально может быть предусмотрено изменение параметров (давление, температура, уровень жидкой фазы в оборудовании) внутри оборудования, содержащего ОВ, по данным с автоматической системы управления технологическим процессом, а также загрузка информации о численности присутствующих на ОПО людей из системы контроля доступа.

Программный комплекс ТОХІ+Прогноз содержит в себе физико-математические модели аварийных процессов, представленные в федеральных нормах и правилах промышленной безопасности и руководствах по безопасности Ростехнадзора [16–19], которые позволяют рассчитывать параметры поступления ОВ в окружающую среду при полном или частичном разрушении емкостного оборудования, распространения облаков ОВ, зон воздействия токсичных веществ, а также высокотемпературных

продуктов и волн давления при горении или взрыве ТВС.

Реализованная в ПК ТОХІ+Прогноз модель рассеяния ОВ [17] позволяет получать трехмерные поля концентраций на заданные моменты времени и использовать для построения зон поражения различные критерии. Модель взрыва [16] позволяет учитывать характер взрывного превращения ТВС (дефлаграция с различной скоростью пламени и детонация), который существенно влияет на размеры зон ударно-волнового воздействия и зависит от характеристик горючего и загроможденности окружающего пространства.

Большинство пожаровзрывоопасных веществ, обращающихся на ОПО, не обладают сильным токсическим действием, а основную опасность представляет горение или взрыв смесей этих веществ с воздухом при попадании в облако источника зажигания. Обычно невозможно заранее предсказать местоположение очага возгорания. Другая сложность построения зон поражения заключается в том, что воспламенение облака ТВС порождает несколько опасных факторов: термическое поражение продуктами горения, воздействие волн избыточного давления. Исходя из этого, в ПК ТОХІ+Прогноз внедрен специальный алгоритм для расчета зон поражения при возникновении подобных явлений. Он подразумевает определение зоны смертельного поражения человека продуктами горения облака ТВС по полю максимальных концентраций (по критерию половины нижнего концентрационного предела распространения пламени — НКПР/2), достигаемых за время рассмотрения аварии, зависимости массы горючего, находящегося во взрывоопасных пределах, а также координаты центра массы облака ТВС по времени с помощью методики [17]. Далее с заданным временным интервалом рассчитываются зоны поражения от взрыва ТВС с учетом указанных данных по методике [16]. В процессе расчета определяются поля вероятностного смертельного поражения человека в результате воздействия волны давления, которое существенно зависит от того, находился ли человек в здании (вероятность гибели от взрыва облака ТВС выше) или на открытой местности (вероятность гибели ниже). Для устранения имеющихся неопределенностей расчеты проводятся консервативно с использованием пробит-функции для повреждения промышленных зданий, что предполагает возможность их восстановления без сноса [19]. Отметим, что этот же критерий используется и в методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [20] для оценки числа погибших людей в здании. Полученные зоны поражения от взрыва ТВС сочетаются с зоной поражения по критерию НКПР/2, в результате чего получается единая зона возможной гибели человека от всех факторов взрыва за все время аварии.

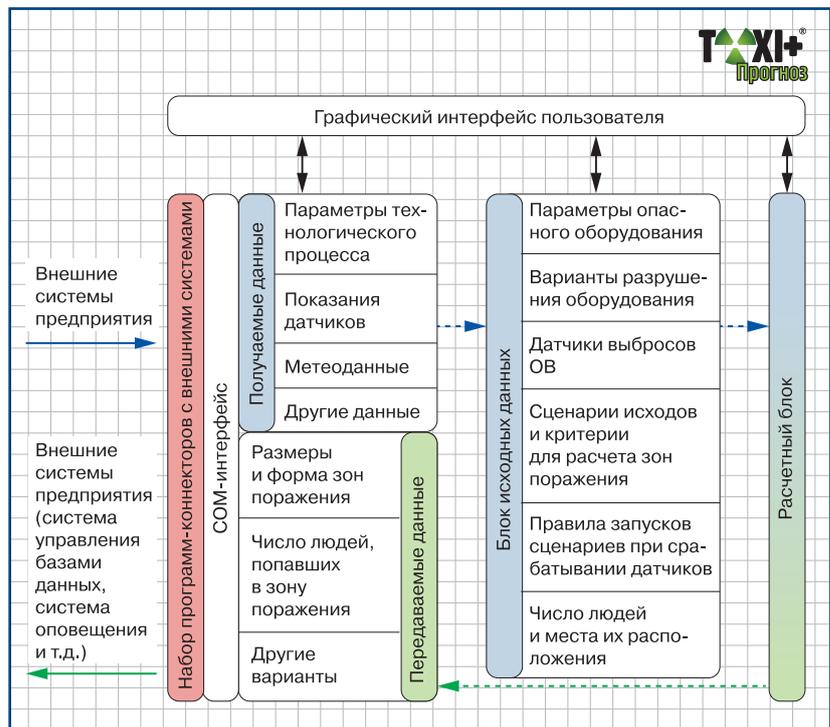
Интеграция с имеющимися техническими средствами и эксплуатация программы

