

Программные продукты линейки ТОХИ+ для расчета последствий аварий и количественной оценки риска



А.А. Агапов,
канд. техн. наук,
директор расчетно-аналитического центра,
inform@safety.ru

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Россия



А.С. Софьин,
канд. техн. наук,
зав. отделом



С.И. Сумской,
канд. техн. наук,
вед. науч. сотрудник

НИЯУ МИФИ,
Москва, Россия

Обсуждаются предпосылки появления, история развития и основной функционал программного комплекса ТОХИ+Risk, десятилетний юбилей которого состоялся весной 2020 г., а также функционал расчетных программ серии ТОХИ+: ТОХИ+Гидроудар, ТОХИ+HAZOP, ТОХИ+Прогноз.

Ключевые слова: оценка последствий аварий, рассеяние опасных веществ, взрыв облака, топливно-воздушная смесь, пожарный риск, риск аварий, серия ТОХИ+, ТОХИ+Risk, ТОХИ+Гидроудар, программное средство. Для цитирования: Агапов А.А., Софьин А.С., Сумской С.И. Программные продукты линейки ТОХИ+ для расчета последствий аварий и количественной оценки риска // Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 4. — С. 27–33. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-27-33

Введение

В начале 2020 г. исполнилось 10 лет с дня выхода программного комплекса (ПК) ТОХИ+Risk и 25 лет с начала работ по проекту «ТОХИ», разрабатываемому и продвигаемому Научно-техническим центром исследований проблем промышленной безопасности (ЗАО НТЦ ПБ, далее по тексту — НТЦ). К настоящему времени ТОХИ+Risk стал основным расчетным инструментом для проведения количественной оценки риска аварий и расчета пожарного риска на опасных производственных объектах (ОПО). Большинство расчетов, связанных с разработкой декларации промышленной безопасности ОПО, специальных технических условий, обоснований безопасности ОПО и отчетов количественной оценки риска, выполняется с использованием данного ПК. Пользователями последней версии ПК ТОХИ+Risk являются 87 экспертных, проектных и эксплуатирующих организаций как на территории России, так и в сопредельных государствах, а также 29 высших учебных заведений.

История создания линейки программных продуктов серии ТОХИ+

В настоящее время текущей версией ПК ТОХИ+Risk [1, 2] является ТОХИ+Risk 5, которая в свою очередь стала развитием проекта ТОХИ, работы над которым ведутся в НТЦ с 1990-х годов. Как известно, основой любой расчетной программы является методическая наработка, построенная на физико-математических моделях. В 1995 г. в рамках Государственной научно-технической программы «Безопасность» разработана методика рассеяния выбросов опасных веществ (ОВ), на базе которой

создана первая версия одноименной компьютерной программы. В конце 1990-х годов разработана новая методика рассеяния выбросов — ТОКСИ-2, которая легла в основу одного из первых методических документов Госгортехнадзора России для оценки последствий аварий с выбросом ОВ [3]. Примерно в это же время создана методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (ТВС) — «методика ТВС», которая чуть позже также получила статус руководящего документа (РД) Госгортехнадзора России [3]. Именно эти методики составили методическое обеспечение первой коммерческой версии программного средства (ПС) ТОКСИ+, с помощью которого выполнялись расчеты последствий аварий и элементов количественной оценки риска (КОР) для деклараций промышленной безопасности [4–6].

В методике ТОКСИ-2 использовалась так называемая «гауссова» математическая модель рассеяния газов, которая изначально предназначалась для расчета так называемого пассивного рассеяния, т.е. рассеяния, в котором доминирующую роль играют два процесса: конвективный перенос вещества в поле ветра и атмосферная диффузия. Фактически это означало сведение рассмотрения процесса рассеяния к рассеянию сильно разбавленного воздухом выбросов (плотность выбросов ниже или совпадает с плотностью воздуха), такой подход при оговоренных допущениях обладает хорошей точностью и используется на практике, например, в методиках Международного агентства по атомной энергии. Однако в области промышленной безопасности практически все выбросы превышают плотность воздуха («тяже-

