

УДК 658.345.3:665.63

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА TOXI<sup>+Risk</sup>**

*канд. хим. наук, доц. С.В. ПОКРОВСКАЯ; канд. техн. наук Ю.А. БУЛАВКА; Д.В. ГАЛКИНА  
(Полоцкий государственный университет)*

*Представлены результаты сравнительного анализа данных, полученных в ходе моделирования последствий аварий на объектах нефтеперерабатывающей промышленности с использованием программного комплекса TOXI<sup>+Risk</sup>. Показаны возможности программного комплекса решать задачи оценки последствий аварий на опасных производственных объектах на основе построения дерева событий развития сценариев аварий при разрушении аппарата и расчета коллективного и индивидуального рисков смертельного поражения людей в результате крупных аварий. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования при разработке деклараций промышленной безопасности, планов по предупреждению и ликвидации аварий, выполнении обязательств по страхованию гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии, обосновании взрывобезопасных расстояний и безопасности опасных производственных объектов.*

**Ключевые слова:** *опасные производственные объекты нефтеперерабатывающей промышленности, моделирование аварий, статистический анализ, программный комплекс TOXI<sup>+Risk</sup>.*

**Введение.** Риск возникновения аварийных ситуаций необходимо оценивать: при разработке деклараций промышленной безопасности для опасных производственных объектов (ОПО); проектировании производственных объектов, на которых получают, используют, перерабатывают опасные вещества, а также объектов, на которых такие вещества образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются; составлении планов по предупреждению и ликвидации аварий; выполнении обязательств по страхованию гражданской ответственности владельца ОПО за причинение вреда в результате аварии на ОПО.

От величины риска зависят эффективность превентивных мероприятий, размер и оптимальность распределения денежных средств, направляемых на уменьшение и предупреждение возможных аварий [1]. Современным инструментальным средством поддержки проведения исследовательских работ в области оценивания техногенного риска и безопасности ОПО является программный комплекс автоматизированного моделирования и расчета TOXI<sup>+Risk</sup>, способный решать задачи оценки последствий аварий на основе построения дерева событий [2].

Обеспечение безопасности функционирования нефтеперерабатывающих предприятий, эксплуатация которых осуществляется с повышенным риском аварий, связанных с процессами транспортировки, хранения, переработки углеводородного сырья, нефти и нефтепродуктов, и которые, как правило, сопровождаются разрушением аппаратов и целых установок вследствие пожаров, взрывов, – фундаментальная проблема современности [3].

Выбор в качестве объекта исследования ОАО «Нафтан» открывает широкие возможности для моделирования последствий гипотетических аварий, что обусловлено одновременным присутствием различных видов опасности: большим количеством нефтепродуктов в системе, обладающих взрыво- и пожароопасностью; использованием высокого давления и высокой температуры в аппаратах; токсическими свойствами газов и паров продуктов переработки.

Целью данного исследования является анализ результатов моделирования последствий аварий (величин коллективного и индивидуального риска, зон действия основных поражающих факторов), возникающих в результате разгерметизации оборудования на основных установках ОАО «Нафтан» с использованием программного комплекса TOXI<sup>+Risk</sup>.

**Методы исследований.** Величину риска аварий для людей, обслуживающих ОПО, рассчитывали с использованием программного комплекса TOXI<sup>+Risk</sup>, разработанного российской организацией ЗАО «НТЦ «Промышленная безопасность»», на основании построения деревьев отказа и деревьев событий, характеризующих зарождение и развитие аварийной ситуации, а также вероятность их реализации. При помощи ряда программных модулей, включенных в состав программного комплекса TOXI<sup>+Risk</sup>, выполнялся расчет показателей коллективного и индивидуального риска на территории ОПО в соответствии с [4–6]; моделирование взрывов облаков топливно-воздушной смеси (ТВС) и определение зон поражения людей и повреждения зданий в результате взрывов облаков ТВС осуществлялось в соответствии с [7]; расчет последствий теплового воздействия от огненного шара выполнялся в соответствии с [8]; расчет зон возможного поражения осколками при аварийном разрушении емкостного оборудования – в соответствии с [9].

