

Анализ риска

УДК 621.72:621.532.3.656.08

© Коллектив авторов, 2011

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСАМ ТОКСИ+ И PHAST



М.В. Лисанов,
д-р техн. наук,

(ЗАО НТЦ ПБ)



К.В. Ефремов,
мл. науч. сотрудник



С.И. Сумской,
канд. техн. наук
(АНО «Агентство ис-
следований промыш-
ленных рисков»)



В.А. Пантелеев,
канд. физ.-мат. наук
(ООО «Институт Ри-
ска и Безопасно-
сти»)

The article presents the comparative analysis of the calculations of the consequences of emergency discharge of dangerous substances made according to the software products TOXI+, TOXI+^{Risk} developed by the specialists of the Closed Stock Company STC IS, and PHAST, SAFETI, developed by the firm Det Norske Veritas.

Ключевые слова: ТОКСИ, DNV, аварийный выброс, взрыв, зоны поражения, рассеяние, дрейф облака топливно-воздушной смеси.

Повышение достоверности и точности моделей, методик и созданных на их основе программных комплексов по оценке риска — одно из направлений совершенствования практических работ по декларированию промышленной и пожарной безопасности. В отличие от требований к оценке пожарного риска (п. 5 постановления Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272), фактически запрещающих использование не только зарубежных методик и программных комплексов, но и ряд российских методических документов (РД-03-26—2007, СТО Газпром 2-2.3-400—2009 и др.), положения п. 42 РД-03-14—2005 позволяют применять при разработке деклараций промышленной безопасности любые обоснованные модели и методы расчета. Очевидно, одним из основных критериев обоснованности методик и программных продуктов должны быть результаты их верификации с другими программами, данными экспериментов и результатами расследования аварий, как это было сделано при разработке РД-03-26—2007 [1–5], в последующих работах [6–8].

В настоящей статье приводится сравнительный анализ программных комплексов PHAST и ТОКСИ+.

Программный продукт PHAST (интерфейс отображен на рис. 1) и его версия для оценки риска SAFETI (PHAST RISK), разработанные международной фирмой Det Norske Veritas (DNV), широко используются для количественной оценки риска в нефтегазовой и химической промышленности более 20 лет. В настоящее время число пользователей PHAST — свыше 450 организаций во всем мире, SAFETI (PHAST RISK) — свыше 150. В России программные продукты DNV впервые появились в результате реализации проекта ТАСИС «Поддержка усилий МЧС России по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и повышению готовности» (2000–2001 гг., FINRUS 9806) [9]. В России программы DNV успешно применялись для разработки деклараций промышленной безопасности, паспортов безопасности опасных объектов и другой проектной документации.

Программный комплекс ТОКСИ+ (и его версия ТОКСИ+^{Risk} для оценки риска), разработанный спе-

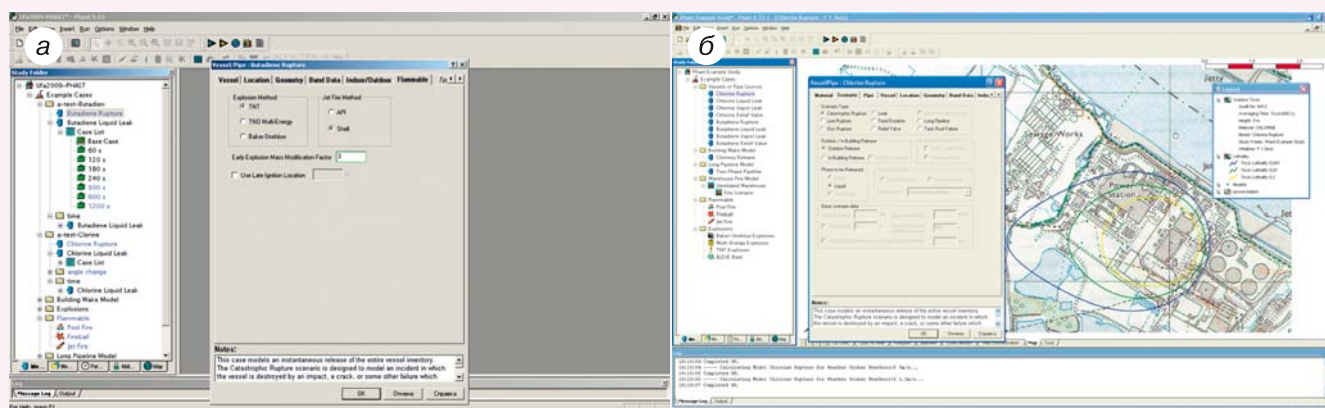


Рис. 1. Интерфейс PHAST:

а — окно ввода параметров расчета; б — зоны поражения на плане опасного производственного объекта

циалистами ЗАО НТЦ ПБ успешно используют более 250 крупных российских и зарубежных организаций нефтегазового профиля и организаций, специализирующихся в области анализа риска. Интерфейс программного комплекса ТОКСИ+Risk представлен на рис. 2. В ТОКСИ+ запрограммированы действующие российские методики Ростехнадзора и МЧС России для расчета последствий аварий и оценки показателей риска, в том числе и пожарного, с возможностью расчета времени эвакуации и т.д. [10].

Сравнение различных версий программ ТОКСИ+ и PHAST приведено в табл. 1. Из нее видно, что сравниваемые в данной работе программы по возможностям расчета основных явлений при авариях и показателей риска практически совпадают. Исключение составляют: в программах PHAST — отсутствие методик расчета вероятности эвакуации, в ТОКСИ+ — отсутствие метода расчета поражения от ударной волны при огненном шаре и физическом взрыве (как малозначимые при реальных авариях).

В программных продуктах PHAST для оценки масштабов последствий аварий использованы широко известные в мире методики для отдельных явлений: взрывов топливно-воздушной смеси, огненных шаров и струй (в основном разработанных фирмами Shell и TNO). Для этих методик накоплено большое количество материалов по теоретической базе и верификации с экспериментальными данными [11–13].

Стоит отметить, что сравнение программ более ранних версий ТОКСИ+ и PHAST уже проводилось [2]. В результате было отмечено единство подходов к применению этих программных средств к оценке риска и удовлетворительное согласие в расчетах типовых сценариев. Ниже представлены результаты дальнейшего сравнения ТОКСИ+ и программ DNV по возможностям их использования на практике с учетом актуализации методического и программного обеспечения.

Рассмотрим модельную аварию при разгерметизации цистерны (аналог ЦППЗ-12-885) с 5 т сжиженного пропана. Давление внутри емкости при-