Работа с ПК ТОХИ+Прогноз осуществляется в двух режимах. В режиме администратора выполняются предварительная настройка подключений к внешним источникам данных, ввод и сохранение исходных данных, работа со справочниками.

Программный комплекс ТОХИ+Прогноз позволяет работать с любыми внешними источниками данных, взаимодействие с которыми может быть достигнуто на уровне программного обеспечения: метеостанциями, базами данных, устройствами и системами, работающими по промышленным протоколам (например, по протоколу OPC), и т.д. Логика подключения и взаимодействия с конечным источником данных реализуется с помощью специальных программ-коннекторов, которые в свою очередь взаимодействуют с ПК ТОХИ+Прогноз с помощью открытого интерфейса СОМ. Непосредственно сам ПК в этой системе является сервером, обеспечивающим обработку поступающих от программ-коннекторов сигналов и передачу в них результатов расчета, и не способен влиять на критичные для производственного процесса и безопасности системы предприятия. Дистрибутив ПК ТОХИ+Прогноз включает ряд таких программ для подключения к нескольким популярным типам метеостанций и баз данных, поддерживающих технологию ODBC. Для взаимодействия ПК ТОХИ+Прогноз с иными источниками данных требуется разработка соответствующего коннектора, что может быть сделано в том числе специалистами заказчика с использованием спецификации открытого интерфейса.

Отметим, что СОМ-интерфейс ПК ТОХИ+Прогноз позволяет получать и учитывать следующие данные: метеосостояния, показания датчиков загазованности (значение концентрации либо сигналы о превышении порогов концентрации), сигналы об аварийной ситуации, характеристики опасного оборудования (давление, температура, количество ОВ в емкости), сведения о числе людей на объекте. Важной частью является также возможность отправки информации о результатах расчетов либо произвольного сигнала, в том числе о запуске сценария оповещения с учетом прогнозируемых последствий, например, в диспетчерскую службу города. Общая схема работы программы представлена на рис. 1.

Основные исходные данные, необходимые для работы программы: план местности в векторном или растровом формате; расположение и характеристики опасного оборудования (тип и количество



▲ Рис. 1. Общая схема работы ПК ТОХИ+Прогноз

▲ Fig. 1. General scheme of TOXI+Prognosis software operation

ОВ, условия хранения); перечень опасных сценариев аварии для каждой единицы оборудования (полное или частичное разрушение); время прогнозирования, местоположение и параметры датчиков загазованности; условия запуска прогнозирования вероятных сценариев аварии, которые связывают значения концентраций или фиксируемый на одном или нескольких датчиках порог срабатывания с конкретным сценарием аварии. Для помощи в задании исходных данных реализован ряд редактируемых справочников: справочник ОВ, справочник типовых единиц оборудования и т.д.

Эксплуатация программы проводится в режиме диспетчера. В этом режиме ПК ТОХИ+Прогноз автоматически анализирует данные о состоянии датчиков загазованности и выполнение условий для запуска прогнозирования, а также визуализирует состояние датчиков на плане местности. При выполнении заданных условий срабатывания программа рассчитывает связанные сценарии аварии, отображает зоны поражения на плане местности и информацию о местах расположения людей, потенциально попадающих в зону поражения, и их числе. В целях предотвращения ложных срабатываний ПК ТОХИ+Прогноз опционально может запрашивать у диспетчера подтверждение на проведение расчета, а также на передачу результатов прогнозирования и сигналов об аварии внешним получателям, включая внутриобъектовую систему оповещения.

Расчет одного сценария аварии обычно занимает меньше минуты. При необходимости расчета нескольких вариантов аварии расчеты запускаются в

параллельном режиме для оперативного получения результатов.