**Результаты и их обсуждение.** Ряд технологических установок нефтеперерабатывающего предприятия ОАО «Нафтан» согласно Закону Республики Беларусь от 10 января 2000 года № 363-З «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» относятся к *опасным производственным объектам* вследствие использования оборудования, работающего под давлением более 0,07 МПа, а также применения воспламеняющихся, горючих и высокотоксичных веществ.

С целью оценки апостериорного риска развития аварийной ситуации выполнен анализ состояния промышленной безопасности на ОАО «Нафтан». Изучены архивные материалы и статистическая отчетность за период с 1967 по 2015 год. На рисунке 1 представлена динамика объема первичной переработки нефти и числа аварий и инцидентов на ОАО «Нафтан». За указанный период на заводе произошло 5 аварий и 614 инцидентов (к инцидентам относятся отказы, повреждения и нарушения) [10; 11].

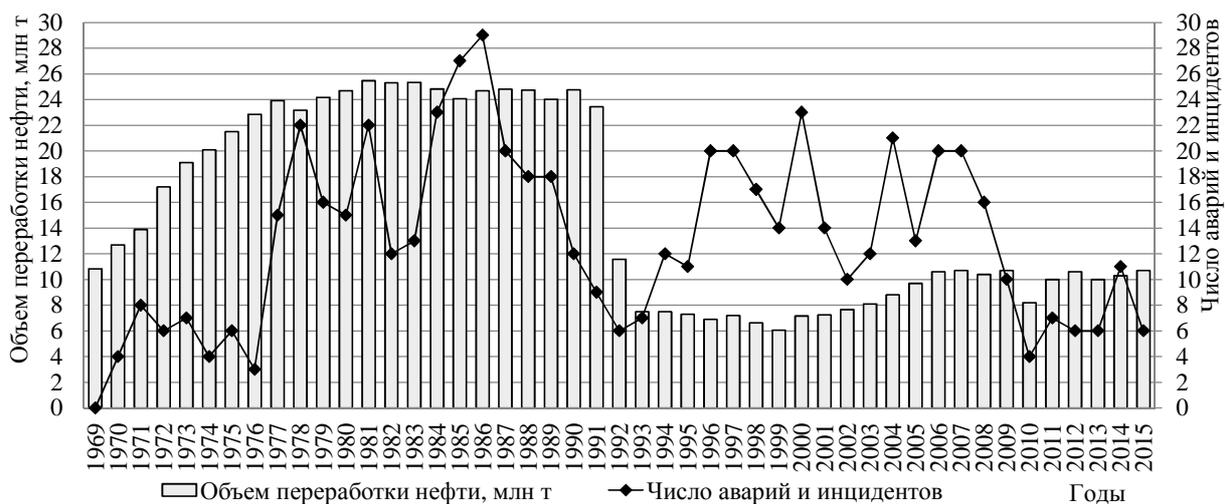


Рисунок 1 – Динамика объема первичной переработки нефти и числа аварий и инцидентов

Результаты выполненного ретроспективного анализа причин аварий и инцидентов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика причин аварий и инцидентов на ОАО «Нафтан»

