

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-59-68>

УДК 004.4



Разработка информационно-моделирующей системы поддержки и принятия решений по управлению безопасностью химических производств

В.В. Банников[@], Т.В. Савицкая

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва 125047, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: tiron2007@rambler.ru

Проведен анализ актуальности разработки информационно-моделирующей системы (ИМС) поддержки и принятия решений по управлению безопасностью химических производств. Приведены основные подсистемы структуры данной ИМС. Перечислены основные нормативные документы для заполнения базы знаний ИМС; предложен алгоритм работы и разработана модель базы данных ИМС. Разработана система продукционных правил для управления выдачей рекомендаций ИМС на основе методического документа. Приведена программная реализация ИМС, представляющая собой готовый комплекс программного обеспечения на основе двухуровневой (клиент–серверной) архитектуры информационных систем. Приведен вывод рекомендаций, полученных для тестового примера аварии полного разрушения резервуарного оборудования. Приведены результаты моделирования вычислительных экспериментов в программном комплексе ТОКСИ^{Risk} для заполнения тестовой выборки.

Ключевые слова: *информационно-моделирующая система, промышленная безопасность, база данных, клиент–серверная архитектура, продукционная модель, программное средство.*

The development of a decision support information-modeling system for safety in the chemical industry

Vladimir V. Bannikov[@], Tatyana V. Savitskaya

D. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow 125047, Russia

[@]Corresponding author, e-mail: tiron2007@rambler.ru

The analysis of the urgency of developing a decision and support information-modeling system for safety in the chemical industry is carried out. The article also covers the main elements of this information-modeling system. Key normative documents backing up the knowledge base of such an information-modeling system are listed below. The algorithm of the safety decision supporting information-modeling system is proposed. A database model of the safety decision supporting information-modeling system is elaborated below. A production rule system is set forth to manage issuing recommendations on the robust decision support information-modeling system in the chemical industry based on a methodological document. An implementation plan is laid out for the robust decision support information-modeling system in chemical industry. It is a ready-made software package based on two-level (client-server) architecture of information systems. This article also contains recommendations based on a test case of a tank equipment total destruction. Results of the computational experiments' simulation in the TOXI^{Risk} software corresponding to the test selected values are available.

Keywords: information-modeling system, industrial safety, database, client-server architecture, production model, software.

Введение

На сегодняшний день множество объектов предприятий химической, нефтехимической, нефтегазовой отраслей расположено в близости от жилых или социально-значимых объектов, общественного транспорта. В связи с этим возрастает потенциальное количество пострадавших при возможных авариях на данных объектах.

Одним из важных методов исследования является прогнозирование аварийных ситуаций. Для этого наиболее эффективным является моделирование аварий на рассматриваемом объекте химической, нефтехимической, нефтегазовой отраслей.

В настоящее время широкое применение нашли информационные и компьютерные технологии в области управления процессами химических технологий, экологического мониторинга химических предприятий и промышленной безопасности, как в России [1–5], так и за рубежом [6–8]. Существует ряд программных комплексов по моделированию и/или прогнозированию аварийных ситуаций на опасных производственных объектах (ОПО) и накоплен практический опыт их использования в химической и нефтехимической промышленности [9, 10].

Однако во время аварии отсутствует возможность моделирования текущей ситуации в режиме реального времени. Следовательно, необходимо заранее провести процедуру моделирования возможных аварийных ситуаций для типового оборудования и исходных параметров хранения опасных веществ. Получив результаты моделирования, лицо, принимающее решения (ЛПР), должно незамедлительно проанализировать полученные данные и принять управленческое решение по спасению персонала предприятия и снижению тяжести последствий. Тем не менее, данная процедура занимает значительное в текущей ситуации время.

Для решения данных проблем в работе предлагается реализация информационно-моделирующей

системы (ИМС) поддержки и принятия решений по управлению безопасностью химических производств на основе продукционных моделей. Данная система позволит из заранее смоделированных сценариев аварий выбрать наиболее подходящий для текущей ситуации, получить информацию о зонах поражения от различных видов пожаров, взрывов, рассеяния опасных веществ и дать рекомендации по повышению безопасности реципиентов, попавших в зону поражения.

Разработка информационно-моделирующей системы поддержки и принятия решений по управлению безопасностью химических производств

При создании ИМС использовалась двухуровневая архитектура информационной системы. Она представляет собой клиент-серверную архитектуру, которая использует только сервер, содержащий базу данных с системой управления базами данных (СУБД), и клиент, содержащий уровень представления данных.

1. *Уровень представления данных.* На данном уровне происходит формирование взаимодействия системы с пользователем. Выполняется в виде программы для работы с пользователем, содержащей порядок и условия реакций информационной системы на воздействия пользователя на основе понятных функций.

2. *Уровень доступа к данным (сервер).* Предоставляет функции хранения, удаления, изменения, обработки, выборки данных в базе.

Структурная составляющая ИМС складывается из пяти подсистем (рис. 1):

- *Подсистема взаимодействия с пользователем.* Данная подсистема предназначена для интуитивного взаимодействия пользователя с системой.
- *Подсистема выбора исходных данных.* Отбор веществ в базе данных (БД) по их свойствам (токсичность, горючесть), выбор параметров аварии

и подбор оборудования для определения исходных данных расчета.