лые» газы): в силу высокой молекулярной массы ОВ либо в силу наличия в аварийных выбросах сжиженных (низкой температурой или высоким давлением) газов и жидкостей, образующих аэрозоли. И если для «легких» газов (аммиак, метан, водород) «гауссова» модель дает в целом адекватные оценки зон рассеяния, то для «тяжелых» она существенно завышает размеры зон достижения опасных концентраций с одновременной существенной недооценкой поперечных размеров облаков, образующихся при дрейфе «тяжелых» газов в атмосфере. Этот же недостаток, как и другие (условная геометрия облака отличается, некорректный учет скорости ветра и пр.), присущ методике [7], ошибка при использовании которой может составлять несколько сотен процентов. Характерный пример: расчетные зоны заражения хлором при максимальной запроектной аварии на московских станциях водоподготовки (содержащих от 200 до 350 т сжиженного хлора), рассчитанные по этой методике, превышали диаметр Московской кольцевой автомобильной дороги и полностью перекрывали всю территорию Москвы четырьмя секторами. При том что аналогичные оценки зон поражения, сделанные по иностранным методикам, например по «методике Всемирного банка» [8], были на порядок меньше.

Новая методика рассеяния как «легкого», так и «тяжелого» газа — методика ТОКСИ-3 [9] — легла в основу вышедшей в 2006 г. версии 3.0 ПС ТОХИ+, включающей новые элементы интерфейса: управляющую оболочку, графическую подложку с планом местности, расширяемый набор подключаемых расчетных модулей и общую для всех расчетных модулей базу со свойствами ОВ, что позволило той версии получить достаточно широкое распространение в среде расчетчиков (более сотни официальных пользователей). В эти же годы разработан современный логотип программы ТОХИ+ (см. рисунок) и зарегистрирован товарный знак.



▲ Логотип программы ТОХИ+
▲ ТОХИ + logo

Параллельно с задачей автоматизации расчетов конкретных опасных факторов, сопровождающих аварии с выбросом ОВ, велись работы по созданию ПС для количественной оценки риска, базирующегося на РД Госгортехнадзора России [10] и предполагающего расчет автоматически сформированного пакета сценариев аварии и получение обобщенных показателей опасности — показателей риска.

С выходом летом 2009 г. федерального закона [11] и затем методики [12] еще одним направлением развития программы стала автоматизация расчета пожарного риска, включая расчет пожарного риска в зданиях. Результатом этого стал выход в апреле 2010 г. ПК ТОХИ+Risk, где ТОХИ+ стало обозначать принадлежность к общей линейке компьютерных программ.

В течение 2010–2015 гг. выпущено несколько версий ПК ТОХИ+Risk (версии 4.1–4.4), включающих расчетные модули, разработанные на основе более чем 15 методических документов (стандарты ПАО «Газпром» [13, 14], методика Росгидромета (ОНД–86) [15], документы из свода правил в области пожарной безопасности [16], новая редакция «пожарного» ГОСТ [17] и др.).

Очередной знаковой вехой в развитии ПК стал выход в начале 2016 г. ПК ТОХИ+Risk 5, в котором нашли отражение кардинальные нововведения в методическом обеспечении оценки последствий аварий, обусловленные принятием в 2015 г. новой редакции федерального закона [18] и утверждением Ростехнадзором более 10 руководств по безопасности (РБ), посвященных КОР, в том числе РБ [19] и федеральных норм и правил (ФНП) [20]. Обращаем внимание расчетчиков, экспертов и заказчиков, что только ПК ТОХИ+Risk 5 содержит актуальное на сегодня методическое обеспечение для расчета последствий аварий на ОПО. Это связано с наработкой и принятием в 2016 г. новых методик в статусе РБ Ростехнадзора. Прежние версии ПК ТОХИ+Risk (версии 3.0, 4.0–4.4) базируются на недействующих документах Госгортехнадзора России и не могут быть использованы для разработки декларации промышленной безопасности ОПО, специальных технических условий, обоснований безопасности ОПО и отчетов КОР. Для подтверждения актуальности версии программы, а также проверки корректности расчетов в ТОХИ+Risk 5 разработана возможность формирования «паспорта расчетов». Файл «паспорта расчетов» уникален, имеет защиту от внесения любых изменений посредством шифрования лицензионным ключом пользователя и включает в себя перечень исходных данных, заданных пользователем в программе, а также основных результатов расчетов. Данный функционал полезен при проверках и экспертизе документации, включающей разделы, разработанные с использованием ТОХИ+Risk 5, так как, помимо контроля актуальности версии программы, позволяет в удобном виде просматривать информацию, которую задал и получил пользователь в программе.