Причины аварий и инцидентов	% от числа аварий и инцидентов за период (гг.)					
	1970–1979	1980–1989	1990–1999	2000–2009	2010–2015	1967–2015
Нарушение правил технологического регламента, требований инструкций, ошибочные действия	46,15	27,92	24,22	17,61	4,55	24,51
Выход из строя и износ оборудования	4,40	24,87	18,75	13,21	11,36	15,68
Неудовлетворительное техническое состояние электрооборудования	4,40	15,74	10,16	25,16	4,55	13,70
Коррозии и эрозии оборудования	2,20	4,57	7,03	6,29	15,91	5,63
Неисправность приборов КИП и А	6,59	2,03	7,81	6,92	6,82	5,18
Некачественный монтаж и ремонт оборудования	8,79	8,12	3,13	1,89	2,27	4,87
Природные явления	3,30	4,57	3,91	6,92	2,27	4,41
Повреждение уплотнений	6,59	4,06	3,91	5,03	4,55	4,41
Прогар труб в печах из-за местного перегрева и отложений кокса	4,40	3,05	3,13	2,52	13,64	3,65
Конструктивные недостатки	6,59	3,05	1,56	2,52	6,82	3,20
Низкое качество сварных швов	–	4,06	2,34	1,26	9,09	2,59
Подрыв пружинного предохранительного клапана	2,20	2,03	2,34	1,26	6,82	2,13
Переполнение емкостей, резервуаров и промканализации	4,40	3,05	0,78	1,26	–	2,13
Пробки, попадание твердых частиц, накопление смолистых соединений	3,30	1,02	2,34	3,14	–	1,98
Гидроудар, попадание жидкости в цилиндр компрессора	–	0,51	2,34	2,52	2,27	1,37
Проектные недоработки процесса	1,10	1,02	2,34	0,63	–	1,07
Самовоспламенение веществ	1,10	–	4,69	–	–	1,07
Прочие	2,20	1,02	2,34	3,14	9,09	2,44

Из таблицы 1 видно, что наиболее частыми причинами аварий и инцидентов (около 30% от общего числа) являются причины, связанные с «человеческим фактором», а именно: неквалифицированные и ошибочные и несогласованные действия персонала; ошибочная передача команды; некачественные монтаж и проведение ремонтных работ; нарушение инструкции или проекта; проведение огневых работ на неподготовленном месте. Однако отмечается тенденция к снижению аварий и инцидентов, обусловленных данными причинами, за десятилетние периоды наблюдения. На втором и третьем ранговых местах находятся причины, связанные с выходом из строя оборудования вследствие его физического износа и обусловленные сбоями электроснабжения вследствие короткого замыкания и повреждения изоляции питающих кабелей. Кроме того, замечена динамика роста числа аварий и инцидентов в связи с неудовлетворительным техническим состоянием электрооборудования, а также с коррозией оборудования.

В ходе топографического анализа определены технологические установки с наиболее высокой частотой возникновения аварий и инцидентов. Так, 17,61% аварийных ситуаций произошли на комплексе установок первичной переработки нефти (ЭЛОУ АВТ-6, ЭЛОУ АВТ-2, АТ-3, АТ-8, ВТ-1, «Ректификация» и др.); 13,57% – на установках каталитического риформинга; 12,92% – на установках гидроочистки топлив; 7,43 % – на комплексе «Гидрокрекинг» и установке мягкого гидрокрекинга; 6,46% – на комплексе установок по получению индивидуальных ароматических углеводородов (выделение суммарных ксилолов, «Таторей», «Детол»; изомеризация ксилолов; получение параксилола, ортоксилола, псевдокумола, этилбензол и др.); 5,82% – в цеху электроснабжения; 5,49% – в товарно-сырьевом цеху; по 2,75% на установках получения присадок, серной кислоты и в блоке оборотной воды; 2,42% – на установке Висбрекинг-Термокрекинг. Среди отдельных установок производств смазочных масел и битумов по частоте возникновения аварий и инцидентов выделяются: установка деасфальтизации (3,23%), установка депарафинизации масел (2,42%), установки селективной очистки масел (1,94%) и производства битумов (1,62%).

С целью оценки априорного риска проанализировали вероятности развития нежелательных сценариев, приводящих к негативным последствиям. В качестве исходного события принимали разгерметизацию технического устройства (аппарата). Вероятность развития каждого сценария рассчитана на основании построенных деревьев событий, представленных на рисунке 2.