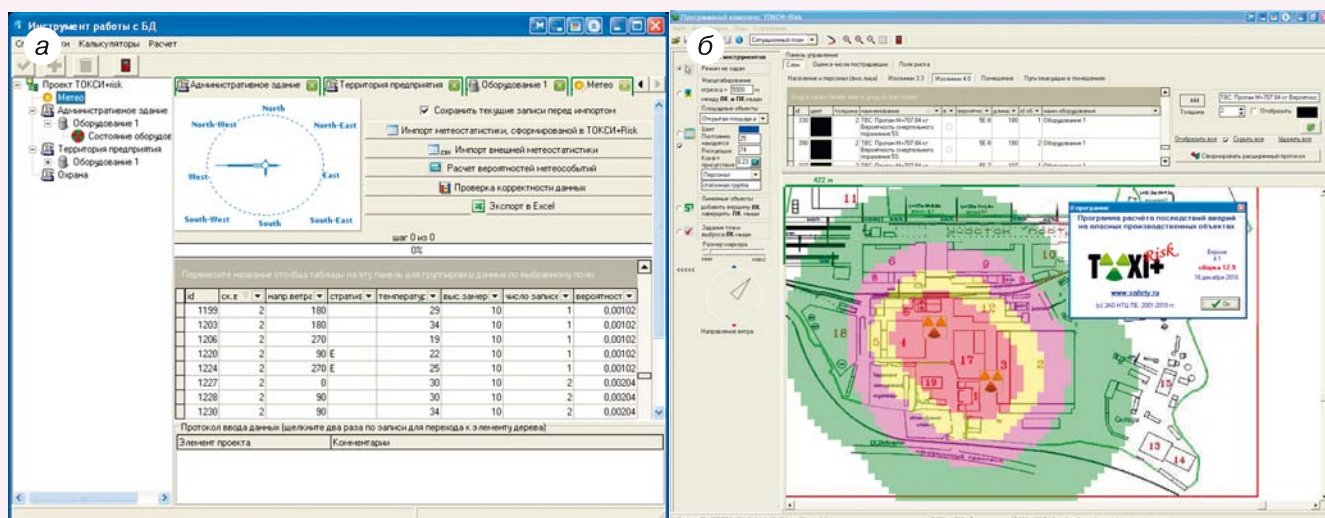


Рис. 2. Интерфейс ТОКСИ+Risk:

а — работа с массивами метеостатистики; б — управляющая оболочка в режиме построения поля риска

Таблица 1

Основные возможности	ТОКСИ+Risk	ТОКСИ+	PHAST RISK	PHAST
Расчет последствий отдельных сценариев аварии				
Оценка последствий аварийных выбросов токсичных веществ с учетом дрейфа облака	+	+	+	+
Оценка последствий аварийных выбросов горючих веществ с учетом дрейфа облака	+	+	+	+
Расчеты для опасных веществ в жидкой и газовой фазе	+	+	+	+
Расчеты для частичного и полного разрушения оборудования	+	+	+	+
Расчеты для газов как легче, так и тяжелее воздуха	+	+	+	+
Расчет последствий пожара-вспышки	+	+	+	+
Расчет интенсивности теплового излучения от факельного горения	+	+	+	+
Расчет факторов поражения ударной волной от физических взрывов	-	-	+	+
Оценка термического воздействия при пожарах пролива легковоспламеняющейся жидкости	+	+	+	+
Оценка последствий взрывов топливно-воздушных смесей	+	+	+	+
Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования огненного шара	+	+	+	+
Расчет факторов поражения ударной волной от огненного шара	-	-	+	+
Оценка максимального количества опасного вещества в облаке, ограниченном концентрационными пределами воспламенения	+	+	+	+
Нанесение зон поражения на план местности	+	+	+	+
Использование в качестве подложки ситуационного плана растровых и векторных форматов графики (bmp, jpg, wmf, AutoCAD)	+	+	+	+
Нанесение большого количества векторных слоев реципиентов с привязкой к местности	+	+	+	+
Расчет числа пострадавших	+	+	+	+
Программный подбор наиболее опасного направления ветра (с наибольшим числом пострадавших)	+	+	-	-
Построение графиков изменения значений физических величин в ходе процесса	+	+	+	+
Задание виртуальных датчиков концентраций в пространстве	+	+	+	+
Анимация процесса распространения облака газа	+	+	+	+
Экспорт результатов в формате MS Word по пользовательским шаблонам (в виде, максимально приближенном к российским требованиям)	+	+	-	-
Расчет показателей риска				
Построение поля потенциального риска (контуров риска)	+	-	+	-
Оценка индивидуального риска гибели людей в производственных зданиях при пожаре (расчет вероятности эвакуации)	+	-	-	-
Оценка показателей риска для наружных установок	+	-	+	-
Построение F/N-кривой	+	-	+	-
Учет реальных массивов метеоданных	+	-	+	-

Примечание. Символ «+» — возможность представлена; «-» — возможность не представлена.

нимаем равным давлению насыщенных паров при температуре 20 °С — 0,86 МПа; диаметр отверстия истечения 20 мм. Расчет проведен для двух классов устойчивости атмосферы: 2F (инверсия, скорость ветра 2 м/с) и 5D (изотермия, скорость ветра 5 м/с). Пролив произошел на свободной бетонной поверхности, облако распространяется в условиях пригорода (деревья, заборы, редкие здания).

На рис. 3 представлены рассчитанные по PHAST и ТОКСИ+ зоны с нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПВ) 1 и 0,5 НКПВ 2. Распределение концентраций приведены для максимальных размеров облаков. Как видно, распределение концентраций по PHAST имеет более плавный вид, но максимальные размеры облаков в границах

НКПВ и 0,5 НКПВ, рассчитанные по обеим программам, находятся в удовлетворительном согласии (табл. 2). Стоит отметить, что форма облака, схожая с приведенной на рис. 3, б, также получается по модели рассеяния Shell [14] и хорошо согласуется с экспериментальными данными по рассеянию пропана Health and Safety Laboratory (HLS) [15]. При скорости ветра 2 м/с дальность дрейфа, рассчитанная по ТОКСИ+, на 20–43 % больше, чем рассчитанная по PHAST, а при скорости ветра 5 м/с наоборот, дальность дрейфа, рассчитанная по ТОКСИ+, на 24 % меньше.