Линейка программных продуктов ТОХИ+

Программный комплекс ТОХИ+Risk 5 предназначен для автоматизации выполнения расчетных работ и подготовки документации, связанных с оценкой последствий аварий и расчетом показателей риска,

в том числе и пожарного. На текущий момент ПК ТОХИ+Risk 5 базируется на 26 расчетных методиках Ростехнадзора, МЧС России, Росгидромета, отраслевых стандартах ПАО «Газпром» и ПАО «Транснефть». Указанный функционал востребован при разработке: проектной документации на производственные объекты, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются ОВ; деклараций промышленной и пожарной безопасности; планов мероприятий по локализации и ликвидации аварийных ситуаций; инженерно-технических мероприятий гражданской обороны, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций; мероприятий по защите персонала и населения от возможных аварий; специальных технических условий; обоснований безопасности ОПО; при расчетах пожарного риска; количественном анализе риска аварий на ОПО; при оценке взрывоустойчивости зданий и сооружений; при обязательном страховании ответственности владельцев ОПО; при проведении иных процедур, связанных с оценкой последствий выбросов ОВ.

В процессе развития серия (линейка) программных продуктов ТОХИ+ пополнялась также и другими программами. Так, в 2012 г. выпущен ПК ТОХИ+Метео [21], основным назначением которого являлось моделирование распространения ОВ в атмосфере при возникновении аварийных выбросов с учетом данных, поступающих с метеостанции. Программа разрабатывалась при участии специалистов АО «Чепецкий механический завод» (г. Глазов) и АО «Новомосковская акционерная компания «Азот» (г. Новомосковск) для использования в диспетчерских службах ОПО. На основе опыта ее внедрения в 2019 г. подготовлено новое ПС ТОХИ+Прогноз [22], позволяющее:

- проводить расчеты зон поражения в результате горения или взрыва облаков ТВС наряду с зонами химического заражения;

- работать с программой в технологии «клиент-сервер» с возможностью коммутации с широким спектром систем, применяемых на ОПО;

- получать метеоданные с метеостанций различного типа;

- получать данные о технологическом процессе из автоматизированных систем управления технологическим процессом, о показаниях датчиков загазованности из системы обнаружения выбросов ОВ;

- взаимодействовать с системой оповещения на случай аварии и передачи в нее результатов прогнозирования;

- увеличить производительность расчетов.

В 2015 г. выпущена первая версия ПС ТОХИ+Гидроудар [23], которая функционально дополняет ТОХИ+Risk 5 в части оценки объемов аварийных утечек при разгерметизации протяженных трубопроводных систем (магистральных, промысловых и технологических трубопроводов). Программное

средство также предназначено для моделирования нестационарных гидродинамических процессов в трубопроводных системах (в том числе явлений гидроудара при перекрытии запорной арматуры, остановке (пуске) перекачивающего оборудования). Программное средство ТОХИ+Гидроудар позволяет учитывать перепад высот трассы, места расположения и гидравлические характеристики элементов трубопроводных систем, в том числе запорной арматуры, насосов, предохранительных клапанов, а также изменение диаметров и ветвление трубопроводов и т.д.

В области обеспечения промышленной безопасности помимо КОР существует практика применения качественных методов оценки опасности. Одним из таких методов является HAZOP (Hazard and Operability Analysis — анализ опасностей и работоспособности), который проводится в соответствии с ФНП [20]. Для автоматизации проведения этой процедуры также разработано ПС ТОХИ+HAZOP [24].