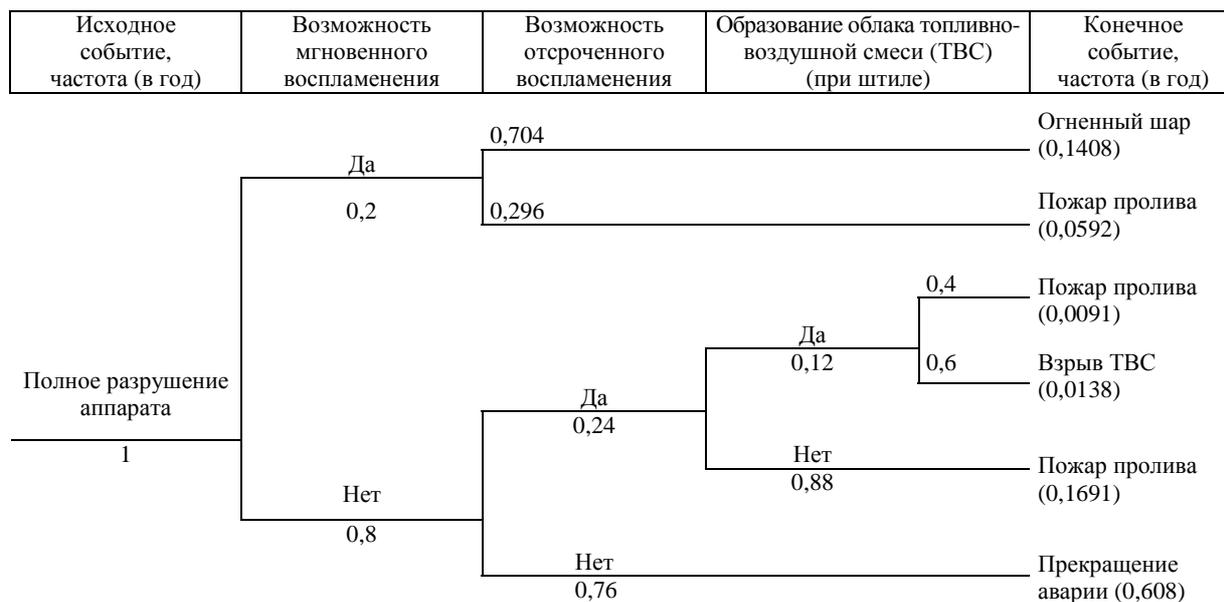


Рисунок 2 – Дерево событий развития сценариев аварии при разрушении аппарата

Технологические процессы ведутся в закрытых герметичных аппаратах, что исключает выделение опасных веществ в атмосферу при нормальной работе установки (цеха). Любые нарушения технологического режима при обслуживании технологического оборудования могут привести к разгерметизации оборудования с последующим выбросом нефтепродуктов, растворителей и других вредных веществ. Последствиями разгерметизации могут быть: пожар пролива, факельное горение, «огненный шар», дефляция, детонационный взрыв, токсическая волна, формирование возможной взрывоопасной зоны.

*Взрывы топливно-воздушной смеси* представляют значительную опасность. Воздействие ударной волны может привести к сильному разрушению оборудования, трубопроводов и травмированию людей. *Огненный шар* представляет опасность смертельных ожогов. *Пожары проливов* в силу больших площадей пролива – опасность в основном как очаги возникновения крупных аварий. *Токсическая волна* – опасность острого отравления персонала. *Возможная взрывоопасная зона*, образующаяся при разрушении оборудо-

вания и дрейфе облака углеводородных газов и паров, может выходить за пределы установок и при наличии источника воспламенения приводить к взрыву. Подобные аварийные ситуации могут привести к огромным разрушениям и многочисленным человеческим жертвам, а также способствовать загрязнению значительных территорий предприятия и выйти за его границы.

Выполнено моделирование аварийных ситуаций, возникающих в результате разгерметизации оборудования на основных установках ОАО «Нафтан» с последующей оценкой индивидуального и коллективного риска с использованием программного комплекса  $TOXIT^{+Risks}$ , результаты расчетов представлены в таблице 2. Для каждой установки рассмотрены несколько единиц оборудования, выбор которого основан на количестве опасных веществ, их физико-химических свойствах, технологических параметрах. Для каждой единицы оборудования рассчитана вероятность разгерметизации с полным его разрушением на основании построенных деревьев отказа. При оценке возможных последствий аварий определены вероятные зоны действия поражающих факторов: возможная взрывоопасная зона ( $R_{\text{взрывоопас. зона}}$ , м), радиус поражения человека ожогами от воздействия огненного шара ( $R_{\text{огн.шар}}$ , м) и радиус травмирования людей и повреждения остекления от взрывов газозвоздушных смесей ( $R_{\text{взрыв ГВС}}$ , м).

