

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова

А. Б. Шаповалов

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Монография



МОСКВА – 2021

УДК 620.9+502/504

ББК 31+20.1

Ш24

Шаповалов, Александр Борисович.

Ш24 Основы энергогенерации : Монография / А. Б. Шаповалов. –
Москва : МАКС Пресс, 2021. – 224 с.

ISBN 978-5-317-06647-5

Монография посвящена энергогенерации определяющей развитие и формы социума.

Рассмотрено формирование и влияние энергогенерации на биосферу и социум. Концептуально представлена экобезопасная энергогенерация на основе нанодеструкции. Предложена концепция «распределенной самоорганизующейся энергогенерации социума на основе автономной саморегулируемости и энерго-независимости индивида». Отмечена неизбежность трансформации социума в формы, соответствующие новым энергопотокам.

Материал знакомит с фундаментальными проблемами современной энергогенерации и раскрывает потенциал их преодоления.

Работа адресована, как органам, планирующим и администрирующим развитие социума и энергогенерации, так и экологическим организациям. Монография предназначена для научных и педагогических работников, исследователей и инженеров, руководителей предприятий, аспирантов и студентов, а также широкого круга заинтересованных лиц.

Материал монографии предполагает знакомство с базовыми основами научных представлений. Однако, глубокие знания не обязательны и рассмотрение формализованных представлений минимизировано.

Результаты монографии актуальны для выработки стратегических концепций и планов развития социума.

Ключевые слова: энергогенерация, биосфера, социум, энергия, углеродосодержащие энергоносители, выбросы энергогенерации.

УДК 620.9+502/504

ББК 31+20.1

Автор выражает искреннюю благодарность коллегам, содействовавшим изданию настоящей научной работы: *Лазареву Георгию Евграфовичу (РФ), Лецикову Валерию Андреевичу (РФ), Кручинину Леониду Анатольевичу (РФ), Арсову Малину Мироновичу (Болгария), Тыреву Атанасу Кирилловичу (Болгария)*

ISBN 978-5-317-06647-5

© Шаповалов А. Б., 2021

© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	11
Глава 1. ЭНЕРГИЯ И БИОСФЕРА	14
1.1. Биосфера как результат трансформации первичной энергии	14
1.2. Социум как концентратор первичной энергии.....	16
1.3. Критерий оценки эффективности энергоресурсов EROEI	21
1.4. Актуальность энергоресурсов.....	25
1.5. Энергогенерация экзотермическим окислением УСЭ	27
1.5.1 Окислитель	32
ИТОГИ 1 ГЛАВЫ	35
Глава 2. УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ (УСЭ) ..	36
2.1. Параметры УСЭ	36
2.2. Антропогенное преобразование биомассы в УСЭ.....	43
2.2.1. Особенности физико-химического строения биомассы.....	43
2.2.2. Физико-химическое преобразование биомассы	45
2.2.3. Биохимическое преобразование биомассы.....	48
2.2.4. Термохимическое преобразование биомассы.....	50
2.3. Торф.....	53
2.4. Горючие сланцы	54
2.5. Уголь.....	56
2.6. Нефть.....	61
2.7. Природный газ.....	64
2.7.1. Газогидраты	66
2.8. Отходы.....	68
ИТОГИ 2 ГЛАВЫ	72
Глава 3. ВЫБРОСЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ УСЭ ..	74
3.1. Оксиды углерода CO_x	74
3.2. Оксиды азота NO_x	75