Начиная с 2000-х годов в НТЦ проводится процедура верификации расчетных модулей, входящих в серию ТОХИ+, в том числе путем сравнения с результатами широкомасштабных натурных экспериментов [25, 26]. Соответствие заложенных в программные продукты алгоритмов методическим документам подтверждено сертификатами Системы сертификации ГОСТ Р (например, [27]), а сами ПК ТОХИ+Risk 5, ТОХИ+Прогноз, ТОХИ+Гидроудар включены в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. В настоящее время ТОХИ+Risk 5 проходит экспертизу программ для электронных вычислительных машин, используемых в целях построения расчетных моделей процессов, влияющих на безопасность объектов использования атомной энергии и (или) видов деятельности в области использования атомной энергии, согласно процедуре, установленной Ростехнадзором. В рамках данной работы подготовлен отчет о верификации, который включает сопоставление результатов расчетов по математическим моделям физических процессов (рассеивание ОВ в атмосфере, пожары пролива, взрывы ТВС, огненный шар, струйное горение газа, разлет осколков), заложенным в ТОХИ+Risk 5, с данными экспериментальных исследований, зафиксированных последствий аварий, аналогичными зарубежными программными продуктами.

С выходом первой коммерческой версии ТОХИ+ в регулярную практику ЗАО НТЦ ПБ вошло проведение обучающих семинаров, в том числе выездных, и к текущему моменту их состоялось более 50. В настоящее время обучение на регулярной основе проводится по программам ТОХИ+Risk 5 и ТОХИ+Гидроудар. В практику введены ежеквартальные «школы-семинары», на которых обсуждаются основы работы с программами, и «семинары-тренинги», где пользователи знакомятся с инструментарием для проведения КОР. Подробная информация

о грядущих мероприятиях имеется на официальном сайте: www.safety.ru.

В целях подтверждения знаний и навыков пользователей программных продуктов TOXI+ существует также процедура их аттестации по различным областям. Список аттестованных пользователей публикуется на сайте toxi.ru, прошедшим эту процедуру выдается соответствующий документ. Аттестат пользователя является подтверждением не только умения использовать ПС, но и знаний нормативных и методических основ оценки последствий аварий с участием ОБ и КОР в рамках заявленной области.

Программные продукты TOXI+Risk 5 и TOXI+ Гидроудар предоставляются на безвозмездной основе для использования в учебном процессе. В настоящее время этой возможностью воспользовались 29 учебных заведений, среди которых ведущие вузы страны: МГТУ им. Н.Э. Баумана, РХТУ им. Д.И. Менделеева, НИЯУ МИФИ, Московский авиационный институт, Томский политехнический университет, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина и др.

В разные годы над линейкой программ TOXI+ работали: В.И. Сидоров, А.С. Печёркин, А.Е. Патаха, А.А. Агапов, М.В. Лисанов, С.И. Сумской, А.С. Софьин, С.Я. Бородовский, И.А. Кручинина, В.В. Шушунов, С.В. Прокудин, А.Л. Марухленко, С.Л. Марухленко, А.М. Сверчков, И.О. Хлобыстова, К.В. Ефремов, А.П. Виноградов, С.А. Буйновский, О.В. Гавриленко, О.Д. Дворникова.

Перспективы развития

Программные продукты серии TOXI+ постоянно совершенствуются. Основным направлением развития является внедрение алгоритмов и методик, изложенных в новых или измененных нормативных и методических ведомственных документах. В процессе разработки программ также учитываются пожелания и замечания пользователей, которые поступают по линии технической поддержки, а также во время обучающих семинаров.

Другим важным направлением является совершенствование методических подходов в области КОР. Такие исследования в конечном счете позволяют наделять программные продукты новым полезным функционалом, который позволит снизить консервативность выполняемых оценок и в большей степени автоматизировать труд расчетчика. Например, одно из направлений в развитии ПС TOXI+ Гидроудар — планируемое внедрение модели течения двухфазных и газовых сред, которая в свою очередь явилась результатом многолетней научно-исследовательской работы.