Для дальнейшего сравнения было решено смоделировать по PHAST реальную аварию с выбросом токсического вещества (хлора), по которой уже про-

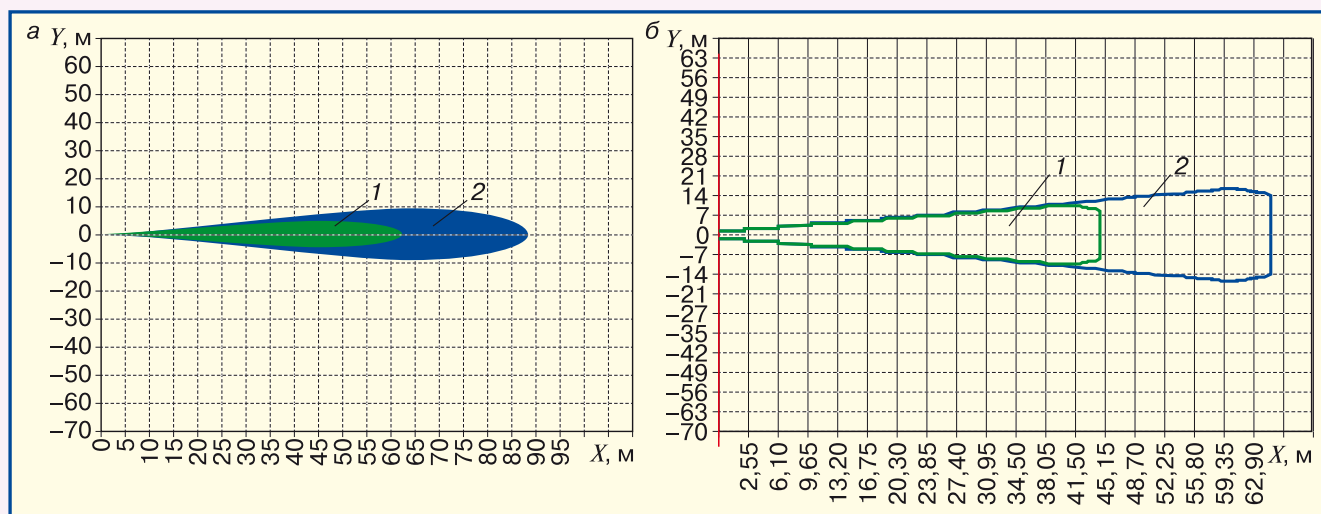


Рис. 3. Расчетные зоны концентраций для класса устойчивости атмосферы 5D:

а — PHAST; б — ТОКСИ+

Таблица 2

Программный комплекс	Протяженность зоны по направлению ветра, м			
	НКПВ		0,5 НКПВ	
	2F	5D	2F	5D
PHAST	81	62	104	88
ТОКСИ+	97	47	149	67

водилась верификация методики РД-03-26—2007. Начальные данные и допущения, использованные при моделировании данной аварии, подробно описаны в работе [6], и именно они были применены в качестве исходных параметров для расчетов.

Ниже представлены результаты сравнения расчетов с данными аварии при обращении с хлором (6 января 2005 г., Грэнитвилль, США, штат Южная Каролина) [6, 16]. Согласно описанию аварии при ночном столкновении двух поездов на железной дороге произошло разрушение цистерны, содержащей 82 т сжиженного хлора. Сцепкой соседнего вагона пробито отверстие около 90 см в длину и примерно 15 см в ширину. Облако хлора, по сообщению очевидцев, было низкостелюющим и вытянутым по направлению ветра на 825 м, против ветра на 300 м и в боковом направлении на 330 м. Из расследования [16] известно, что в результате аварии погибли 9 человек, за медицинской помощью обратились 554 человека.