- *Подсистема хранения данных.* Данная подсистема состоит из следующих баз данных: БД опасных веществ в совокупности с их свойствами; БД типового оборудования ОПО; БД вычислительных экспериментов (БД ВЭ).

- *Подсистема поддержки принятия решений.* Представляет собой базу знаний рекомендаций, которая составлена из нормативных, нормативно-методических и нормативно-технических

документов, алгоритмов, методов, моделей принятия решений. Важной частью также является блок анализа и сравнения полученных результатов. Продукционные модели представления знаний являются основой рекомендаций по уменьшению тяжести последствий аварии для персонала. Критерием условий служит минимизация погибших и пострадавших на ОПО.

- *Подсистема выдачи рекомендаций и визуализации результатов.* Результаты представляются в интерфейсе пользователя программы [11].

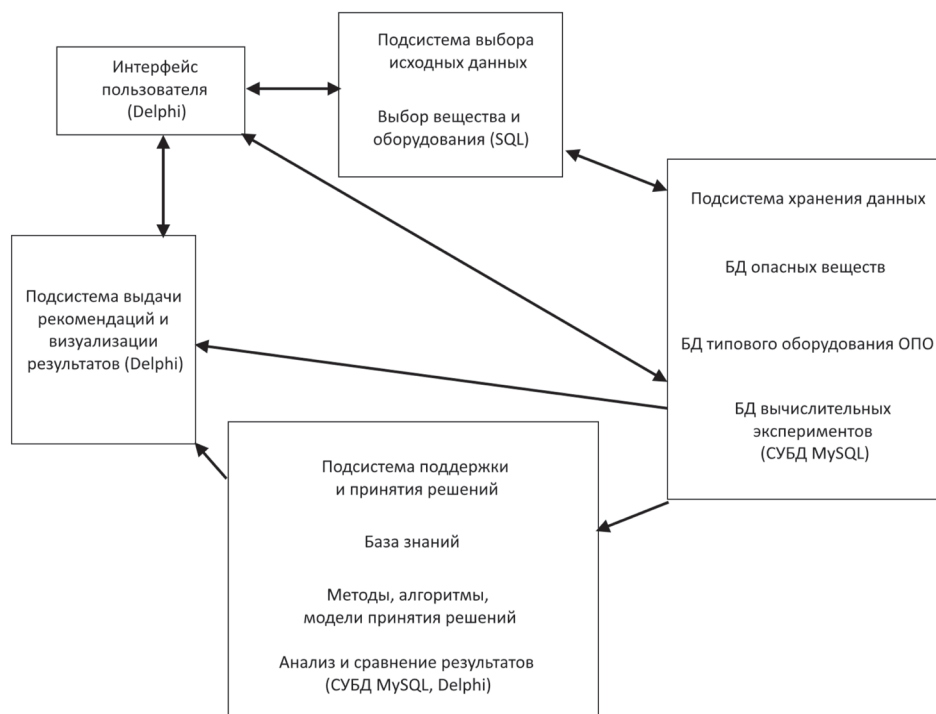


Рис. 1. Функциональная схема ИМС.

Актуальная информация нормативных документов в базе знаний рекомендаций является гарантией эффективного использования ИМС. Ниже представлен список таких документов (руководств безопасности): методическое руководство по моделированию аварийных выбросов¹; методическое руководство оценки риска аварий на ОПО нефтяной промышленности²; методическое руководство оценки последствий аварий на взрыво- и пожароопасных хи-

мических производствах³; методические основы по ведению анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО⁴. Данные руководства основаны на Федеральном законе⁵ и федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности⁶.

Для вышепредставленной системы разработан алгоритм, отображенный на рис. 2. Первые два шага позволяют ввести исходные данные в разработанную систему. Последующим действием идет

¹Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» (Утв. приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 № 158).

²Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» (утв. приказом Ростехнадзора от 29.06.2016 № 272).

³Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах» (Утв. приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 № 160).

⁴Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (Утв. приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144).

⁵Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изм. и доп., вступ. в силу с 25.03.2017).

⁶Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта» (Утв. приказом Ростехнадзора от 15.07.2013 № 306).

поиск выбранных данных в БД ВЭ и выбор соответствующего сценария. Для реализации запроса требуется обработка обширного количества данных, полученных в результате моделирования при использовании специализированных программных средств. При равенстве введенных параметров и данных БД ВЭ выдаются соответствующие результаты моделирования аварийной ситуации.

Далее идет сопоставление результатов БД ВЭ со значениями критериев нормативных документов, создается перечень рекомендаций, направленных на локализацию последствий аварии, и выдается пользователю.

Для разработки базы данных ИМС было решено использовать свободную реляционную систему управления базами данных MySQL⁷.

