

УДК 66.013.88(075)
ББК 35:65.9(2)248я7
С77

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:
канд. техн. наук, доц. Л. Э. Осипова
директор ООО «НПФ «Реконструкция» канд. техн. наук И. Р. Хайруллин

С77 **Старовойтова Е. В.**
Моделирование и расчет последствий промышленных аварий : учебное пособие / Е. В. Старовойтова, А. Д. Галеев; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2020. – 196 с.

ISBN 978-5-7882-2947-8

Изложены теоретические положения и основные формулы для расчета последствий аварий, характерных для объектов химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности. С целью закрепления теоретического материала приведены примеры решения задач, а также задания для самостоятельного выполнения.

Предназначено для студентов направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», а также для аспирантов направления подготовки 20.06.01 «Техносферная безопасность». Также может быть полезно студентам других направлений, изучающим вопросы обеспечения безопасности технологических процессов и производств.

Подготовлено на кафедре машин и аппаратов химических производств.

УДК 66.013.88(075)
ББК 35:65.9(2)248я7

ISBN 978-5-7882-2947-8

© Старовойтова Е. В., Галеев А. Д., 2020
© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ.....	8
1.1. Возможные конфигурации оборудования и схемы его разрушения.....	8
1.2. Возможные стадии развития аварийной ситуации.....	12
1.3. Определение расхода стабильной жидкости из отверстия	19
1.4. Истечение газа через отверстие из сосуда высокого давления.....	21
1.5. Истечение сжиженного газа из отверстия.....	26
1.6. Примеры расчетов по главе 1	29
Глава 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИСПАРЕНИИ ПРОЛИВА СТАБИЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ	38
2.1. Основные закономерности парообразования при аварийных выбросах.....	38
2.2. Физико-химические особенности процесса испарения с поверхности аварийного пролива	39
2.3. Расчет интенсивности испарения стабильной жидкости.....	43
2.4. Стефановский поток.....	48
2.5. Испарение растворов и смесей.....	51
2.6. Примеры по главе 2	53
Глава 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ АВАРИЙНОМ ВЫБРОСЕ СЖИЖЕННОГО ГАЗА	56
3.1. Мгновенное вскипание жидкости	56
3.2. Парообразование при кипении пролива сжиженного газа	58
3.3. Образование аэрозолей при выбросах в атмосферу	62
3.4. Расчет парообразования при аварийном выбросе однокомпонентного сжиженного газа	63
3.5. Расчет парообразования при аварийном выбросе многокомпонентного сжиженного газа	65
3.6. Примеры по главе 3	67
Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ.....	72
4.1. Рассеяние газообразного вещества в атмосфере.....	72
4.1.1. Атмосферная турбулентность	72
4.1.2. Температурная стратификация атмосферы.....	74
4.1.3. Образование и распространение тяжелых газов.....	77

4.1.4. Влияние шероховатости и препятствий на распространение газа.....	79
4.2. Модели рассеяния газообразного вещества в атмосфере	80
4.3. Особенности численного моделирования рассеяния газообразного вещества с использованием пакетов вычислительной гидродинамики (CFD пакеты)	91
4.4. Примеры по главе 4	98
Глава 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ВЫБРОСА В АТМОСФЕРЕ	110
5.1. Механизмы образования аэрозолей при аварийных выбросах	110
5.2. Закономерности распределения частиц по размерам.....	112
5.3. Моделирование переноса дисперсной фазы в рамках эйлерово-лагранжевого подхода	115
Глава 6. ОЦЕНКА ЗОН ДЕЙСТВИЯ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ АВАРИЯХ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ.....	121
6.1. Классификация аварий.....	121
6.1.1. Классификация взрывов.....	122
6.1.2. Классификация пожаров	125
6.2. Поражающие факторы при авариях.....	126
6.3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов	129
6.4. Поведение веществ при наличии источников зажигания	131
6.5. Математические модели для расчета зон действия поражающих факторов.....	133
6.5.1. Взрыв паровоздушного облака на открытой площадке ...	133
6.5.2. Пожар-вспышка	135
6.5.3. Взрыв резервуара с перегретой жидкостью	136
6.5.4. Взрыв сосуда со сжатым инертным газом	137
6.5.5. Огненный шар.....	137
6.5.6. Пожар пролива.....	138
6.5.7. Факельное горение	142
6.6. Примеры по главе 6.....	143
Библиографический список	151
Приложения.....	158