Расчетные зоны вероятностей смертельного поражения людей при выбросе хлора, выполненные по PHAST при скорости ветра 1 м/с (рис. 4, а) и 2 м/с (рис. 4, в), а также по ТОКСИ+ при скорости ветра 1 м/с (рис. 4, б) и 2 м/с (рис. 4, г), подобны. Данные по количеству пострадавших дают удовлетворительное согласие (учитывая неопределенность информации по аварии). Размеры зон вероятностей поражения, полученные по PHAST, несколько больше по сравнению с данными по ТОКСИ. Результаты

расчетов обобщены в табл. 3. Из нее следует удовлетворительное согласие по размерам зон поражения в направлении ветра: расхождение для скорости ветра 1 м/с не более 25 % (для вероятности гибели 90 %) и не более 33 % (для вероятности гибели 50 %), для скорости ветра 2 м/с не более 7 % (для вероятности гибели 90 %) и не более 11 % (для вероятности гибели 50 %); а также удовлетворительное согласие по максимальной ширине зон поражения: расхождение для скорости ветра 1 м/с не более 30 % (для вероятности гибели 90 %) и не более 24 % (для вероятности гибели 50 %), для скорости ветра 2 м/с не более 20 % (для вероятности гибели 90 %) и не более 14 % (для вероятности гибели 50 %).

Что касается сравнения по количеству погибших, то здесь тоже наблюдается удовлетворительное согласие, однако стоит заметить, что восемь из девяти погибших находились внутри помещений.

Можно полагать, что такое согласие обусловлено тем, что в этих программах используются модели и методики, адекватно описывающие происходящие физические процессы, в том числе модель рассеяния тяжелого газа.

Выводы

1. Программные комплексы ТОКСИ+ и PHAST предназначены для решения задач по количественному анализу риска аварийных выбросов опасных веществ и имеют схожие возможности для расчета основных физических эффектов и показателей риска, связанных с тепловым, барическим и токсическим поражением людей при авариях.

2. Результаты расчета размеров зон вероятности поражения при выбросах горючих и токсичных веществ, в том числе при сравнении с данными реальной аварии с хлором, по этим двум программным комплексам имеют удовлетворительное согласие.