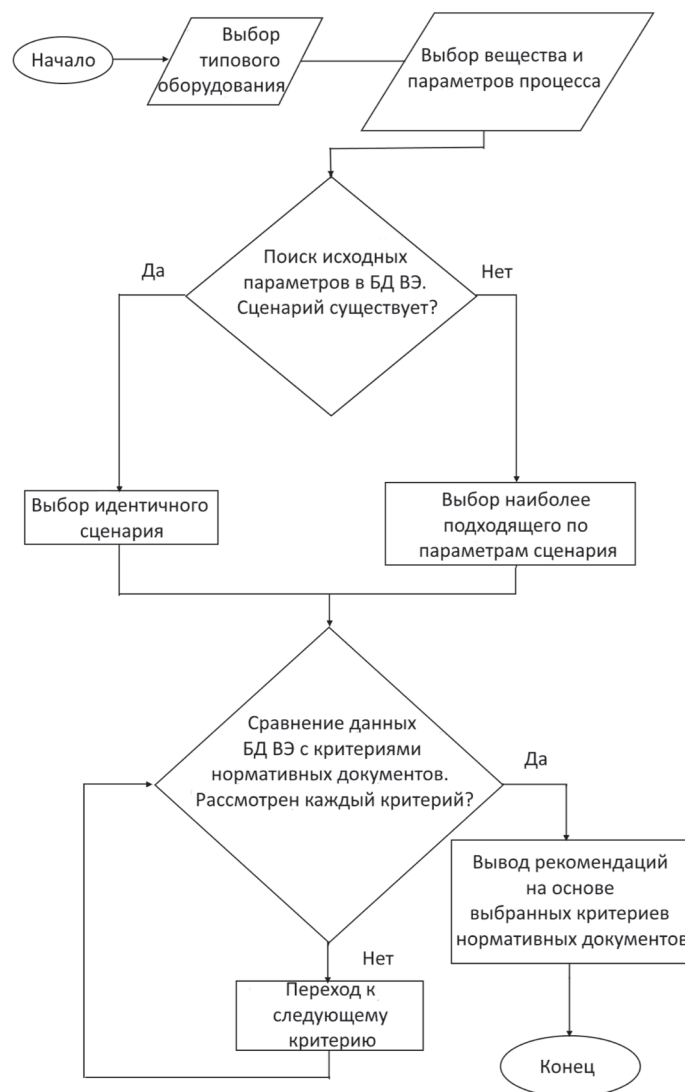


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы ИМС.

На рис. 3 представлена физическая модель базы данных. Всего в текущей базе данных было использовано 10 таблиц. Каждая таблица имеет первичный ключ, который характеризует уникальный номер записи. Для таблицы веществ – это идентификатор вещества, для таблицы стратификаций – идентификатор стратификаций и т. д. Наличие внешних ключей наглядно представлено в таблицах исходных и экспериментальных данных. С их помощью таблицы веществ, стратификаций, загроможденностей связаны с таблицей исходных данных, а таблицы исходов (пожар пролива (ПП), взрыв топливно-воздуш-

ной смеси (ТВС), пожар-вспышка (ВСП), рассеяние (РАС)), оборудования и исходных данных связаны с таблицей данных вычислительных экспериментов.

При создании модели использовалось несколько типов данных. Каждое поле идентификаторов имеет формат целочисленных значений integer, текстовые данные имеют тип varchar (30), который позволяет записать 30 символов в строку. Все переменные значения, кото-

⁷Free relational database management system “MySQL”, 2018. URL: <https://www.mysql.com/> (дата обращения: 22.03.2018).

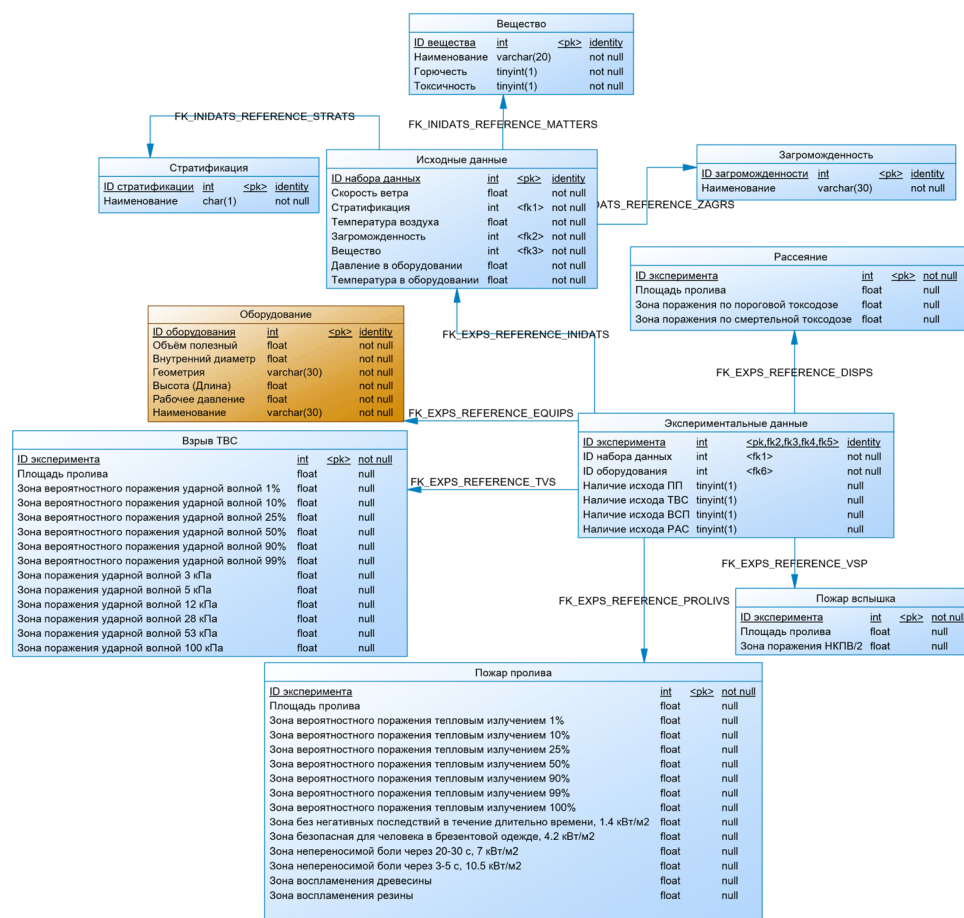


Рис. 3. Физическая модель базы данных.