В настоящее время также идет разработка и новых программных продуктов рассматриваемой серии. Так, например, в процессе создания находится ПК TOXI+Risk (версия 6), который придет на смену

TOXI+Risk 5 и позволит задавать опасное оборудование в виде связанных друг с другом элементов технологической схемы, автоматизировать расчет массы ОБ, участвующего в аварии, с учетом перетоков из смежного оборудования и соседних технологических блоков [28], упростить и автоматизировать ввод данных в программу.

Для обеспечения производительных вычислений расчетное ядро ПК планируется реализовать с поддержкой вычислений на многопроцессорных системах.

Другим перспективным направлением является разработка ПК TOXI+CFD [29] для выполнения трехмерных гидродинамических расчетов рассеяния ОБ, а также горения или взрыва облаков ТВС в загроможденном пространстве.

Заключение

Рассматриваемый отечественный сертифицированный программный комплекс TOXI+Risk, а также другие продукты линейки TOXI+ являются перспективными динамично развивающимися инструментами для оценки последствий аварий и количественной оценки риска аварий на опасных производственных объектах. Внедрение программного комплекса TOXI+Risk 5 в практику деятельности экспертных и проектных организаций стало существенным шагом в развитии методов физико-математического моделирования промышленных аварий и реализации современных подходов к обоснованию безопасности производственных процессов.

Список литературы

1. Программный комплекс TOXI+Risk 5. Программные средства по промышленной безопасности TOXI+. URL: <https://toxi.ru/produkty/programmnyi-kompleks-toxirisk-5> (дата обращения: 27.02.2020).
2. Использование программного комплекса ТОКСИ+Risk для оценки пожарного риска/ А.А. Агапов, И.О. Лазукина, А.Л. Марухленко и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 1. — С. 46–52.
3. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: сб. док. — Сер. 27. — Вып. 2. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. — 208 с.
4. Оценка риска аварий на объектах хранения и перевалки нефти и нефтепродуктов/ А.В. Пчельников, А.И. Гражданкин, И.А. Кручинина и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2004. — № 6. — С. 33–37.
5. Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С. Количественная оценка риска аварий в декларациях промышленной безопасности опасных производственных объектов топливно-энергетического комплекса// Безопасность труда в промышленности. — 2005. — № 1. — С. 46–48.
6. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах БТС И МН «Дружба»/ М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин, А.В. Пчельников и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2006. — № 1. — С. 34–40.

7. 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: 27.02.2020).

8. *Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques*. Vers: 1.0. Edited by P.J. Kayes. World Bank. 1987. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/278461468740173194/Manual-of-industrial-hazard-assessment-techniques> (дата обращения: 27.02.2020).

9. *Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах*: сб. док. — Сер. 27. — Вып. 5. — М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. — 252 с.

10. РД 03-357—00. Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200029036> (дата обращения: 27.02.2020).

11. *Технический регламент о требованиях пожарной безопасности*: федер. закон. — Сер. 19. — Вып. 1. — 8-е изд., испр. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2019. — 192 с.

12. *Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска*: сб. док. — Сер. 19. — Вып. 2. В 4 ч. Ч. 4. Нормативные правовые документы по оценке пожарного риска, методики и примеры. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2009. — 288 с.

13. *СТО Газпром 2-2.3-351—2009*. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». URL: <http://www.sra-russia.ru/upload/iblock/cfa/cfa0d60f4cec7857c61e5e2a99e77441.pdf> (дата обращения: 27.02.2020).

14. *СТО Газпром 2-2.3-400—2009*. Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром». URL: <http://www.sra-russia.ru/upload/iblock/967/967beed76046fac430fc891c98088f19.pdf> (дата обращения: 27.02.2020).

15. *ОНД—86*. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200000112> (дата обращения: 27.02.2020).