Опыт внедрения

В течение 2019–2020 гг. выполнялось внедрение ПК ТОХИ+Прогноз в диспетчерскую службу филиала «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ» (г. Пермь) (далее — ПМУ), занимающегося производством аммиака и карбамида. Процесс внедрения проходил в несколько этапов. На первом этапе с участием соответствующих служб ПМУ собрана информация об опасном оборудовании, в котором обращается аммиак, и расположении датчиков загазованности на ПМУ. Выявлены наиболее опасные сценарии аварии и оценены максимальные размеры зон поражения, с учетом которых определен круг реципиентов риска и мест их пребывания, а также сформирован ситуационный план ПМУ с прилегающими территориями. Получена информация о числе и времени пребывания людей на объектах ПМУ,

потенциально затрагиваемых авариями на нем. Полученные сведения, а также данные об опасном оборудовании и датчиках загазованности загрузились в ПК ТОХИ+Прогноз. На основании сведений, содержащихся в ДПБ, ПМЛЛА на объектах, с учетом рекомендаций руководств по безопасности Ростехнадзора составлен перечень возможных сценариев аварий, который включал случаи как полного, так и частичного разрушения емкостей. Всего в ПК ТОХИ+Прогноз занесено около 100 единиц датчиков загазованности, около 50 единиц емкостного оборудования различного типа (в том числе трубопроводов) и около 100 возможных сценариев аварий. Для каждого сценария аварии определено условие его запуска с учетом показаний датчиков загазованности. Для запуска сценария частичного разрушения емкости условно принят первый порог срабатывания датчика, а полного разрушения — второй порог. При этом, если датчик (или группа датчиков) находился в непосредственной близости к нескольким единицам оборудования, использовался сценарий аварии на оборудовании с наибольшей массой аммиака, участвующей в аварии. При определении этой массы учитывались притоки из смежного оборудования и технологических блоков. Пример расчета одного из сценариев аварии представлен на рис. 2.

Параллельно работам первого этапа выполнена разработка программ-коннекторов для подключения к метеостанции ОПО, считывания данных с датчиков загазованности с использованием протокола OPC, а также загрузки данных о численности сотрудников в цехах ОПО из системы контроля доступа. На третьем этапе проведены пусконаладка ПК ТОХИ+Прогноз



▲ Рис. 2. Рабочее окно программы и результаты расчета зон действия различных токсодоз

▲ Fig. 2. Working window of the program and the results of calculation of various toxodoses zones of coverage

и проверка коммутации с внешними системами в диспетчерской службе ОПО, а также обучение сотрудников ОПО работе с программой.

Коллектив авторов выражает благодарность участникам данной работы: руководителю службы ОТ, ПБ и Э филиала «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ» (г. Пермь) Афанасьеву Алексею Венедиктовичу, начальнику управления проектной деятельности и IT-технологий ФБУ «НТЦ Энергобезопасность» Кабирову Тимуру Михайловичу, а также принимавшим непосредственное участие специалистам.

Заключение

Система прогнозирования последствий аварий программного комплекса ТОХИ+Прогноз позволяет обеспечить диспетчерские службы и других заинтересованных лиц полной информацией о возможных последствиях аварии, сформированной с учетом текущих метеоусловий, актуальных данных о технологическом процессе и показаний датчиков загазованности. Наличие такой информации обеспечивает оперативную поддержку при принятии решений о проведении мероприятий, направленных на эвакуацию людей и снижение последствий аварий. Работа с программой в режиме диспетчера позволяет ускорить и автоматизировать действия диспетчера по идентификации аварии и передаче сообщений в противоаварийные службы.

Прогноз, выполненный по актуальным редакциям методик, утвержденным Ростехнадзором, позволяет получить достоверные оценки размеров зон поражения и при этом, в отличие, например, от широко распространенного упрощенного подхода к моделированию рассеяния по методике Штаба

гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций [21], рассматривать динамику процесса рассеяния и изменений концентраций с течением времени в различных точках пространства, более детально учитывать стадии поступления опасного вещества в атмосферу. Программный комплекс ТОХИ+Прогноз имеет сертификат в системе ГОСТ Р на соответствие положениям методик Ростехнадзора [9, 16, 17].

Программный комплекс ТОХИ+Прогноз является российской разработкой и включен в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных Минкомсвязи России.

Использование программного комплекса ТОХИ+Прогноз обеспечивает выполнение требования нормативных документов [8–13] в области промышленной безопасности по применению средств прогнозирования последствий выбросов опасных веществ с учетом текущей метеобстановки.