рые используются для записи остальных данных имеют формат вещественных чисел – float. Следует отметить, что в таблице стратификаций существует уникальный столбец, который представляет собой записи о названиях стратификаций, состоящих из одной буквы, и он имеет формат char (1). Еще одним уникальным типом является tinyint (1), который используется для отметки наличия определенного исхода в данном вычислительном эксперименте в таблице вычислительных экспериментов, так называемый «флаг».

Так как для поиска сценариев пользователем вводятся параметры, то для корректности они не могут иметь пропуски, следовательно, поля таблиц исходных данных не должны иметь значения NULL (пропуски) в своих ячейках. В то же время для таблиц, которые хранят в себе данные вычислительных экспериментов (кроме идентификаторов), данного требования нет, поэтому у них нет необходимости в свойстве Mandatory (not NULL).

Таблицами, которые используются для ввода начальных данных, позволяя оценить масштаб аварии, являются две основные таблицы с исходными параметрами.

Таблица данных «Исходные данные» представляет собой наполнение данными о веществе и пара-

метрах его хранения, метеорологических условиях. С ней также связаны таблицы «Вещество», «Стратификация», «Загроможденность», которые заполнены значениями, используемыми при комбинировании исходных данных. Таблица «Вещество» имеет 25 записей различных веществ, таблица «Стратификация» имеет 6 записей, а таблица «Загроможденность» – 4. Таблица данных «Оборудование» представляет собой наполнение данными о типовом оборудовании и их свойствах.

В таблице БД ВЭ хранятся данные, полученные при моделировании в ПК ТОКСИ^{+Risk} [1]. Данные по аварии можно разделить по сценариям опасных исходов. В данной работе рассмотрены аварии, происходящие на отдельно стоящих единицах оборудования (резервуарах). В каждый исход собраны группы критериев, которые разделяют на детерминированные и вероятностные.

Клиентская часть была создана с помощью среды разработки Borland Delphi⁸ 7 на основе структурированного объектно-ориентированного языка программирования Delphi.

⁸Software tool «Delphi». Company Embarcadero, 2018. URL: <https://www.embarcadero.com/ru/products/delphi> (дата обращения: 22.03.2018).

Для ввода числовых данных используются поля типа edit, которые позволяют вводить параметры, для ввода иных элементов используются выпадающие списки Combobox.

При нажатии кнопки «Выбор сценария» происходит поиск аналогичного сценария в базе данных вычислительных экспериментов. При нахождении в

поле Мемо («белый квадрат» на рис. 4) будет отображен выбранный сценарий. Если такого сценария не существует, программа подберет сценарий с наиболее совпадающими параметрами.

При нажатии кнопки «Зоны поражения» происходит вывод значений зон поражения опасных исходов.