Под коллективным риском ( $R_{\text{кол}}$ , чел./год) понимают ожидаемое количество пораженных (смертельно) в результате возможных аварий за определенный период времени, а индивидуальным риском ( $R_{\text{инд}}$ , год<sup>-1</sup>) – частоту поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности аварий. В общем случае количественно индивидуальный риск выражается отношением числа пострадавших людей к общему числу рискующих в течение 1 года.

Таблица 2 – Результаты моделирования последствий аварий на основных установках ОАО «Нафтан»

Наименование установки	$\frac{R_{\text{инд}}, \text{год}^{-1}}{R_{\text{кол}}, \text{чел./год}}$	Последствия разгерметизации, м	Вероятность возникновения аварий (максимальная вероятность разгерметизации единицы оборудования), 1/год
1	2	3	4
1. Установка ЭЛОУ АВТ-2	$\frac{6,40 \cdot 10^{-5}}{1,20 \cdot 10^{-8}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1301$ $R_{\text{огн.шар}} - 288,9$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 216$	Электродегидратор ( $6,0 \cdot 10^{-6}$ ), отбензинивающая колонна ( $3,4 \cdot 10^{-6}$ ), вакуумная колонна ( $2,6 \cdot 10^{-6}$ )
2. Установка ЭЛОУ АВТ-6	$\frac{7,44 \cdot 10^{-5}}{9,48 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1980,5$ $R_{\text{огн.шар}} - 423,9$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 423$	Электродегидратор ( $4,1 \cdot 10^{-6}$ ), резервуар ( $8,8 \cdot 10^{-5}$ )
3. Установка каталитического риформинга ЛЧ-35-11/600	$\frac{1,10 \cdot 10^{-7}}{3,88 \cdot 10^{-10}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1290,3$ $R_{\text{огн.шар}} - 284,5$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 276$	Реактор гидроочистки ( $4,2 \cdot 10^{-5}$ ), реактор риформинга ( $4,3 \cdot 10^{-5}$ ), резервуар ( $2,4 \cdot 10^{-5}$ )
4. Установка гидроочистки топлив № 4	$\frac{1,91 \cdot 10^{-6}}{6,69 \cdot 10^{-8}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1388,9$ $R_{\text{огн.шар}} - 593,3$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 275$	Реактор ( $6,2 \cdot 10^{-5}$ ), резервуар ( $7,7 \cdot 10^{-6}$ )
5. Установка выделения суммарных ксилолов	$\frac{1,84 \cdot 10^{-7}}{6,44 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1519,2$ $R_{\text{огн.шар}} - 330,9$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 515$	Колонны К-101, К-4, К-7 ( $6,9 \cdot 10^{-6}$ ), резервуар ( $2,0 \cdot 10^{-6}$ )
6. Установка производства бензола и ксилолов «Детол»	$\frac{5,90 \cdot 10^{-6}}{2,06 \cdot 10^{-8}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1425,5$ $R_{\text{огн.шар}} - 260,6$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 255$	Сепаратор высокого давления ( $3,2 \cdot 10^{-6}$ ), реактор очистки отбеливающими глинами ( $1,9 \cdot 10^{-6}$ ), резервуар ( $2,1 \cdot 10^{-6}$ )
7. Установка изомеризации ксилолов	$\frac{3,52 \cdot 10^{-7}}{1,23 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 366,7$ $R_{\text{огн.шар}} - 138$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 127$	Реактор ( $1,8 \cdot 10^{-6}$ ), колонны 407/101 ( $4,5 \cdot 10^{-6}$ )
8. Установка получения параксилола методом «PAREX-UOP»	$\frac{3,48 \cdot 10^{-6}}{4,22 \cdot 10^{-8}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1212,5$ $R_{\text{огн.шар}} - 241,4$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 223$	Емкость сырья ( $7,4 \cdot 10^{-5}$ ), адсорбер ( $8,3 \cdot 10^{-6}$ ), колонны рафината ( $6,2 \cdot 10^{-6}$ ), резервуар десорбента ( $8,2 \cdot 10^{-6}$ )
9. Установка производства ортоксилола	$\frac{6,27 \cdot 10^{-8}}{2,20 \cdot 10^{-11}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 5570,9$ $R_{\text{огн.шар}} - 483,1$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 480$	Колонны К-1, К-2, К-3 ( $1,8 \cdot 10^{-8}$ ), резервуар ( $1,9 \cdot 10^{-6}$ )
10. Установка «Висбрекинг Термокрекинг»	$\frac{5,41 \cdot 10^{-7}}{1,90 \cdot 10^{-10}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 998,6$ $R_{\text{огн.шар}} - 218$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 189$	Гомогенизатор сырья ( $3,8 \cdot 10^{-6}$ ), колонна ректификационная К-4 ( $1,0 \cdot 10^{-7}$ )
11. Установка изомеризации бензинов «Ренех»	$\frac{3,80 \cdot 10^{-7}}{1,33 \cdot 10^{-10}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 526$ $R_{\text{огн.шар}} - 261,6$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 285$	Реактор изомеризации ( $1,4 \cdot 10^{-7}$ ), стабилизатор ( $1,3 \cdot 10^{-7}$ )
12. Установка «Фракционирование» комплекса «Гидрокрекинг»	$\frac{8,05 \cdot 10^{-7}}{2,82 \cdot 10^{-10}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 2054,2$ $R_{\text{огн.шар}} - 474,8$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 234$	Основная фракционирующая колонна ( $3,3 \cdot 10^{-7}$ ), колонна-дебутанизатор ( $7,9 \cdot 10^{-7}$ )