Список литературы

1. *Collision of Norfolk Southern Freight Train 192 With Standing Norfolk Southern Local Train P22 With Subsequent Hazardous Materials Release at Graniteville, South Carolina, January 6, 2005.* URL: <https://aristatek.com/newsletter/0601January/RAR0504.pdf> (дата обращения: 14.05.2020).
2. *Pasman H. Risk Analysis and Control for Industrial Processes — Gas, Oil and Chemicals.* — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. — 458 p.
3. *The Seveso Accident: Its Nature, Extent and Consequences/ E. Homberger, G. Reggiani, J. Sambeth, H.K. Wipf// The Annals of Occupational Hygiene.* — 1979. — Vol. 22. — Iss. 4. — P. 327–370. DOI: 10.1093/annhyg/22.4.327
4. *De Grazia A. A Cloud over Bhopal: Causes, Consequences and Constructive Solutions.* — Princeton: Metron Publications, 1985. — 145 p.
5. *Burgess D.S., Zabetakis M.G. Detonation of a flammable cloud following a propane pipeline break: Technical Report.* — Pittsburgh: Bureau of Mines, 1973. — 26 p.
6. *Гоник А.А. Уроки экологической катастрофы// Энергия: экономика, техника, экология.* — 1999. — № 6. — С. 19–24.
7. *Названа причина взрыва на Ачинском НПЗ.* URL: <https://rg.ru/2014/06/15/reg-sibfo/prichina-anons.html> (дата обращения: 14.05.2020).
8. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ.* — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 56 с.
9. *Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 09. — Вып. 37. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 130 с.
10. *Правила безопасности производств хлора и хлорсодержащих сред: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 09. — Вып. 39. — 2-е изд., испр. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 118 с.
11. *Правила безопасности химически опасных производственных объектов: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 09. — Вып. 40. — 3-е изд., испр. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 76 с.
12. *Правила безопасности аммиачных холодильных установок и систем: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности.* — Сер. 09. — Вып. 49. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 90 с.
13. *ПБ 09-579—03. Правила безопасности для наземных складов жидкого аммиака.* — Сер. 09. — Вып. 17. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 76 с.
14. *Программно-аппаратный комплекс «ТОКСИ+Метео» для оценки последствий возможных аварий с учетом данных о текущих погодных условиях/ А.А. Агапов, И.О. Хлобыстова, А.Л. Марухленко и др.// Безопасность труда в промышленности.* — 2011. — № 1. — С. 22–25.
15. *Программный комплекс ТОХИ+Прогноз. Программные средства по промышленной безопасности ТОХИ+.* URL: <https://toxi.ru/produkty/programmnyi-kompleks-toxiprognoz> (дата обращения: 27.02.2020).
16. *Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: рук. по безопасности.* — Сер. 27. — Вып. 15. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 44 с.
17. *Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ: рук. по безопасности.* — Сер. 27. — Вып. 11. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 128 с.
18. *Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах: рук. по безопасности.* — Сер. 27. — Вып. 17. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 56 с.
19. *Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах: рук. по безопасности.* — Сер. 27. — Вып. 8. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 56 с.
20. *Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: сб. док. — Сер. 19. — Вып. 2. В 4 ч. Ч. 3. Нормативные документы по пожарной безопасности. Свод правил. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 450 с.*
21. *РД 52.04.253—90. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.* URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007358> (дата обращения: 01.09.2020).

toxi@safety.ru

Материал поступил в редакцию 6 ноября 2020 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2020, № 12, pp. 66–73.
DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-66-73

Experience in Implementing a Real-time Accident Forecast System TOXI+Prognosis for the Production of Ammonia and Carbamide

A.S. Sofyin, Cand. Sci. (Eng.), Department Head,
toxi@safety.ru

A.A. Agapov, Cand. Sci. (Eng.), Director of the Computational Analysis Center

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

P.S. Kanygin, Dr. Sci. (Econ.), Director
 FBU STC Energy Security, Moscow, Russia

A.S. Avdeev, Chief of Staff for Civil Defense and Emergency Situations

PMU Branch (Russia) URALCHEM JSC (Russia), Perm, Russia

Abstract

The article is devoted to the systems for forecasting accidents with the release of toxic and explosion and fire hazardous substances into the atmosphere in real time. The presence of forecasting systems at the production facility allows dispatcher services and other interested parties to provide the required information for making decisions on minimizing the consequences of an accident, formed taking into account current weather conditions, current data on the technological process and gas pollution detectors readings.

The TOXI+Prognosis software developed by CJSC «Scientific and technical center of industrial safety problems research» is considered as an example of such a forecasting system.