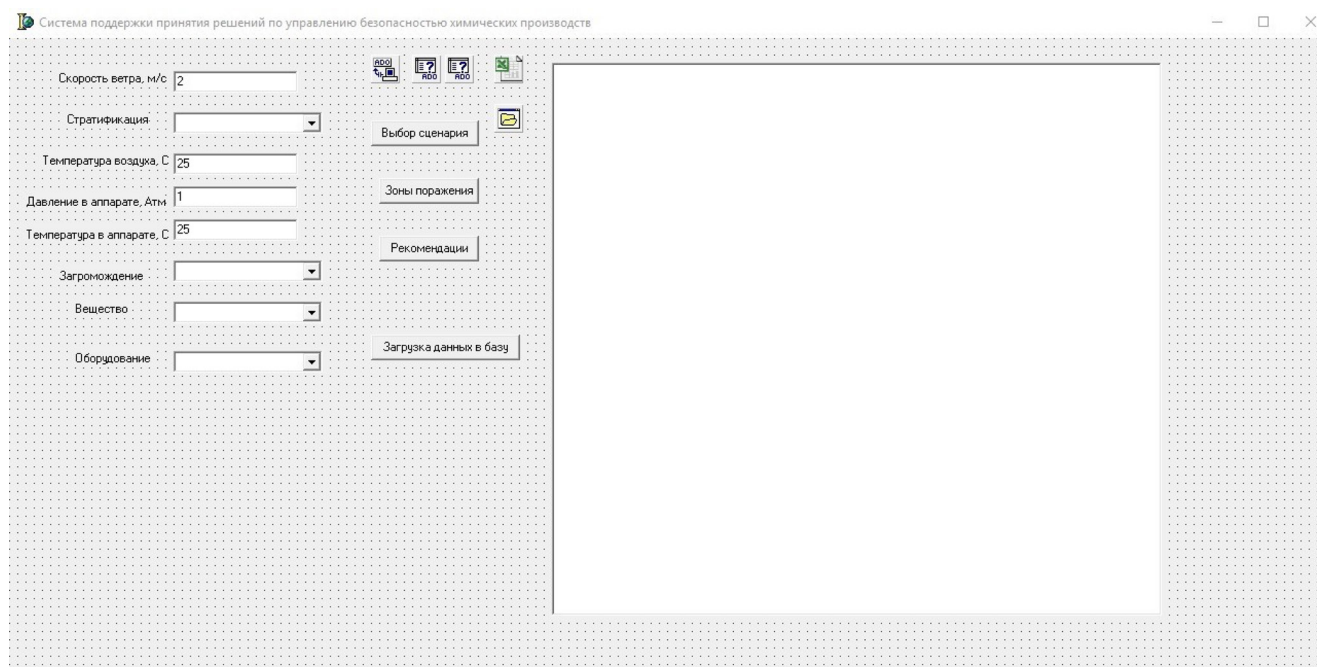


Рис. 4. Экранная форма интерфейса системы поддержки принятия решений.

На рис. 5 отображен сценарий под уникальным идентификатором 23, он имеет метки различных исходов. При наличии или отсутствии данного исхода значение варьируется от 1 до 0 соответственно. В данном примере вещество «Бутан» находится в типовом оборудовании «Цистерна для СУГ 15-1200-02» (EQUIP_ID=15) при давлении 20 атм. Результаты вычислительного эксперимента полу-

чены для сценария при скорости ветра 1 м/с, стратификации F, температура в аппарате равна температуре окружающей среды – 25 °С, пространство сильно загромождено (все вышеперечисленные данные по параметрам процесса входят в набор исходных данных INIDAT_ID=15). Токсическое поражение отсутствует, метка EXP_RAS (Рассеяние) равняется 0.

SELECT * FROM disserdb.exps WHERE EXP_ID=23 Enter a SQL expression to filter results (use Ctrl+Space)							
	123 EXP_ID	123 INIDAT_ID	123 EQUIP_ID	123 EXP_PROLIV	123 EXP_TVSP	123 EXP_VSP	123 EXP_RAS
1	23	15	15	1	1	1	0

Рис. 5. Сценарий под идентификатором № 23.

Определив наличие определенных меток исходов, программа начинает выводить из базы для пользователя значения записанных критериев (рис. 6). Как видно, сценарий токсического поражения для вещества «Бутан» отсутствует.

Получив данные значения зон поражения, необходимо выдать пользователю рекомендации к действию при аварии. Проанализировав ряд руководств по безопасности, было принято решение использовать руководство «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (см. сноску 4 на стр. 61), так как в нем явно указаны критерии

безопасного нахождения и смертельного поражения человека. На рис. 7 представлены рекомендации для вышеуказанного сценария для бутана. Вывод рекомендаций происходит на основе производственных правил. Выполняется проверка наличия критериев, описанных в руководстве, которое упоминалось выше. При наличии в БД ВЭ конкретного критерия происходит вывод пользователю его описания в виде рекомендации, основанной на тексте документа. Для отображения в удобной форме для пользователя рекомендации представляются в виде системы производственных правил, основные компоненты которой представлены в таблице.

Система поддержки принятия решений по управлению безопасностью химических производств

Скорость ветра, м/с:

Стратификация:

Температура воздуха, °C:

Давление в аппарате, Ати:

Температура в аппарате, °C:

Загромождение:

Вещество:

Оборудование:

Зоны поражения:
 Пожар пролива.
 Зона вероятностного поражения тепловым излучением 1%: 212 метров(а)
 Зона вероятностного поражения тепловым излучением 10%: 183 метров(а)
 Зона вероятностного поражения тепловым излучением 25%: 166 метров(а)
 Зона вероятностного поражения тепловым излучением 50%: 149 метров(а)
 Зона вероятностного поражения тепловым излучением 90%: 118 метров(а)
 Зона вероятностного поражения тепловым излучением 99%: 101 метров(а)
 Зона вероятностного поражения тепловым излучением 100%: 101 метров(а)
 Зона без негативных последствий в течение длительного времени: 1,4 кВт/м²: 607 метров(а)
 Зона безопасности для человека в брезентовой одежде: 4,2 кВт/м²: 354 метров(а)
 Зона непереносимой боли через 20-30 с: 7 кВт/м²: 264 метров(а)
 Зона непереносимой боли через 3-5 с: 10,5 кВт/м²: 202 метров(а)
 Зона воспламенения древесины: 13,9 кВт/м²: 165 метров(а)
 Зона воспламенения резины: 14,8 кВт/м²: 157 метров(а)
 Взрыв ТВС.
 Зона вероятностного поражения ударной волной 1%: 1076 метров(а)
 Зона вероятностного поражения ударной волной 10%: 697 метров(а)
 Зона вероятностного поражения ударной волной 25%: 561 метров(а)
 Зона вероятностного поражения ударной волной 50%: 443 метров(а)
 Зона вероятностного поражения ударной волной 90%: 308 метров(а)
 Зона вероятностного поражения ударной волной 99%: 233 метров(а)
 Зона поражения ударной волной 3 кПа: 2713 метров(а)
 Зона поражения ударной волной 5 кПа: 1312 метров(а)
 Зона поражения ударной волной 12 кПа: 591 метров(а)
 Зона поражения ударной волной 18 кПа: 331 метров(а)
 Зона поражения ударной волной 53 кПа: 227 метров(а)
 Зона поражения ударной волной 100 кПа: 162 метров(а)
 Пожар-вспышка.
 Зона поражения НКПВ/2: 397 метров(а)

Рис. 6. Интерфейс зон поражения.