3.3. Оксиды серы SO _x	79
3.4. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).....	81
3.4.1. Бензопирен.....	82
3.4.2. Диоксины (полигалогены, фураны) и родственные им соединения.....	83
3.5. Зола и шлак.....	85
3.5.1. Характеристика и состав шлаков.....	86
3.6. Сажа.....	87
3.7. Тяжелые металлы.....	88
3.8. Генерация физических воздействий (полей) на биосферу.....	88
3.8.1. Тепловые выбросы.....	89
3.8.2. Шумовые выбросы.....	90
3.8.3. Электромагнитные выбросы.....	91
3.8.4. Радиационные выбросы.....	92
ИТОГИ 3 ГЛАВЫ.....	95
Глава 4. ВЫБРОСЫ И БИОСФЕРА.....	97
4.1. Основы устойчивости.....	97
4.2. Взаимодействие выбросов и биосферы.....	99
4.2.1. Атмосфера.....	100
4.2. Оксиды углерода CO _x в биосфере.....	106
4.3. Оксиды азота NO _x в биосфере.....	110
4.4. Оксиды серы SO _x в биосфере.....	113
4.5. Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ).....	115
4.5.1. ПАУ в биосфере.....	117
4.5.1.1. Бензопирен в биосфере.....	119
4.5.1.2. Диоксины в биосфере.....	121
4.6. Физические поля и биосфера.....	122
4.6.1. Механические поля как шумовое загрязнение биосферы... ..	123
4.6.2. Электромагнитные поля, загрязняющие биосферу.....	126
4.6.2.1. Тепловое загрязнение биосферы.....	128
4.6.2.2. Промышленное электромагнитное загрязнение биосферы..	130
4.6.2.3. Радиационное (ионизирующее) загрязнение биосферы..	134
4.7. Нормирование нагрузок на биосферу.....	138
ИТОГИ 4 ГЛАВЫ.....	144

Глава 5. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИЯ	149
5.1. Солнечная энергетика.....	151
5.2. Ветроэнергетика.....	152
5.3. Гидроэнергетика.....	154
5.4. Атомная энергетика	155
5.5. Водородная энергетика.....	156
5.6. Эндогенная геотермальная энергия.....	157
5.7. Энергогенерация на основе нанодеструкции	159
5.8. Распределенная энергогенерация	165
5.8.1. Инженерные решения энергогенерации на основе нанодеструкции.....	170
5.8.2. Трансформация социума распределенной энергогенерацией .	174
ИТОГИ 5 ГЛАВЫ	176
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	179
ЛИТЕРАТУРА	183

ВСТУПЛЕНИЕ

Энергогенерация – объективно необходимое условие существования современного социума. Современной энергогенерации неизбежно сопутствует негативное воздействие на биосферу. С точки зрения своего генезиса, энергогенерация воспроизводит ступени развития противоречий между биосферой и ее составляющей – социумом. Как при развитии любых противоречий, логичен переход от единства, равновесия к дисгармонии и конфронтации и как следствие образования новых компромиссных форм.

Монополизм современного человека в биосфере стал беспрецедентен, и поэтому кризисы неизбежны во всех ипостасях его бытия. Так человечество уже перенесло энергетический кризис в конце неолита. Кризис энергообеспечения человека разрешился открытием земледелия и скотоводства, что позволило избежать голодной смерти. Современный кризис базируется в своем монополизме на стремлении властвовать над природой и ее ресурсами.

Существование жизни на Земле и принципиальное развитие современного социума находятся в прямой зависимости от его усилий по развитию энергогенерации. Важнейшей задачей современного общества, гарантирующей наличие и благополучие будущих поколений, является энергообеспеченность социума на основе экобезопасной энергогенерации. Существование и развитие современного социума, как процесса непрерывной направленной самоорганизации, обеспечивается исключительно энергогенерацией.

Современной энергогенерации сопутствуют разнообразные негативные антропогенные воздействия на биосферу. Масштабы и характер возникающих экологических проблем в биосфере граничат с катастрофой. В конечном итоге рост энергогенерации приводит к росту последствий, препятствующих биологическому благополучию. Как это ни печально, реализуется

апокалиптический сценарий развития биосферы.

Безусловно, современные ресурсы планеты ограничены и существенно уменьшаются. Цивилизация, исчерпав ресурсы, может оказаться на пути неминуемого самоуничтожения. В этой связи более чем актуален отказ от агрессивной, расточительной эксплуатации природных энергоресурсов, без которых немислимо существование человечества.