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
13. Установка «Юникрекинг» комплекса «Гидрокрекинг»	$\frac{3,71 \cdot 10^{-7}}{1,24 \cdot 10^{-10}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1729,6$ $R_{\text{огн.шар}} - 154,3$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 223$	Реактор ( $7,3 \cdot 10^{-7}$ ), сепаратор ( $1,1 \cdot 10^{-7}$ )
14. Комплекс установок «Изомеризация бензиновых фракций» и «Таторей»	$\frac{6,09 \cdot 10^{-6}}{4,62 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 1280,7$ $R_{\text{огн.шар}} - 281,6$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 288$	Сепаратор высокого давления ( $1,7 \cdot 10^{-6}$ ), колонна стабилизации изомеризата ( $1,4 \cdot 10^{-5}$ ), реактор блока доочистки ( $1,3 \cdot 10^{-5}$ )
15. Установка сероочистки сухих газов и рефлюкса	$\frac{5,20 \cdot 10^{-7}}{1,73 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 3458,1$ $R_{\text{огн.шар}} - 633,6$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 268$	Емкость Е-2 ( $1,6 \cdot 10^{-7}$ ), емкость Е-3 ( $4,5 \cdot 10^{-7}$ )
16. Установка деасфальтизации гудрона пропаном	$\frac{1,40 \cdot 10^{-5}}{4,67 \cdot 10^{-8}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 4065$ $R_{\text{огн.шар}} - 380,4$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 359$	Колонны К-1 и К-2 ( $2,5 \cdot 10^{-7}$ ), испаритель Э-1 ( $3,7 \cdot 10^{-7}$ ), колонна К-9 ( $1,0 \cdot 10^{-7}$ )
17. Установка селективной очистки масел фенолом	$\frac{4,33 \cdot 10^{-6}}{3,87 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 584$ $R_{\text{огн.шар}} - 178,8$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 50$	Колонна К-2 ( $3,4 \cdot 10^{-6}$ ), резервуары № 132, № 233 и № 138 ( $1,0 \cdot 10^{-6}$ ), колонна К-5 ( $2,9 \cdot 10^{-6}$ )
18. Установка депарафинизации масел № 2	$\frac{5,96 \cdot 10^{-6}}{1,05 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 615,4$ $R_{\text{огн.шар}} - 154,3$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 104$	Испаритель фильтра К-2, испаритель гача и петролатума К-6 ( $5,5 \cdot 10^{-6}$ ), резервуар № 146 ( $1,0 \cdot 10^{-5}$ )
19. Парк № 3 товарно-сырьевого цеха № 8	$\frac{4,41 \cdot 10^6}{1,44 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 952,7$ $R_{\text{огн.шар}} - 215,5$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 360$	Резервуары № 295, 36, 37, 44, 48 ( $1,7 \cdot 10^{-5}$ )
20. Парк № 5 товарно-сырьевого цеха № 8	$\frac{2,81 \cdot 10^{-6}}{8,67 \cdot 10^{-9}}$	$R_{\text{взрыв ГВС}} - 3592,7$ $R_{\text{огн.шар}} - 342$ $R_{\text{взрывоопас. зона}} - 460$	Резервуары № 253, 46, 52, 608 ( $1,7 \cdot 10^{-5}$ )

