

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Отделение физико-технических наук
Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова

С. А. Жданок, Г. М. Васильев, А. Н. Мигун

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

В СИСТЕМАХ СНИЖЕНИЯ
ТОКСИЧНОСТИ
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК

Минск
«Беларуская навука»
2014

Жданок, С. А. Теплофизические и кинетические процессы в системах снижения токсичности отработавших газов энергетических установок / С. А. Жданок, Г. М. Васильев, А. Н. Мигун. — Минск : Беларуская навука, 2014. — 371 с. — ISBN 978-985-08-1773-0.

Рассмотрены вопросы использования процесса частичного окисления метана в каталитических реакторах фильтрационного горения для получения водородосодержащей топливной смеси, а также использования неравновесной плазмы в системах снижения токсичных компонентов отработавших газов энергетических установок, их структура, теоретические основы очистки в плазме коронного и импульсного коронного разрядов. Приведено описание и выполнен анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований различного типа систем очистки отработавших газов энергетических установок на примере бензиновых и дизельных двигателей.

Книга предназначена для научных работников учреждений, разработчиков двигателей внутреннего сгорания, преподавателей, докторантов, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Табл. 34. Ил. 143. Библиогр.: 265 назв.

Рецензенты:

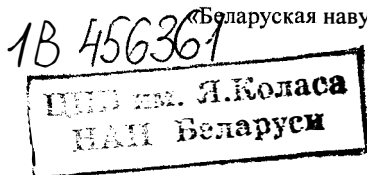
академик С. А. Астапчик, доктор технических наук, профессор;

академик В. В. Клубович, доктор технических наук, профессор

ISBN 978-985-08-1773-0

© Жданок С. А., Васильев Г. М.,
Мигун А. Н., 2014

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2014



ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Производство водорода и его использование в двигателях внутреннего сгорания	8
1.1. Промышленное производство синтез-газа	9
1.1.1. Газификация угля	9
1.1.2. Паровая конверсия метана	12
1.1.3. Частичное окисление углеводородов	13
1.1.4. Альтернативные способы получения водорода	15
1.2. Сравнительный анализ методов производства водорода	16
1.3. Основные характеристики ДВС и способы их улучшения	19
1.3.1. Зависимость скорости горения от давления и начальной температуры	23
1.3.2. Детонационный режим работы. Причины и последствия	25
1.3.3. Классификация различных видов топлива. Октановое число	27
1.3.4. Влияние добавок водорода на свойства углеводородных топлив	28
1.3.5. Практика использования добавок водорода к углеводородному топливу	31
Глава 2. Разработка комплекса программного обеспечения для исследования процессов горения с учетом сложной химической кинетики	34
2.1. Универсальная библиотека классов для моделирования газофазной химической кинетики	35
2.2. ПО для работы с термодинамическими базами	54
2.3. ПО для работы с кинетическими механизмами	57
2.4. Распространение ламинарного пламени в предварительно перемешанной смеси	63
2.5. Коэффициенты переноса в системе газ–пористая среда	67
2.6. Стационарная двухтемпературная волна горения в пористой среде	74

2.7. Влияние диффузии и теплопроводности на свойства волн горения в пористой среде	79
Глава 3. Моделирование частичного окисления метана в пористых каталитических реакторах.	87
3.1. Теоретический анализ эффективности процесса.	88
3.2. Кинетическая модель	106
3.3. Реактор с постоянным направлением течения газа	108
3.3.1. Математическая модель	108
3.3.2. Результаты моделирования	112
3.4. Реактор с переменным направлением течения газа	118
3.4.1. Математическая модель	120
3.4.2. Результаты моделирования	122
Глава 4. Влияние добавок синтез-газа и водорода на характеристики процесса горения бензино-воздушных смесей в условиях, характерных для двигателей внутреннего сгорания	126
4.1. Начальные условия численного моделирования	127
4.2. Кинетическая модель окисления бензинов	129
4.3. Влияние добавок синтез-газа и водорода на равновесный состав продуктов сгорания	131
4.4. Влияние добавок синтез-газа и водорода на время задержки термического воспламенения	135
4.5. Влияние добавок синтез-газа и водорода на экологические характеристики продуктов сгорания	145
4.6. Влияние добавок синтез-газа и водорода на скорость распространения пламени в бензино-воздушной смеси	150
Глава 5. Плазменный реформинг жидких углеводородных топлив	154
5.1. Разложение жидких углеводородных топлив с помощью электрической энергии	156
5.1.1. Влияние содержания сажи и материала электрода на процесс разложения углеводородного топлива.	159
5.1.2. Совместное разложение легких и тяжелых углеводородов	161
5.2. Рабочие параметры системы получения водородосодержащего синтез-газа из жидких углеводородных топлив	163
5.3. Устройства для получения водородосодержащего синтез-газа из жидкого углеводородного топлива	170
5.3.1. Конструкции и результаты стендовых испытаний рабочих камер с высоковольтной электродной системой	172
5.3.2. Конструкции реакторов с высоковольтным иницированием и результаты их испытаний	179