Превалирующая рыночная парадигма ограничивает доступ к ресурсам социума подавляющему числу людей. Прогрессирует экономическое расслоение населения. Как следствие, прогрессирует ограничение доступа и к энергоресурсам. Стремительное расслоение на очень богатых и очень бедных людей обостряет отношения между людьми, включая межнациональные и межконфессиональные. Локальная концентрация ресурсов в социуме и ограничения на их доступность фактически усиливают конфликтный потенциал.

Обращение к проблемам социальной экологии выделяет пагубность рыночной парадигмы, приводящей к глобальной деградации и дестабилизации социума. Усугубляет все ограничение регулируемости общества в рамках рыночной парадигмы интересами узкого круга монополий. Более того, стремительная концентрация ресурсов монополизует регуляторные функции в интересах узкого круга лиц, представляющих монополии. К великому сожалению, государство не справляется со своими социальными обязанностями регулятора.

Утеря государственными институтами естественного превалирования социальных интересов дестабилизирует социум. Неприемлемость такого администрирования справедливо адресуется людьми к властям всех уровней. Вероятно, это отражает достаточно не адекватные представления об окружающей действительности и современном социуме.

Таким образом, обострилась потребность поиска более адекватных представлений об основе социума – энергогенерации, нет энергии, нет социума. Необходимость более адекватных представлений обусловлена выявлением объективных тенденций развития энергогенерации как основы социума и согласованием с ними регуляторных воздействий.

Поиск более адекватных представлений о природных процессах ограничивается рамками интерпретации действительности индивидуальным психологическим сознанием. Поэтому,

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

для более адекватного представления энергогенерации необходим системный синтез разнообразного опыта и существующих разноплановых представлений в самых различных областях познания и бытия.

Уникальные научный и инженерный диапазоны, совместно с таким же уникальным производственным опытом автора, позволили синтезировать и систематизировать фундаментальные представления проблем и тенденций развития энергогенерации и социума.

Автор, процессы направленной непрерывной цепной самоорганизации в социуме, представляет как трансформацию вовлекаемых энергоресурсов энергогенерацией. Показаны необходимость и границы объективной оценки энергоэффективности энергоресурсов современного социума.

Современная энергогенерация зиждется на реализации энергии химических связей, углеродосодержащих форм вещества. Энергия химических связей преобразуемая преимущественно экзотермическим окислением, при взаимодействии с окислителем сопровождается неотъемлемыми выбросами.

Автор выделяет основные параметры, определяющие углеродосодержащие формы вещества, как углеродосодержащие энергоносители (УСЭ). Системно представлено антропогенное преобразование УСЭ, направленное на разнообразие, стабилизацию и сублимацию их энергопотенциала. Автор отмечает не освоенные потенциалы энергоресурсов: природного газогидратного и антропогенного углеродосодержащих отходов.

Автором рассмотрены доминирующие механизмы образования выбросов сопутствующих основной энергогенерации в биосферу. Раскрыты основные фундаментальные механизмы взаимодействия выбросов и биосферы. Показаны результаты негативного влияния выбросов на биосферу и, соответственно, на биологические системы. На этом основании автором актуализирована проблема устойчивости биосферы как открытой саморегулирующейся системы с устойчивым динамическим равновесием на основе гомеостаза под действием выбросов.

Как традиционная альтернатива энергогенерации на основе УСЭ, автором рассмотрен потенциал природных факторов, инициируемых первичной энергией нашей планеты. Однако, общий теоретический потенциал всех возобновляемых энергоресурсов, как справедливо отмечает автор, условно ограничен

потенциалом солнечной энергии. Перспективы же водородной и атомной энергетики так же не внушают оптимизма. При этом автор выделяет колоссальный энергоресурс эндогенной геотермальной энергии нашей планеты, который практически не освоен.