Наиболее высока вероятность разгерметизации следующих единиц оборудования ( $1,0 \dots 7,4 \cdot 10^{-5} \text{год}^{-1}$ ): резервуаров в третьем и пятом парках товарно-сырьевого цеха, установках ЭЛОУ АВТ-6, каталитического риформинга, депарафинизации масел; колонны стабилизации изомеризата и реактора блока доочистки на комплексе установок «Изомеризация бензиновых фракций» и «Таторей», реакторов гидроочистки и риформинга на установке каталитического риформинга; реактора на установке гидроочистки топлив и емкости сырья на установке получения параксилола.

Одним из наиболее важных индикаторов уровня промышленной безопасности является величина индивидуального риска гибели, по которому можно судить о степени безопасности человека на прилегающей к потенциально опасному объекту территории. В ряде стран установлено пороговое значение приемлемого индивидуального риска. Так, в Нидерландах, Франции и Дании эта величина составляет  $10^{-6}$  в год; В. Маршалл предлагает значение индивидуального риска  $5 \cdot 10^{-5}$  в год как максимально допустимое для мужчин и женщин любого возраста [12].

Российские специалисты предлагают относить к *недопустимому* риску  $R_{\text{инд}} \geq 10^{-4}$  в год; к *условно допустимому* (жестко контролируруемому риску)  $10^{-4} > R_{\text{инд}} > 10^{-5}$  в год; к *приемлемому* (допустимому) индивидуальному риску  $R_{\text{инд}} \leq 10^{-5}$  в год [12]. Исходя из этих соображений величина рассчитанного индивидуального риска гибели в  $TOX1^{+Riks}$  для всех рассматриваемых технологических установок ОАО «Нафтан» соответствует приемлемому (допустимому) уровню. Наиболее высокие значения как индивидуального, так и коллективного риска характерны для установок первичной переработки нефти и деасфальтизации гудрона пропаном.

Не менее важными показателями для определения состояния промышленной безопасности являются зоны действия основных поражающих факторов. Как видно из представленных данных в таблице 2, каждый из рассмотренных ОПО обладает рядом своих особенностей:

- наибольшая возможная взрывоопасная зона более 400 м характерна для установок выделения суммарных ксилолов, производства ортоксилола, ЭЛОУ АВТ-6, пятого парка товарно-сырьевого цеха;
- наиболее опасными производственными объектами по поражению человека ожогами от воздействия огненного шара (радиус поражения более 400 м) являются установки сероочистки сухих газов и рефлюкса, гидроочистки топлив, производства ортоксилола, установки «Фракционирование» комплекса «Гидрокрекинг» и ЭЛОУ АВТ-6;
- максимальные радиусы травмирования людей и повреждения остекления от взрывов газовоздушных смесей более 1,5 км характерны для производства ортоксилола, установки деасфальтизации гудрона, пятого парка товарно-сырьевого цеха, установок сероочистки сухих газов и рефлюкса, ЭЛОУ АВТ-6, установок «Юникрекинг» и «Фракционирование» комплекса «Гидрокрекинг», суммарных ксилолов.