16. *Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска*: сб. док. — Сер. 19. — Вып. 2. В 4 ч. Ч. 3. Нормативные документы по пожарной безопасности. Своды правил. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018.

17. *ГОСТ Р 12.3.047—2012*. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 27.02.2020).

18. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов*: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. — 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. 16. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 56 с.

20. *Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтепере-*

рабатывающих производств: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 09. — Вып. 37. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 130 с.

21. *Программно-аппаратный комплекс «ТОКСИ+Метео» для оценки последствий возможных аварий с учетом данных о текущих погодных условиях*/ А.А. Агапов, И.О. Хлобыстова, С.Л. Марухленко и др.// *Безопасность труда в промышленности.* — 2011. — № 1. — С. 22–25.

22. *Программный комплекс ТОХИ+Прогноз*. Программные средства по промышленной безопасности ТОХИ+. URL: <https://toxi.ru/produkty/programmnyi-kompleks-toxiprognoz> (дата обращения: 27.02.2020).

23. *Сверчков А.М., Сумской С.И.* Верификация программного средства ТОХИ+Гидроудар для моделирования нестационарных процессов в трубопроводах// *Безопасность труда в промышленности.* — 2017. — № 10. — С. 5–10. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-10-5-10

24. *Программное средство ТОХИ+HAZOP*. Программные средства по промышленной безопасности ТОХИ+. URL: <https://toxi.ru/produkty/programmnoe-sredstvo-toxihazop> (дата обращения: 27.02.2020).

25. *Расчет зон разрушения зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах*/ К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин и др.// *Безопасность труда в промышленности.* — 2011. — № 9. — С. 70–77.

26. *База данных натуральных экспериментов для верификации математических моделей рассеяния облаков «тяжелого» газа*/ А.А. Агапов, В.В. Банников, Е.А. Дегтярева, С.И. Сумской// *Безопасность труда в промышленности.* — 2018. — № 6. — С. 35–44. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-6-35-44

27. *Сертификат соответствия ТОХИ+Risk 5 № RA.RU. АБ86.Н01149*. Программные средства по промышленной безопасности ТОХИ+. URL: https://toxi.ru/uploads/toxi_risk_cert_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_1.jpg (дата обращения: 27.02.2020).

28. *Расчет параметров аварийных выбросов опасных веществ из технологических блоков с учетом притоков из смежного оборудования*/ А.С. Софьин, С.В. Прокудин, А.А. Агапов, С.И. Сумской// *Безопасность труда в промышленности.* — 2018. — № 3. — С. 5–13. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-3-5-13

29. *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

inform@safety.ru

Материал поступил в редакцию 13 марта 2020 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2020, № 4, pp. 27–33.
DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-27-33

Software Products of TOXI+ Line for Calculation of Accidents Consequences and Risk Assessment

A.A. Agapov, Cand. Sci. (Eng.), Director of the Computational Analysis Center, inform@safety.ru

A.S. Sofin, Cand. Sci. (Eng.), Department Head
STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russia

S.I. Sumskey, Cand. Sci. (Eng.), Lead Researcher
NRNU MEPhI, Moscow, Russia

Abstract

The first official version of TOXI+Risk software developed by STC «Industrial Safety» CJSC marked its ten years anniversary in April 2020. By now it become the main calculation tool for quantitative risk assessment of accidents and fire risk calculation at hazardous production facilities in the Russian Federation. TOXI+Risk is one of the products of TOXI+series, the works on which have been conducting since 1990s. The authors of the article recall the main milestones in the development of methodological and software support. Brief description is given concerning the current content of TOXI+ software series, the prospects for its development, and the activities conducted by STC «Industrial Safety» dedicated to the software.

TOXI+Risk 5 software package is currently based on 26 calculation methodologies of Rostekhnadzor, EMERCOM of Russia, Roshydromet, industry standards of PAO Gazprom and PAO Transneft, and it allows to simulate emergency situations associated with the cloud dispersion of hazardous substances, their combustion or explosion, fire spilled liquids, jet fire, BLEVE et al. TOXI+Water hammer software allows to simulate fluid flow in the pipeline systems of various configurations of the linear part, taking into account the difference in elevation of the route, the location and hydraulic characteristics of the elements of the pipeline system, including shutoff valves, pumps, safety valves and other devices, as well as estimate the mass of emissions of the transported substances during pipelines depressurization.

