

Министерство образования и науки России  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

КУПЦОВ А.И., ГИМРАНОВ Ф.М.

# **СВЕЧА РАССЕЙВАНИЯ: ОСНОВЫ РАСЧЕТА**

МОНОГРАФИЯ

Казань  
2018

УДК 66.071  
ББК 35.50  
К92

Авторы:

Купцов А.И., канд. техн. наук, инженер Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ);  
Гимранов Ф.М., докт. техн. наук, профессор КНИТУ.

**Свеча рассеивания: основы расчета:** монография /  
А.И. Купцов, Ф.М. Гимранов; М-во образ. и науки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во АН РТ, 2018. – 136 с.  
**ISBN 978-5-9690-0464-1**

В монографии представлены результаты исследований процессов распространения газоздушных облаков, образующихся при опорожнении технологического оборудования через свечи рассеивания. Предложена математическая модель для расчета процессов пространственно-временного распространения газоздушных облаков с учетом нестационарности явлений, особенностей метеоусловий, эффекта дросселирования и рельефа местности.

Разработан экспресс-метод для оперативной экологической оценки обстановки при вынужденном опорожнении технологического оборудования через свечи рассеивания. Приведены рекомендации по проектированию и эксплуатации технологических свеч, осуществляющих выброс газов на химических и нефтехимических производствах, системах магистральных газопроводов.

Книга предназначена для научных работников и специалистов, занимающихся изучением процессов выброса, распространения опасных газов и эксплуатацией газохимических и газотранспортных комплексов, а также для аспирантов и магистров, обучающихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность».

Подготовлено на кафедре промышленной безопасности КНИТУ.

Печатается по решению редакционно-издательского Совета ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Рецензенты: директор Инженерно-внедренческого центра «Инжехим», д.т.н., проф. кафедры процессов и аппаратов химической технологии ФГБОУ ВО «КНИТУ» М.И. Фарахов  
зам. директора ООО «Эксперт-бюро», к.т.н. И.Р. Хайруллин

ISBN 978-5-9690-0464-9

© Купцов А.И., Гимранов Ф.М., 2018  
© Изд-во Академии наук РТ, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ РАССЕЙЯНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ	9
1.1. Статистические данные по залповым выбросам со свеч рассеивания	9
1.2. Конструкции свеч рассеивания	11
1.3. Основные факторы, определяющие последствия выбросов опасных газов и паров через технологические свечи	15
1.4. Теория атмосферной турбулентности	19
1.4.1. Уравнение баланса кинетической энергии турбулентности	19
1.4.2. Влияние изменения скорости ветра по высоте	21
1.4.3. Теория Монина-Обухова для приземного слоя	22
1.5. Исследования выбросов опасных газов со свечи рассеивания	23
1.5.1. Особенности поведения газов в атмосфере после их выброса	23
1.5.2. Диффузионная модель расчета концентраций газа при выбросе через свечу рассеивания	24
1.5.3. Модель Главной геофизической обсерватории	26
1.5.4. Гауссовская модель	29
1.5.5. Интегральные модели распространения опасного газа	31
1.5.6. Модели численного моделирования	34
1.5.7. Экспериментальные исследования распространения газов после их выброса через свечи рассеивания	36
Выводы по главе 1	39
Список использованной литературы	40
ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ	46
2.1. Система фундаментальных уравнений сохранения	46
2.2. Модели турбулентности	47
2.3. Моделирование пограничного слоя атмосферы	49
2.3.1. Расчетная сетка, выбор и обоснование граничных условий	51
2.3.2. Результаты моделирования пограничного слоя	55
2.4. Адаптация модели с метеоданными окружающей среды	57
2.4.1. Увязка граничных условий с метеоданными окружающей среды	58
2.4.2. Этап I. Метод градиента	60
2.4.3. Этап II. Метод профиля	62
2.4.4. Расчет с применением поэтапного использования методов градиента	62
Выводы по главе 2	66
Список использованной литературы	66

<b>ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫБРОСА ГАЗА ЧЕРЕЗ СВЕЧУ РАССЕИВАНИЯ ПРИ ОПОРОЖНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b>	<b>69</b>
3.1. Расчет длительности опорожнения оборудования через технологические свечи. Определение граничного условия выброса газа на оголовке свечи	69
3.2. Определение физических свойств веществ	74
3.3. Проверка достоверности математической модели	76
3.3.1. Верификация с данными, полученными на экспериментальной установке, для имитации процессов распространения облаков газов	76
3.3.2. Верификация с данными экспериментов ОАО «Газпром» и сравнение с другими методиками и моделями	80
Выводы по главе 3	83
Список использованной литературы	83
<b>ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b>	<b>84</b>
4.1. Влияние устойчивости атмосферы на распространение выбрасываемого газа	84
4.2. Влияние скорости ветра на распространение выбрасываемого газа	89
4.3. Влияние конструктивных параметров свечи на распространение выбрасываемого газа	92
4.4. Влияние температуры и давление выбрасываемого газа на его дальнейшее распространение	94
4.5. Определение предельно допустимого выброса со свечи рассеивания	96
Выводы по главе 4	98
Список использованной литературы	99
<b>ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫБРОСА ГАЗА</b>	<b>100</b>
5.1. Формирование газоздушного облака на примере выброса природного газа из вертикальной свечи	100
5.2. Анализ выброса аммиака при опорожнении ресивера	102
5.3. Возможность применения численного эксперимента при проектировании свечи рассеивания для выброса попутного нефтяного газа	102
5.4. Разработка и использование экспресс-метода прогнозирования распространения опасного газа при выбросе со свечи рассеивания	105
Выводы по главе 5	111
Список использованной литературы	112
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>113</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ</b>	<b>115</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	<b>117</b>