Глава 6. Методы очистки газовых выбросов от сажи, оксидов азота и серы в процессе выпуска отработавших газов ДВС	189
6.1. Свойства сажи и сажевого аэрозоля отработавших газов дизельных двигателей	192
6.2. Современные технологии и средства очистки отработавших газов от частиц в процессе выпуска	198
6.3. Электрические разряды, используемые для очистки газов от токсичных компонентов	200
6.3.1. Типы электродных систем электроразрядных установок	202
6.3.2. Импульсный коронный разряд	204
6.3.3. Барьерный разряд	208
6.3.4. Стационарный тлеющий разряд атмосферного давления	211
6.3.5. Разряд в засыпках ферроэлектрика	213
6.4. Системы регенерации сажевых фильтров	221
Глава 7. Кинетика процесса очистки отработавших газов от сажи и токсичных газообразных компонентов в электроразрядной плазме	225
7.1. Кинетика плазмохимических реакций	227
7.2. Очистка отработавших газов от твердых частиц в электроразрядной плазме	232
7.2.1. Осаждение частиц	233
7.2.2. Физико-химическая утилизация сажи	240
7.2.3. Межелектродное дожигание частиц сажи	245
Глава 8. Теоретическое описание электродной системы плазмохимического реактора	253
8.1. Выбор типа электродной системы	253
8.2. Коронный разряд отрицательной полярности острой электродной системы	255
8.3. Основные параметры коронного разряда системы острой–плоской	260
8.4. Распределение плотности тока по плоскости и вольт-амперная характеристика разряда	269
8.5. Особенности коронного разряда в потоке отработавших газов	270
8.6. Зависимость мощности коронного разряда от величины межэлектродного расстояния и температуры газового потока	275
8.7. Оптимизация конструктивных параметров электродной системы	280
Глава 9. Разработка основных элементов плазмохимических реакторов	290
9.1. Разработка принципиальной схемы	292
9.2. Электродная система	297
9.2.1. Выбор типа электродной системы	297

9.2.2. Определение оптимальных параметров электродных систем	297
9.2.3. Вольт-амперные характеристики электроразрядных систем	300
9.3. Тепловой расчет и ресурс работы электродной системы	302
9.4. Газодинамические характеристики плазмохимического реактора	305
9.4.1. Анализ влияния шума выпуска двигателя на разрядные характеристики	305
9.4.2. Подавление акустических и звуковых колебаний в плазмохимическом реакторе	306
9.5. Газодинамический расчет	308
9.6. Критерии оценки эффективности процесса сажеочистки	310
Глава 10. Методика и результаты экспериментальных исследований электроразрядных систем для снижения токсичности отработавших газов ДВС	312
10.1. Экспериментальная установка, приборы и оборудование	312
10.1.1. Устройство и принцип работы плазмохимического реактора для дизельных двигателей типа Д-243	312
10.1.2. Компоновочная схема системы выпуска двигателя с плазмохимическим реактором	317
10.1.3. Лабораторная установка для проведения стендовых испытаний	318
10.2. Методики экспериментальных исследований	320
10.3. Расчет основных конструктивных параметров плазмохимического реактора с дисковой электродной системой	329
10.4. Стендовые исследования плазмохимического реактора при питании разряда постоянным напряжением	334
10.5. Стендовые исследования плазмохимического реактора при импульсном и комбинированном режимах питания разряда	339
10.6. Газодинамическое сопротивление плазмохимического реактора и шумовые характеристики процесса впуска дизеля Д-243	341
10.7. Особенности плазмохимического способа очистки отработавших газов и перспективы его использования в современной автотракторной технике	343
10.8. Экономическая эффективность применения плазменных очистителей отработавших газов дизельных двигателей	345
Литература	350