TOXI+HAZOP software tool is designed to automate the paperwork during HAZOP sessions.

TOXI+Forecast software allows to automate the actions of the dispatcher in an emergency: simulate accident scenarios with the spread of hazardous substances in the atmosphere when gas detectors are triggered, taking into account the current weather situation, inform the dispatcher and the interested parties about the forecast results (areas of exposure on the site plan, and potentially affected by them locations of people presence).

Key words: accident consequences assessment, dispersion of hazardous substances, cloud explosion, fuel-air mixture, fire risk, accident risk, TOXI+ series, TOXI+Risk, TOXI+Water hammer, software tool.

References

1. TOXI+Risk software package 5. TOXI+ Industrial safety software. Available at: <https://toxi.ru/produkty/programmyi-kompleks-toxirisk-5> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).
2. Agapov A.A., Lazukina I.O., Marukhlenko A.L., Marukhlenko S.L., Sofin A.S. Use of Software Complex TOXI+Risk for Fire Risk Assessment. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2010. № 1. pp. 46–52. (In Russ.).
3. Methods for assessment of accidents consequences at hazardous production facilities: Book of reports. Ser. 27. Iss. 2.

2-e izd., ispr. i dop. Moscow: Gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie «Nauchno-tehnicheskii tsentr po bezopasnosti v promyshlennosti Gosortekhnadzora Rossii», 2002. 208 p. (In Russ.).

4. Pchelnikov A.V., Grazhdankin A.I., Kruchinina I.A., Sumskey S.I., Dadonov Yu.A., Lisanov M.V. Accident risk assessment at oil and oil products storage and transfer facilities. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2004. № 6. pp. 33–37. (In Russ.).

5. Grazhdankin A.I., Lisanov M.V., Pecherkin A.S. Quantitative assessment of accident risk in the industrial safety declarations for hazardous production facilities of fuel and energy complex. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2005. № 1. pp. 46–48. (In Russ.).

6. Lisanov M.V., Grazhdankin A.I., Pchelnikov A.V., Savina A.V., Sumskey S.I. Analysis of accidents risk on BPS and Druzhba main oil pipeline systems. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2006. № 1. pp. 34–40. (In Russ.).

7. RD 52.04.253–90. The methodology for predicting the extent of infection with extremely poisonous substances in case of accidents (destruction) at chemically hazardous facilities and transport. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200007358> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

8. Kayes P.J. Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques. Vers: 1.0. World Bank. 1987. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/278461468740173194/Manual-of-industrial-hazard-assessment-techniques> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

9. Modeling of emergencies at hazardous production facilities: Book of reports. Ser. 27. Iss. 5. Moscow: Otkrytoe aktsioner-noe obshchestvo «Nauchno-tehnicheskii tsentr po bezopasnosti v promyshlennosti», 2006. 252 p. (In Russ.).

10. RD 03-357–00. Methodological recommendations for the preparation of industrial safety declaration of a hazardous production facility. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200029036> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

11. Technical regulation on fire safety requirements: Federal Law. Ser. 19. Iss. 1. 8-e izd., ispr. Moscow: ZAO NTTs PB, 2019. 192 p. (In Russ.).

12. Fire safety declaration and fire risk assessment: Book of reports. Ser. 19. Iss. 2. In 4 parts. Pt. 4. Regulatory legal documents on fire risk assessment, methodologies and examples. Moscow: ZAO NTTs PB, 2009. 288 p. (In Russ.).