Определяющий вклад российских и в большей степени советских ученых в развитие энергогенерации позволил автору выявить ее основные проблемы, приводящие к развитию биосферы по апокалиптическому сценарию. На этом основании, впервые автором сформулированы и предложены концептуальные решения с большой вероятностью избавляющие энергогенерацию от этих проблем.

На сегодняшний день наиболее вероятно единственная возможность экобезопасной энергогенерации реализуется в «модели нанодеструкции Шаповалова» удостоенной еще в 2009 г. международной награды: «деструкция вещества отходов на наноразмерные частицы и формирование из них вещества товарного продукта». Данная модель практически реализует рециклинг отходов, или так называемую «циклическую экономику», что определено ООН еще в 1992 г. генеральным направлением развития социума.

В результате системного рассмотрения современной энергогенерации автором сформировано представление и обосновано выработаны концептуальные практические предложения по развитию экобезопасной энергогенерации.

Проведённые автором теоретические, конструкторские, исследовательские работы и найденные инженерные решения дают фундаментальные основания для практической реализации нанодеструкцией энергопотенциала углеродосодержащих отходов, включая ТКО.

Обобщение автором полученных результатов легло в основу концептуальной схемы энергогенерации экзотермическим окислением УСЭ на основе нанодеструкции. Дальнейшим логическим развитием явилась концепция «распределенной самоорганизующейся энергогенерации социума на основе автономной саморегулируемости и энергонезависимости индивида».

Выработанные автором концептуальные решения как раз и могут разрешить крайне обострившиеся противоречия генезиса энергогенерации. Распределенная самоорганизующаяся энергогенерация на основе энергонезависимости и саморегулируемости индивида неизбежно приводит к трансформации

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

социума в новые формы в соответствии с новыми энергопотоками. Вероятно развитие социума по этому сценарию нивелирует обмен в социуме экономическими эквивалентами, то есть нивелирует основу рыночной парадигмы. Это минимизирует существующие проблемы рыночной парадигмы, но вместе с тем обозначает и новые.

Настоящий научный труд выполнен автором по собственной инициативе и на собственные средства.

Работа адресована, как органам, планирующим и администрирующим развитие социума так и общественным организациям и заинтересованным лицам. Последние два адресата необходимы для учета региональной и конфессиональной специфики и стимуляции реализации концепций экобезопасной энергогенерации социума.

Материал и результаты монографии актуальны для выработки стратегических концепций и практических планов развития социума.

Российская наука, в рамках данного научного труда, предлагает мировому сообществу концепцию развития энергогенерации, обеспечивающую его существование и развитие в обозримом будущем.

Изложенные в работе позиции отражают мнение рецензентов.

Лазарев Г.Е.,

доктор технических наук, профессор, академик

Российской академии естественных наук,

Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского,

Лауреат премии Ф.Н. Красовского.

Заслуженный работник геодезии и картографии РФ.

Лещиков В. А.,

доктор технических наук, доктор экономики, профессор

(в том числе университета «Адама Смита» (США)),

академик Международной академии информатизации.

Член Высшего инженерного совета торгово-промышленной

палаты РФ, член Российского союза промышленников и

предпринимателей в комиссии Государственной думы РФ.

Смуров А. В.,

доктор биологических наук, профессор

Директор музея земледения МГУ им. М.В. Ломоносова

ВВЕДЕНИЕ

Рост трансформации энергии и материи социумом стремительно актуализирует представление об экологии как области, в границах которой сохраняется жизнь.

Современные процессы трансформации энергии и материи социумом, обусловлены, наряду с его технологическим развитием, порождаемыми и реализуемыми им идеологемами. Мощность и разнообразие процессов в социуме [22, 161] уже не только соизмерима, но зачастую превосходит процессы в биосфере.