The main capabilities of this software, as well as the experience of its implementation in the dispatcher service of a hazardous production facility of URALCHEM, JSC engaged in the production of ammonia and carbamide are presented.

In the process of implementation, a terrain map was entered into TOXI+Prognosis software parameters and location of hazardous equipment, as well as gas pollution detectors, places of presence of people were specified, the list of possible accident scenarios was determined, conditions for automatic start-up of accident scenarios based on the readings of gas pollution detectors were developed, receipt and accounting for these readings, as well as data on weather conditions from the meteorological station of the enterprise were organized.

In the process of operation, TOXI+Prognosis software analyzes the readings of the pollution detectors and checks the conditions for starting the accident forecast. If these conditions are met, then the calculation is carried out: the exposure areas are determined and visualized on the terrain plan taking into account the current weather conditions based on the parameters of the exposed areas, the locations and the number of people (taking into account the current number) entering these zones are identified and sent to the dispatcher. The specified information is stored in the program and can be provided to the interested parties, including in automatic mode. The calculation can also be performed by the command of the dispatcher.

Key words: assessment of accidents consequences, real-time mode, dispersion of hazardous substances, explosion of the fuel-air mixture cloud, TOXI+ series, TOXI+Prognosis, software tools, automation of dispatcher actions, enterprise safety and security system.

References

1. Collision of Norfolk Southern Freight Train 192 With Standing Norfolk Southern Local Train P22 With Subsequent Hazardous Materials Release at Graniteville, South Carolina, January 6, 2005. Available at: <https://aristatek.com/newsletter/0601January/RAR0504.pdf> (accessed: May 14, 2020).
2. Pasman H. Risk Analysis and Control for Industrial Pro-

cesses — Gas, Oil and Chemicals. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. 458 p.

3. Homberger E., Reggiani G., Sambeth J., Wipf H.K. The Seveso Accident: Its Nature, Extent and Consequences. The Annals of Occupational Hygiene. 1979. Vol. 22. Iss. 4. pp. 327–370. DOI: 10.1093/annhyg/22.4.327

4. De Grazia A. A Cloud over Bhopal: Causes, Consequences and Constructive Solutions. Princeton: Metron Publications, 1985. 145 p.

5. Burgess D.S., Zabetakis M.G. Detonation of a flammable cloud following a propane pipeline break: Technical Report. Pittsburgh: Bureau of Mines, 1973. 26 p.

6. Gonik A.A. Lessons from the ecological disaster. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya = Energy: economics, technology, ecology*. 1999. № 6. pp. 19–24. (In Russ.).

7. The cause of the explosion at the Achinsk oil refinery is announced. Available at: <https://rg.ru/2014/06/15/reg-sibfo/prichina-anons.html> (accessed: May 14, 2020). (In Russ.).

8. On industrial safety of hazardous production facilities: Federal Law of July 21, 1997 № 116-FZ. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 56 p. (In Russ.).

9. General rules of explosion safety for explosion- and fire-hazardous chemical, petrochemical and oil refining plants: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 09. Iss. 37. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 130 p. (In Russ.).

10. Safety rules for production of chlorine and chlorine-containing media: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 09. Iss. 39. 2-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 118 p. (In Russ.).

11. Safety rules for chemical hazardous production facilities: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 09. Iss. 40. 3-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 76 p. (In Russ.).

12. Safety rules for ammonia refrigeration units and systems: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 09. Iss. 49. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 90 p. (In Russ.).

13. PB 09-579—03. Safety rules for ground-based liquid ammonia warehouses. Ser. 09. Iss. 17. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 76 p. (In Russ.).

14. Agapov A.A., Khlobystova I.O., Marukhlenko A.L., Marukhlenko S.L., Sofin A.S. Hardware and Software System «TOXI+Meteo» for Estimation of Possible Accidents Consequences Considering Data about Current Meteorologic Conditions. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2011. № 1. pp. 22–25. (In Russ.).

15. TOXI+Prognosis software package. Software for industrial safety TOXI+. Available at: <https://toxi.ru/produkty/programmnyi-kompleks-toxiprognoz> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

16. Methodology for assessing the consequences of emergency explosions of fuel and air mixtures: Safety guide. Ser. 27. Iss. 15. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 44 p. (In Russ.).

17. Methodology for modeling of dispersion of hazardous substances accidental release: Safety guide. Ser. 27. Iss. 11. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 128 p. (In Russ.).