13. STO Gazprom 2-2.3-351–2009. Methodical guidelines for conducting risk analysis of hazardous production facilities of OAO Gazprom gas transmission enterprises. Available at: <http://www.sra-russia.ru/upload/iblock/cfa/cfa0d60f4cec7857c61e5e-2a99e77441.pdf> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

14. STO Gazprom 2-2.3-400–2009. Risk analysis methodology for hazardous production facilities of OAO Gazprom gas producing enterprises. Available at: <http://www.sra-russia.ru/upload/iblock/967/967beed76046fac430fc891c98088f19.pdf> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

15. OND–86. Methodology for calculating atmospheric concentrations of harmful substances contained in the plant emissions. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200000112> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

16. Fire safety declaration and fire risk assessment: Book of reports. Ser. 19. Iss. 2. In 4 parts. Pt. 3. Fire safety regulatory documents. Sets of rules. Moscow: ZAO NTTs PB, 2018. (In Russ.).

17. GOST R 12.3.047—2012. National standard of the Russian Federation. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200103505> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

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

19. Methodical fundamentals for conducting hazard analysis and risk assessment of accidents at hazardous production facilities: Safety guide. Ser. 27. Iss. 16. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 56 p. (In Russ.).

20. 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. 3-e izd., ispr. i dop. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 130 p. (In Russ.).

21. Agapov A.A., Khlobystova I.O., Marukhlenko S.L., Marukhlenko A.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.).

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

23. Sverchkov A.M., Sumskey S.I. Verification of TOXI+Water-Hammer Software for Modelling of Non-Stationary Processes in the Pipelines. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occu-*

pational Safety in Industry. 2017. № 10. pp. 5–10. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2017-10-5-10

24. TOXI+ HAZOP Software. TOXI+ Industrial safety software. Available at: <https://toxi.ru/produkty/programmnoe-sredstvo-toxihazop> (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

25. Efremov K.V., Lisanov M.V., Sofin A.S., Samuseva E.A., Sumskey S.I., Kirienko A.P. Calculation of Buildings and Structures Destruction Zones Resulted from Explosions of Fuel-Air Mixtures at Hazardous Production Facilities. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2011. № 9. pp. 70–77. (In Russ.).

26. Agapov A.A., Bannikov V.V., Degtyareva E.A., Sumskey S.I. Database of Full-Scale Experiments for Verification of the Mathematical Models of Dispersion of «Heavy» Gas Clouds. 2018. № 6. pp. 35–44. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-6-35-44

27. Certificate of conformity of TOXI+Risk 5 № RA.RU. AB86.N01149. TOXI+ Industrial safety software. Available at: https://toxi.ru/uploads/toxi_risk_cert_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_1.jpg (accessed: February 27, 2020). (In Russ.).

28. Sofin A.S., Prokudin S.V., Agapov A.A., Sumskey S.I. Calculation of the Parameters of Hazardous Substances Accidental Release from the Process Units Taking into Account Inflows from Adjacent Equipment. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 3. pp. 5–13. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-3-5-13

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

Received March 13, 2020



Поздравляем коллектив Научно-технического центра исследований проблем промышленной безопасности с 30-летием начала в России деятельности в области научного обеспечения промышленной безопасности!

Научно-технический центр образован в непростое время, и именно тогда значение промышленной безопасности начало возрастать. За годы деятельности вы внесли уникальный вклад в научное обеспечение промышленной

безопасности. И в настоящее время по праву считается одной из ведущих в данной области знаний организаций в России.

Юбилея, как известно, красят не годы, а заслуги. Широкие научные разработки, которые реализует ЗАО НТЦ ПБ, позволяют уверенно идти в ногу со временем, заниматься глубокой исследовательской работой. Ее результаты нашли воплощение в разработке проектов нормативно-правовых актов, экспертизе промышленной безопасности, анализе рисков и системе управления промышленной безопасностью. Большое место в вашей деятельности занимает работа по повышению квалификации специалистов в области промышленной безопасности и охраны труда.

Благодаря высокому профессионализму, целеустремленности, огромной созидательной энергии ваш коллектив достиг значительных успехов.

В этот праздничный день от всей души желаем сотрудникам новых научных достижений и дальнейших побед!

С уважением, коллектив Приволжского управления Ростехнадзора