Процессы трансформации энергии и материи социумом сопровождаются разнообразными сопутствующими потерями. Это обуславливает переход части веществ, теряющих свою целесообразность (экономическую, социальную и т.п.), в категорию отходы. Попадая в биосферу антропогенные отходы [55] в виде разнообразных химических соединений и физических полей нарушают ее саморегуляцию приводя к деградации.

По данным Корнельского университета деградацией биосферы, обусловлено до 30% заболеваний и более 40% смертей в социуме. К аналогичному выводу пришли и во Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), состояние здоровья в социуме на 20-30% определяет экологическая обстановка. А эксперты [124] Международного Агентства Изучения Рака (МАИР, IARC) еще в 1990 г., доминирующую роль (75-80%) в онкологии определили воздействием антропогенных отходов, преимущественно химической природы.

По оценке Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), из более чем 6 млн известных химических соединений практически используется до 500 тыс. соединений; из них около 40 тыс. обладают вредными для человека свойствами, а 12 тыс. являются токсичными.

Не секрет, что современной энергогенерации и трансформации энергии сопутствуют [24, 55, 116] выбросы разнообразных

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

оксидов (CO_x , NO_x , SO_x , и др.), галогенпроизводных соединений HFC , PFC и SF_6 , тяжёлых металлов, мелкодисперсных аэрозолей, фтороводородов, галоидных соединений, мелкодисперсных частиц углеводородов, не метановых летучих органических соединений (NMVOC), золы (PM_{10}), стойких органических загрязняющих веществ (CO_3) в частности, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), полихлордибензодиоксинов (ПХДД) и полихлордифенолов (ПХДФ), радионуклидов, генерация различных физических полей деградирующих биосферу. В качестве примера, показательны объективные выбросы (приложение № 1.1, 1.2) одной из современных ТЭЦ.

Именно эти сопутствующие энергогенерации социума выбросы и определяют ее, как доминирующее антропогенное негативное воздействие на биосферу.

Не является секретом, что в рамках рыночной парадигмы идеологии в большой степени определяют формирование экономических показателей и материально-финансовых ресурсов. Это является [107, 116] соблазнительным инструментом конкуренции и манипуляции в социуме. Что и легло в основу [107, 116] перевода проблемы в область различных спекуляций и политических манипуляций, и формирования из неё инструмента международного давления. В конечном итоге это приводит [33, 116, 121] к формированию и росту конфликтного потенциала в социуме, то есть в биосфере.

Более того, антропогенные ограничения потребления ресурсов социумом, в рамках доминирующей рыночной парадигмы формируют естественный конфликтный потенциал [33]: «... между ресурсами и притязаниями на них». Монополизация ресурсов нацелена на извлечение прибыли монополиями в интересах незначительной части социума, а не на его развитие. Усугубляется монополизация ресурсов поддержкой «status quo», способствуя росту конфликтного потенциала в социуме в соответствии с естественным ростом их востребованности. Этот процесс приводит не только к стагнации, но и глобальной дестабилизации социума [33, 116, 121] на грани катастрофы.

Таким образом, современная деятельность социума, не только препятствует его развитию, но и приводит к его деградации и депопуляции. Неприемлемость такой деятельности и антропогенного воздействия на экологию справедливо адресуется к властям

всех уровней, формируя дестабилизирующий конфликтный потенциал в социуме.

Неустойчивость социума отражается в попытках разрешения растущего конфликтного потенциала. С 1987 г. доминирует концепция устойчивого развития комиссии WCED «G. H. Brundtland» Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию. Отражая неустойчивость социума, концепция определила развитие социума, как «устойчивое» (англ. *sustainable development*), или в более точном переводе с английского – равновесное, сбалансированное.

Однако, данная концепция не согласуется с природой развития формализованной диалектикой Г.В.Ф. Гегеля: саморазвитие как переход количественных изменений в качественные, единства и борьбы противоположностей, диалектическое отрицания. Входя в противоречие с объективными и адекватными законами развития, концепция естественным образом противоречит и практическому развитию социума. Естественно, что, не получив научного обоснования, она выступает как политико-социальная рекомендация для социума. Распространение же концепции устойчивого развития ознаменовалось [88] «современным глобальным социально-экономическим кризисом», что вызывает сомнение не только в ее состоятельности, но и безопасности.