Рекомендации:
 Документ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ И ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ».

Пожар пролива.
 При использовании пробит-функций в качестве зон 100 % поражения принимаются зоны поражения, где значение пробит-функции достигают величины, соответствующей вероятности 90 %. Немедленно покиньте 118 метровую зону поражения.

В качестве зон безопасных с точки зрения воздействия поражающих факторов принимаются зоны поражения, где значение пробит-функции достигают величины, соответствующей вероятности 1 %. Для безопасности достигните 212 метрового расстояния от единицы оборудования.

Пожар-вспышка.
 Для пожара-вспышки следует принимать, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания газопаровоздушного облака, равна 1. За пределами этой зоны условная вероятность поражения человека принимается равной 0. Покиньте 397 метровую зону поражения излучением от пожара-вспышки облака ТВС.

Взрыв ТВС.
 Величина избыточного давления на фронте ударной волны $P = 5$ кПа принимается безопасной для человека. Для достижения безопасной зоны ваше расстояние от единицы оборудования должно составлять 1312 метров(а)

Воздействие на человека ударной волной с избыточным давлением на фронте $P > 120$ кПа рекомендуется принимать в качестве смертельного поражения. Необходимо покинуть 162 метровую зону полного разрушения зданий.

Рис. 7. Выданные ИМС рекомендации в случае сценария под идентификатором № 23.

Основные компоненты системы продукционных правил для управления выдачей рекомендаций разработанной ИМС на основе методического документа

Параметр	Название
Pr	Исход пожар пролива
Vs	Исход пожар-вспышка
Tv	Исход взрыв ТВС
Di	Исход рассеяния
Pr ₁	Зона вероятностного поражения тепловым излучением 1%
Pr ₉₀	Зона вероятностного поражения тепловым излучением 90%
Vs _{нкпв}	Зона поражения НКПВ/2
Tv ₅	Зона поражения ударной волной 5 кПа
Tv ₁₂₀	Зона поражения ударной волной 120 кПа
Di _p	Зона поражения по пороговой токсодозе
N	Наличие
P	Покинуть
D	Достигнуть

Для выбранного документа производственные правила системы имеют вид:

If Pr=N, then P, Pr₉₀; D, Pr₁;

If Vs=N, then P, Vs_{нкpv};

If Tv=N, then P, Tv₁₂₀; D, Tv₅;

If Di=N, then P, Di_p.

Нажатие кнопки «Загрузка данных в базу» позволяет загружать новые данные, смоделированные с помощью программного комплекса ТОКСИ^{+Risk} в базу данных вычислительных экспериментов.

Для заполнения базы данных вычислительных

экспериментов использовался программный комплекс ТОКСИ^{+Risk} версии 5.2 [1]. Вычислительные эксперименты проведены для различных веществ, для текущей тестовой базы данных было использовано девять веществ: бензин, хлор, аммиак, метанол, бутан, гексан, хлорциан, бензол, дизельное топливо. Они подобраны в целях варьирования деревьев событий, которые характеризуют возможные исходы сценария. На рис. 8 представлен ОПО, на котором размещена одна единица оборудования (звезда), и рассчитанные зоны поражения для сценария под идентификатором № 23.