**Заключение.** Результаты априорного и апостериорного анализа техногенных рисков на нефтеперерабатывающем предприятии позволили установить, что наиболее опасными производственными объектами на ОАО «Нафтан» являются установки первичной переработки нефти и деасфальтизации гудрона пропаном.

Использование программного комплекса  $TOXI^{+Risk}$  для моделирования последствий аварий на опасных производственных объектах позволяет получить объективную информацию о степени опасности объекта, ранжировать прилегающую территорию по уровню индивидуального и коллективного риска, выявить зоны и территории, где необходимо ужесточение контроля и разработка превентивных мер по снижению риска и обеспечению безопасности производственного персонала и населения.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования при разработке деклараций промышленной безопасности, планов по предупреждению и ликвидации аварий, при выполнении обязательств по страхованию гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов, С.В. Подготовка и обработка метеорологических данных для сценариев расчета по методике « $TOXI-3$ » при построении полей рисков летального поражения при авариях на опасных производственных объектах // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 8. – С. 75–78.
2. Егоров, А.Ф. Об опыте использования программного комплекса  $TOXI^{+Risk}$  для подготовки специалистов в Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, А.А. Агапов // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 22–24.
3. Тляшева, Р.Р. Принципы обеспечения безопасной эксплуатации объектов предприятий нефтепереработки / Р.Р. Тляшева, И.Р. Кузеев // Нефтегазовое дело. – Уфа, 2005. – № 3. – С. 29–35.
4. Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности: руководство по безопасности: утв. приказом Ростехнадзора от 27.12.2013 № 646.
5. Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов: руководство по безопасности: утв. приказом Ростехнадзора от 07.11.2014 № 500.
6. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах: руководство по безопасности: утв. приказом Ростехнадзора от 13.05.2015 № 188.
7. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: руководство по безопасности: утв. приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 № 159.
8. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: утв. приказом МЧС от 10.07.2009 № 404 (с изм., утв. приказом МЧС России от 14.12.2010 № 649).
9. Методика анализа риска для опасных производственных объектов газодобывающих предприятий ОАО «Газпром» СТО Газпром 2-2.3-400-2009: утв. распоряжением ОАО «Газпром» от 05.10.09 № 326.
10. Апостериорная оценка состояния аварийности на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю. А. Булавка [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 9. – С. 122–128.
11. Булавка, Ю.А. Анализ инцидентов на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка, О.О. Смиловенко, Е. В. Сташевич // Вестн. Командно-инженерного ин-та МЧС. – 2012. – № 2(16). – С. 69–76.
12. Козлитин, А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2002. – 178 с.

Поступила 02.02.2016

#### COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF MODELING CONSEQUENCES OF ACCIDENTS AT DANGEROUS PRODUCTION FACILITIES REFINING INDUSTRY USING THE SOFTWARE, $TOXI^{+RISK}$

S. POKROVSKAYA, YU. BULAUKA, D. GALKINA

*The article presents the results of a comparative analysis of information obtained in the course of modeling the effects of accidents in the refining industry objects using  $TOXI^{+Risk}$  software. The possibilities of software package to solve the problem of estimating the consequences of accidents at dangerous production facilities on the basis of constructing a tree developments accident scenarios in the destruction of the apparatus and calculation of collective and individual risk of fatal injury to persons as a result of major accidents. The results can be recommended for use in the development of industrial safety declaration, plans for the prevention and elimination of accidents, the fulfilment of obligations on insurance of civil liability for damage resulting from accident, justification of intrinsically safe distances and safety of hazardous production facilities.*

**Keywords:** refining industry, dangerous production facilities, modeling of accidents, statistical analysis, software  $TOXI^{+Risk}$ .