Навязываемая социуму стабильность препятствует его развитию в рамках объективной реальности. Более того [88], попытки научного обоснования данной концепции приводят к накоплению и концентрации конфликтного потенциала в социуме, что может в дальнейшем привести к катастрофическому его разрешению. В результате актуализируется поиск и прогнозирование путей развития социума в рамках созданной им искусственной среды.

Естественным образом способность социума генерировать энергию, как форму своего существования и развития, определяет пути его развития. Таким образом, энергогенерация социума на основе концентрации и оптимизации энергоресурсов определяет дальнейшее развитие социума и его структурные трансформации в иные формы.

ГЛАВА 1

ЭНЕРГИЯ И БИОСФЕРА

1.1. Биосфера как результат трансформации первичной энергии

Первичная энергия нашей планеты, в свете современных представлений, преимущественно обусловлена (рис. 1.1) энергиями поглощаемых метеоров и метеоритов, гравитационного поля, эндогенных процессов Земли и потоками излучения Солнца в корреляции с энергией космических объектов.



Рис.1.1. Первичная энергия планеты Земля

Из чего следует, что все процессы на нашей планете есть не что иное, как разнообразные трансформации первичной энергии. Трансформация первичной энергии осуществляется исключительно перераспределением электронов и ядер атомов, при постоянстве их общего числа и изотопного состава химических элементов. Механизм трансформации первичной энергии реализуется посредством разрыва существующих и образования новых химических связей.

Первичная энергия Земли (рис. 1) трансформируется ее эндогенным веществом. В результате цепной самоорганизации [164] возникают устойчивые пространственно-временные формы вещества. Именно эти процессы сформировали магнитосферу и далее все элементы геосферы.

Немногочисленные простые соединения от CO_2 , H_2O , N_2 и минеральных солей сформировали сложные и многообразные органические молекулы и клеточные структуры. Поэтому

трансформация энергии через химические связи как форма самоорганизации вещества [161] синтезировала *устойчивые пространственно-временные формы углеродосодержащих биополимеров* (нуклеиновых кислот, белков и полисахаридов, гликопротеидов, липопротеидов, гликолипидов и др.). Исходя из этого границы, обеспечивающие физическое существование биополимеров, и определяют *биосферу*.

Границы нашей планеты в гидросфере доходят до максимальных глубин, жизнь встречается на дне океанических впадин, до 10-11 км от поверхности, где температура около 0°C. Нижняя граница в литосфере: 3,5-10,5 км определяется температурой денатурации (плавления) белков. Верхнюю границу в атмосфере определяют озоновым слоем, предотвращающем деструкцию биополимеров под действием космического излучения, и оценивают в 20-25 км. Однако, на орбите [185] Международной космической станции (МКС), на высоте около 400 км, найдены жизнеспособные споры и фрагменты ДНК земных микробов споровых бактерий (рода *Bacillus*) и споры грибов (рода *Aureobasidium*), что расширяет принятые границы биосферы.

Биосфера из всего разнообразия трансформации энергии и материи, выделяет единственную форму однонаправленного распространения энергии (самоорганизации) [22, 73, 161] в отличие от круговорота. Непрерывность этого потока *самоорганизации материи* в биосфере, очевидно, и определяется как *жизнь*.

Непрерывный поток энергии через химические связи биомассы, поддерживает устойчивое *неравновесие* (гомеостаз) между живыми организмами и окружающей средой (биогеоценозами), посредством биогеохимических циклов и структуры биосферы. Динамика же биомассы определяется биоциклами продуцентов, консументов и редуцентов, и длительными абиогенными и биогенными (метаморфизм) процессами.