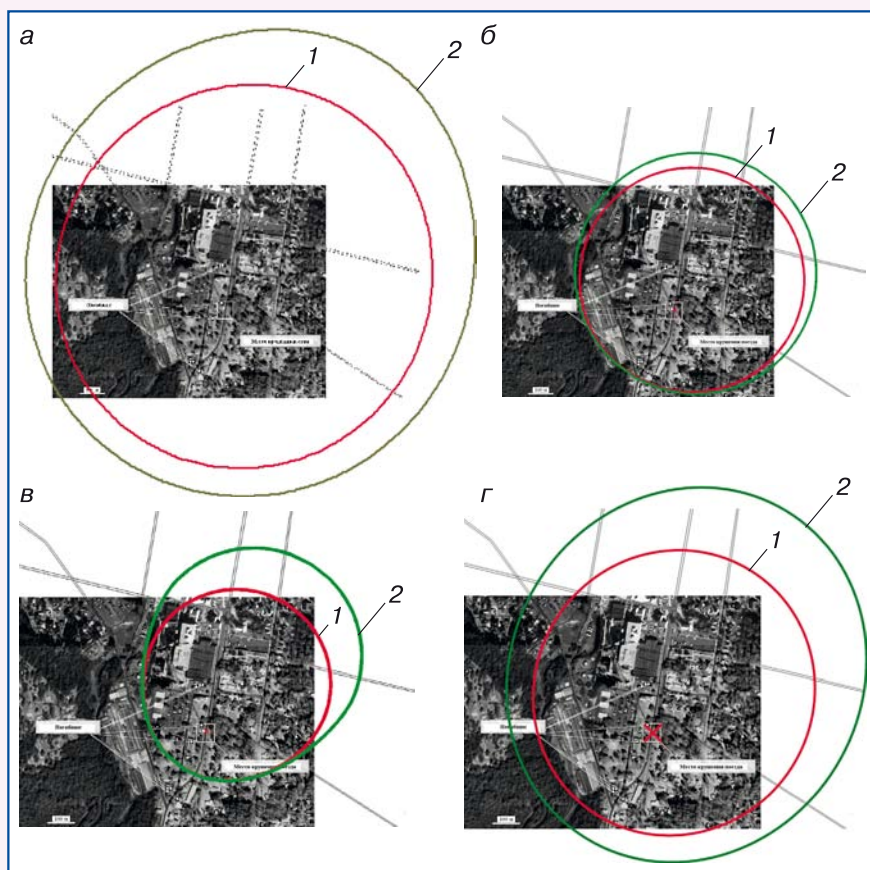


Рис. 4. Расчетные зоны вероятности смертельного поражения людей при выбросе хлора:

1, 2 — вероятность гибели соответственно 90 и 50 %

Таблица 3

Программный комплекс	Протяженность зоны по направлению ветра, м		Максимальная ширина облака, м	
	1F	2F	1F	2F
Вероятность гибели 90 %				
PHAST	785	596	1398	834
ТОКСИ+	588	557	987	671
Вероятность гибели 50 %				
PHAST	986	820	1645	898
ТОКСИ+	652	730	1242	770

Список литературы

1. *Верификация методик для расчета рассеяния токсических выбросов*/ С.А. Губин, И.В. Маклашова, С.М. Лыков и др.// Химическая промышленность. — 1999. — № 10. — С. 58–66.
2. *Пантелеев В.А., Пчельников А.В., Сумской С.И.* Об опыте применения программного обеспечения Det Norske Veritas (DNV) PHAST-SAFETI для оценки риска промышленных объектов в России// Тез. докл. тематического семинара «Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах», 14–15 окт. 2003 г. — М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — С. 87–92.
3. *Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеяния тяжелого газа*/ А.А. Шаталов, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин и др.// Безо-

пасность труда в промышленности. — 2004. — № 9. — С. 46–52.

4. *Верификация методик оценки последствий аварийных выбросов газа от источников продолжительного действия*/ С.И. Сумской, А.В. Пчельников, М.В. Лисанов и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2005. — № 8. — С. 28–35.

5. *Пчельников А.В., Лисанов М.В., Сумской С.И.* Моделирование рассеяния выбросов опасных веществ в атмосфере// Российский химический журнал. — 2005. — Т. XLIX. — № 4. — С. 18–28.

6. *Сравнение результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий*/ С.И. Сумской, К.В. Ефремов, М.В. Лисанов, А.С. Софьин// Безопасность труда в промышленности. — 2008. — № 10. — С. 42–50.

7. *Методы и методики оценки последствий промышленных аварий*// Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 12. — С. 62–63.

8. *Методы и методики оценки последствий промышленных аварий: Отчетные информ. материалы 19-го науч. семинара «Промышленная безопасность»*, 22 нояб. 2010 г. — URL: http://www.riskprom.ru/publ/19_metody_i_metodiki_ocenki_posledstvij_promyshlennykh_aviarij_22_nojabrja_2010/11-1-0-182 (дата обращения: 14.02.2011).

9. *Использование европейского опыта с целью предупреждения и ликвидации ЧС техногенного характера в России.* По материалам проекта Finrus 9806. — М.: Минпромнаука России, РАН, 2002. — С. 242.

10. *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. 44–50.

11. *Witlox H.W.M.* Unified Dispersion Model (UDM). Theory Manual. Consequence Modelling Documentation (UDM Version 6.0, January 2000). — 119 p.

12. *Witlox H.W.M., Holt Adrian.* Unified Dispersion Model, Verification Manual. Consequence Modelling Documentation (UDM Version 6.0, January 2000). — 140 p.

13. *JFSH (Jet fire)* Theory document, DNV software. — 2005. — 53 p.

14. *Shell PRTLite* Technical Guide (Version 1.0). — 2001. — 31 p.

15. *Butler C.J., Royle M.* Experimental Data Acquisition for validation of a new vapour cloud fire (VCF) modeling approach. Report HSL. — Baxton: HSL, 2000.

16. *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. NTSB/RAR-05/04 PB2005-916304 Notation 7710A 490, 2005.

risk@safety.ru