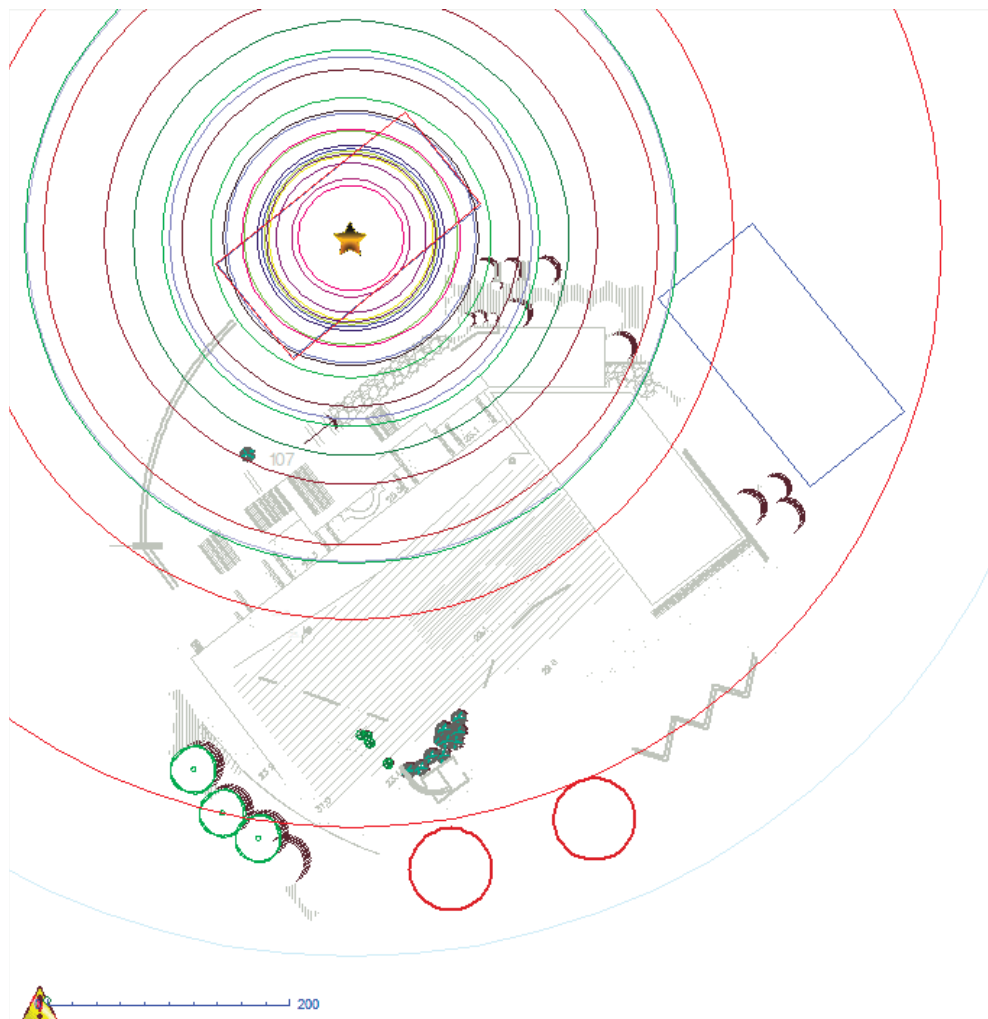


Рис. 8. Рассчитанные зоны поражения для выбранного сценария.

На текущем этапе необходим ввод исходных данных: метеопараметров, оборудования, свойств опасного вещества, выбор дерева развития аварии. При завершении ввода исходных параметров происходит расчет зон поражения при выбранных критериях.

После проведения моделирования происходит генерация файла с результатами сценария полного разрушения оборудования (рис. 9). Критерии по каждому исходу разбиты по странице и разделены на детерминированные и вероятностные.

Пожар-вспышка (методика МЧС)

Наименование площадного объекта	Наименование оборудования	Наименование состояния	Опасное вещество	Метео	Площадь пролива, м ²	Площадь отверстия, м ²	Масса, участвующая в образовании опасных факторов, кг	Радиус зоны НКПВ/2, м
новый площадной объект	Цистерна для СУГ 15-1200-02	Рабочее состояние 1	Бутан	СВ, 1 м/с, F, 25 град. С	7934.31	Полное разрушение	0	396.54

Рис. 9. Вкладка «Пожар-вспышка» для получения файла с результатами.

В итоге получен файл с зонами поражения при различных критериях расчетных методик для ввода в базу данных вычислительных экспериментов. Каждая страница файла представляет собой результаты определенного исхода. В настоящую систему внесен 51 тестовый эксперимент с различными исходными параметрами.

Выводы:

1. Проведен анализ актуальности разработки ИМС, рассмотрено современное состояние специализированных информационных технологий в России и за рубежом.
2. Разработана функциональная структура ИМС. Реализация данной системы позволяет пользователю получить рекомендации по повышению безопасности реципиентов.
3. Приведен алгоритм работы ИМС, схематично представляющий порядок взаимодействия с системой.

Список литературы:

1. Агапов А.А., Лазукина И.О., Марухленко А.Л., Марухленко С.Л., Софьин А.С. Использование программного комплекса ТОКСИ^{+RISK} для оценки пожарного риска // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 1. С. 46–52.
2. Кузнецов А.С., Корнюшко В.Ф. Интеллектуальная система управления химико-технологическими процессами и структурирования многокомпонентных эластомерных композитов на основе производственной модели // Тонкие химические технологии. 2017. Т. 12. № 5. С. 88–96. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-5-88-96>
3. Соболев Е.А., Абдугалимов А.Р., Разливинская С.В., Корнюшко В.Ф. Принципы построения корпоративной информационной системы управления логистическими процессами на предприятиях нефтехимического профиля // Тонкие химические технологии. 2017. Т. 12. № 1. С. 89–95. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-1-89-95>
4. Колыбанов К.Ю. Основы построения корпоративных информационных систем экологического мониторинга предприятий химического профиля // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и хим. технология. 2008. Т. 51. № 9. С. 103–105.
5. Колыбанов К.Ю., Корнюшко В.Ф. Системный подход к разработке хранилища данных химико-технологических характеристик процессов переработки и кондиционирования радиоактивных отходов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и хим. технология. 2008. Т. 51. № 7. С. 93–96.
6. Pinoli P., Ceri S., Martinenghi D., Nanni L. Metadata management for scientific databases // Information Systems. 2019. V. 81. P. 1–20.
7. Wenjiang Chen, Hongbo Su, Yan Yong, Zhaoji Hua. Decision support system for urban major hazard installations management based on 3D GIS [Электронный ресурс]. ScienceDirect: [сайт]. 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.08.008> (дата обращения: 15.03.2019).
8. Boronovo E., Cappelli V., Maccheroni F., Marinacci M. Risk analysis and decision theory: A bridge // Eur. J. Operat. Res. 2018. V. 264. № 1. P. 280–293.
9. Сумской С.И., Агапов А.А., Софьин А.С., Сверчков

4. Разработана физическая структура базы данных ИМС, наглядно отображены взаимодействия между связанными таблицами данных системы.