Энергия, накопленная химическими связями биомассы, ее естественным окислением, частично высвобождается и рассеивается (диссипация) в космическое пространство (несколько миллиардов т.н. нефтяного эквивалента, ежегодно), а частично аккумулируется. Абиогенные и биогенные (метаморфизм) процессы формируют углеродосодержащие энергоносители (УСЭ), аккумулируемые в биосфере в виде разнообразных, в том числе ископаемых энергоносителей (торф, нефть, газ и т.п.).

Сублимацией биомассы непрерывной цепной трансформацией энергии и материи (самоорганизацией) стало появление вида *Homo sapiens*. Социализация *Homo sapiens* в рамках социума позволила на основе добычи, накопления, обработки и синтеза информации [161] целевым образом влиять на трансформацию энергии и матери в биосфере (антропогенное воздействие). Вовлечение на этой информационной базе ресурсов биосферы и в первую очередь накопленных УСЭ интенсифицирует непрерывную самоорганизацию и соответственно определяет состояние и динамику развития социума.

Самоорганизация биологического вид *Homo sapiens* социализацией в рамках социума привела [161] к созданию им собственной антропогенной среды своего обитания. Более того, состояние и динамика процессов в социуме определяется его спецификой: информационными потоками, динамикой идеологием, путями их реализации и т.п., что совершенно отсутствует, собственно, в оставшейся части биосферы – биоте.

Из чего логично предположить, что возникший социум представляет [161] *обособленный* открытый, неравновесный, динамический, однонаправленный цепной процесс непрерывной трансформации углеродосодержащих форм материи *с собственным направлением непрерывной самоорганизации*.

1.2. Социум как концентратор первичной энергии

Основу трансформации энергии и вещества в биосфере *Homo sapiens* составляют потребляемые индивидуумом УСЭ энергоемкостью около 2000 ккал/день. Адаптивная трансформация энергии УСЭ реализуется углеводами, (оперативное и частично резервное) и липидами в форме жиров (резервное). Такой механизм трансформации энергии *Homo sapiens* обеспечил из глубины веков и до V–VII в. н. э. не только его адаптацию к внешним энергопотокам, но и процесс его цепной самоорганизации в виде распределенной иерархической системы – социума. В итоге, в биосфере оформилось обособленное *направление непрерывной цепной самоорганизации Homo sapiens*.

Основополагающие особенности социума *Homo sapiens*: накопление, обработка и синтез информации обеспечили (рис. 1.2) вовлечение растительных УСЭ (дрова) в процесс его направленной

непрерывной цепной самоорганизации, от поддержания костра до добычи огня и создания их резервов. Благодаря этому потребление энергии социума *Homo sapiens* увеличилась до 5000 ккал/день.