18. Methods for substantiating the explosion resistance of buildings and structures during explosions of fuel-air mixtures at hazardous production facilities: Safety guide. Ser. 27. Iss. 17.

Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 56 p. (In Russ.).

19. Methodological bases for conducting analysis of hazards and risk assessment of accidents at hazardous production facilities: Safety guide. Ser. 27. Iss. 8. Moscow: ZAO NTTs PB, 2016. 56 p. (In Russ.).

20. Declaration of fire safety and fire risk assessment: book of reports. Ser. 19. Iss. 2. In 4 Parts. Pt. 3. Normative documents on fire safety. Sets of rules. 3-e izd., ispr. i dop. Moscow: ZAO NTTs

PB, 2020. 450 p. (In Russ.).

21. RD 52.04.253–90. Methodology for predicting the scale of contamination with potent poisonous substances in case of accidents (destruction) at chemically hazardous facilities and transport. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200007358> (accessed: September 1, 2020). (In Russ.).

Received November 6, 2020

По страницам научно-технических журналов декабрь 2020 г.

Газовая промышленность (научно-технический и производственный журнал)

Инновационные средства диагностики для оценки технического состояния технологических трубопроводов компрессорных станций/ В.Б. Братков, Д.В. Косачев, А.М. Понедельников и др. — 2020. — № 5. — С. 80–83.

По мере увеличения сроков эксплуатации газоперекачивающих компрессорных станций техническое состояние технологических трубопроводов требует разработки системы специальных мероприятий по обеспечению заданного уровня надежности, т.к. эксплуатация их за пределами расчетного ресурса сопровождается повышенной вероятностью возникновения аварий, в том числе с тяжелыми технологическими и экологическими последствиями. На надежность эксплуатируемых трубопроводов компрессорных станций оказывает влияние образование на поверхности основного металла деталей трубопроводов многочисленных коррозионных и стресс-коррозионных повреждений. В настоящее время в рамках политики информатизации в ПАО «Газпром» внедряется Система управления техническим состоянием и целостностью площадных объектов, составной частью которых являются технологические трубопроводы компрессорных станций. Для указанной системы разработаны методико-регламентирующие документы, определяющие процессы оценки показателей технического состояния, надежности и техногенных рисков, на основании которых принимаются научно обоснованные управленческие решения.

Использование подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах для размещения отходов бурения при строительстве газовых скважин в арктической зоне РФ на примере Харасавэйского месторождения/ С.Н. Меньшиков, И.В. Мельников, Ю.В. Малахова, О.М. Ермилов. — 2020. — № 7. — С. 122–128.

Описана схема обращения с отходами бурения, образующимися при строительстве эксплуатационных газовых скважин в Арктической зоне РФ на Харасавэйском газоконденсатном месторождении, разработанная с учетом уникальных климатических

и геокриологических условий при отсутствии транспортной и специализированной инфраструктуры. Применяемые проектные решения позволяют не только снизить и (или) исключить негативное воздействие отходов бурения на окружающую среду, но и обеспечить потребление наименьших объемов природных ресурсов, оптимизировать материальные и энергетические затраты.

Проблемы анализа риска (научно-практический журнал)

Управление риском загрязнения подземных вод нефтью/ Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина, В.Н. Башкин, А.К. Арабский. — 2020. — Т. 17. — № 3.

Решается проблема управления риском загрязнения подземных вод нефтью, мигрирующей из почвы. Приводятся примеры аварийного загрязнения нефтью почвы как источника поступления вещества в подземные воды. Рассматривается способ предотвращения миграции нефти в подземные воды из загрязненной почвы, защищенный патентом РФ на изобретение № 2692616.

Медников В.И. Расчет риска в производственных цепочках предприятия на основе принципа достаточности защиты его ресурсов. — 2020. — Т. 17. — № 4. — С. 64–75.

Изложен метод расчета рисков в производственных цепочках предприятия. В основу метода положен принцип достаточности защиты ресурсов предприятия, который, в свою очередь, является составной частью разработанного подхода к обеспечению безопасного управления предприятием в его взаимодействиях с внешней средой видов «рынок» и «влияние». На основе разработанной математической модели предприятия дано количественное наполнение терминов «достаточность защиты ресурсов предприятия», «риск», «угроза» в названных взаимодействиях. Приведен пример расчета риска в производственной цепочке поставщиков ресурса. Представленные в статье результаты повышают эффективность управления предприятием путем снижения неопределенностей в производственном процессе за счет количественной конкретизации рисков и угроз его деятельности.