5. Разработана система производственных правил для управления выдачей рекомендаций ИМС на основе методического документа.

6. Проведена программная реализация ИМС на основе клиент–серверной архитектуры информационной сети, представлен пример работы системы.

7. Проведено моделирование сценариев полного разрушения оборудования с различными исходными параметрами с помощью программного комплекса ТОКСИ^{+RISK} для заполнения серверной части ИМС.

В перспективе планируется реализация сценариев разгерметизации оборудования для учета исхода факела, добавление новых производственных правил из других нормативных документов, заполнение БД ВЭ новыми смоделированными результатами.

References:

1. Agapov A.A., Lazukina I.O., Marukhlenko S.L., Marukhlenko A.L., Sofin A.S. Using the TOXI^{+RISK} software for assessing fire risk. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* [Occupational Safety in Industry]. 2010;(1):46-52 (in Russ.).
2. Kuznetsov A.S., Kornushko V.F. Intelligent control system of chemical-technological processes of structuring of multicomponent elastomer composites based on the production model. *Tonkie Khimicheskie Tekhnologii = Fine Chemical Technologies*. 2017;12(5):88-96 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-5-88-96>
3. Sobolev E.A., Abdugaliyev A.R., Razlivinskaya S.V., Kornushko V.F. Principles of corporate information system for logistics management of petrochemical enterprises. *Tonkie Khimicheskie Tekhnologii = Fine Chemical Technologies*. 2017;12(1):89-95 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2017-12-1-89-95>
4. Kolybanov K.Yu. Principles for design of corporate information system of ecological monitoring of chemical enterprise. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology*. 2008;51(9):103-105 (in Russ.).
5. Kolybanov K.Yu., Kornushko V.F. Systematic approach to development of data storage of chemical-technological characteristics of recycling processes and air conditioning of radioactive waste. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology*. 2008;51(7):93-96 (in Russ.).
6. Pinoli P., Ceri S., Martinenghi D., Nanni L. Metadata management for scientific databases. *Information Systems*. 2019;81:1-20.
7. Wenjiang Chen, Hongbo Su, Yan Yong, Zhaoji Hua. Decision support system for urban major hazard installations management based on 3D GIS. ScienceDirect. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.08.008> (accessed March 15, 2019).
8. Boronovo E., Cappelli V., Maccheroni F., Marinacci M. Risk analysis and decision theory: A bridge. *Eur. J. Operat. Res.* 2018;264(1):280-293.
9. Sumskey S.I., Agapov A.A., Sofin A.S., Sverchkov

ков А.М., Егоров А.Ф. Моделирование аварийных утечек на магистральных нефтепроводах // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 50–53.

10. Агапов А.А., Хлобыстова И.О., Марухленко С.Л., Марухленко А.Л., Софьян А.С. Программно-аппаратный комплекс «ТОКСИ^{МЕТЕО}» для оценки последствий возможных аварий с учетом данных о текущих погодных условиях // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 1. С. 22–25.

11. Банников В.В., Савицкая Т.В. Информационно-моделирующая система поддержки принятия решений по управлению безопасностью химических производств // Успехи в химии и хим. технологии. 2017. Т. 31. № 8. С. 16–18.

A.M., Egorov A.F. Modelling of emergency leaks on the main oil pipelines. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* [Occupational Safety in Industry]. 2014;(9):50-53 (in Russ.).

10. Agapov A.A., Khlobystova I.O., Marukhlenko S.L., Marukhlenko A.L., Sofin A.S. “TOXI^{METEO}” software and hardware complex for assessment of the consequences of possible accidents taking into account data on current weather conditions. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* [Occupational Safety in Industry]. 2011;(1):22-25 (in Russ.).

11. Bannikov V.V., Savitskaya T.V. Safety decision support information-modeling system of chemical industry. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Journal Advances in Chemistry and Chemical Technology]. 2017;31(8):16-18 (in Russ.).

Об авторах:

Банников Владимир Валерьевич, аспирант кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (125047, Россия, Москва, Миусская площадь, д. 9).

Савицкая Татьяна Вадимовна, доктор технических наук, профессор кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (125047, Россия, Москва, Миусская площадь, д. 9). E-mail: savitsk@muctr.ru

About the authors:

Vladimir V. Bannikov, Postgraduate Student of the Chair of Computer's Integrated Systems in Chemical Technology, D. Mendelev University of Chemical Technology of Russia (9, Miusskaya pl., Moscow 125047, Russia).

Tatyana V. Savitskaya, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Chair of Computer's Integrated Systems in Chemical Technology, D. Mendelev University of Chemical Technology of Russia (9, Miusskaya pl., Moscow 125047, Russia). E-mail: savitsk@muctr.ru.

Для цитирования: Банников В.В., Савицкая Т.В. Разработка информационно-моделирующей системы поддержки и принятия решений по управлению безопасностью химических производств // Тонкие химические технологии. 2019. Т. 14. № 4. С. 59–68. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-59-68>

For citation: Bannikov V.V., Savitskaya T.V. The development of a decision support information-modeling system for safety in the chemical industry. *Tonkie Khimicheskie Tekhnologii = Fine Chemical Technologies*. 2019;14(4):59-68 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-4-59-68>