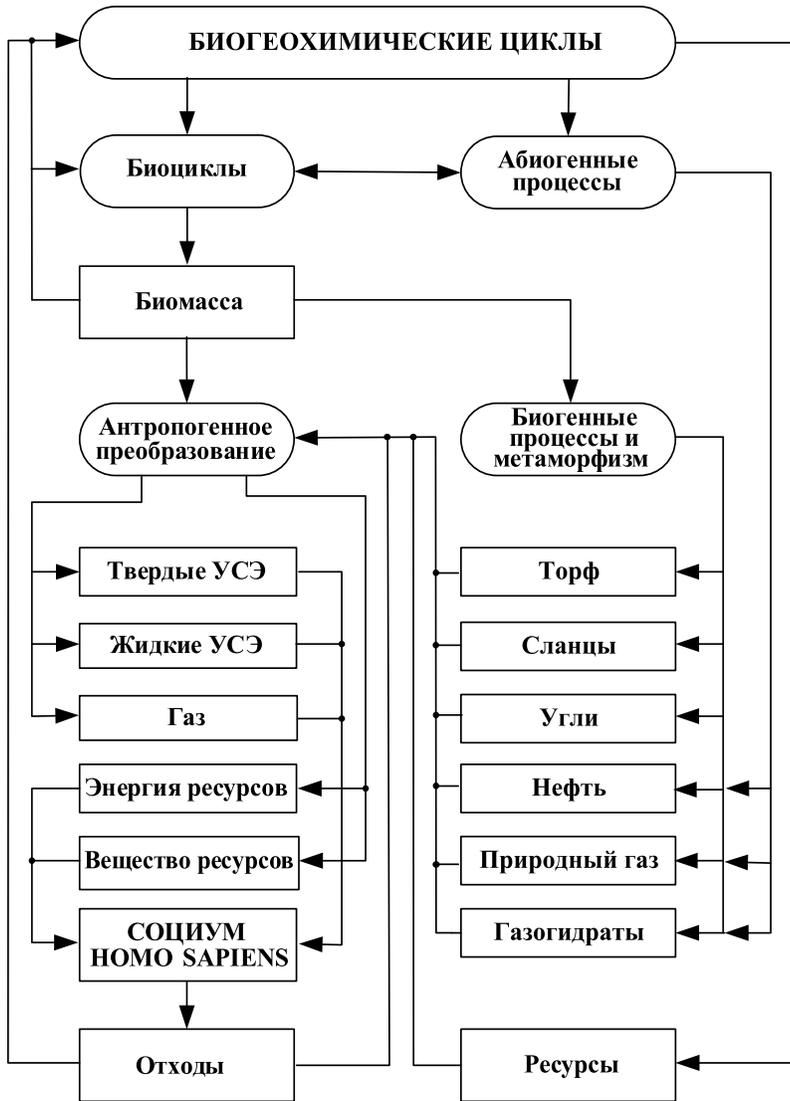


Рис. 1.2. Схема трансформации УСЭ социумом *Homo sapiens*

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Концентрация энергии социумом привела к вовлечению в процесс направленной непрерывной его самоорганизации антропогенным преобразованием и иных окружающих ресурсов.

Антропогенное преобразование окружающих ресурсов в виде генерации устойчивых пространственно-временных форм сопровождается последующей потерей их актуальности и генерацией новых форм. Процессы преобразования, как правило, сопровождаются [55] генерацией сопутствующих не актуальных для социума форм в виде различных выбросов. В итоге устойчивые пространственно - временные формы, теряющие свою целесообразность (экономическую, социальную и т.п.) и не актуальные формы материи в виде различных полей и веществ, формируют отходы.

Вероятно, именно концентрация энергии и положила начало цепной самоорганизации в рамках социума *Homo sapiens*, путем целевого формирования устойчивых *пространственно-временных систем в том числе и [155] институционализации*.

Институционализация обеспечила функционалы процесса «институты» в виде законов, общин, протогосударств и их устойчивость введением граничных условий в виде «институций» норм, обычаев, поведения и т.п.

Вовлечение в процесс цепной самоорганизации природных энергопотоков (излучение солнца, ветер, движение воды и т.п.) VII–XVII вв. увеличило трансформацию энергии в социуме до 25000 ккал/день. Это кардинально увеличило концентрацию вовлечённых в процесс самоорганизации социума (рис. 1.2) антропогенным преобразованием разнообразных окружающих ресурсов.

Естественным следствием концентрации дополнительных ресурсов в процессах самоорганизации социума явилась самоорганизация координации ресурсных потоков (экономическая, социальная и религиозная и т.п.). Это в свою очередь активировало процессы цепной самоорганизации в социуме институционализацией в соответствии с антропогенным преобразованием вовлекаемых энергий и ресурсов.

В итоге доминанта функционала «института» процесса самоорганизации в социуме оформились в распределенную систему государств со своим набором «институций». Именно это позволило концентрировать энергию в рамках социума и

интенсифицировать процессы самоорганизации.

К середине XVIII века социум концентрирует вовлечением в цепной процесс своей самоорганизации (рис. 1.2) антропогенным преобразованием химическую энергию накопленных в биосфере УСЭ (каменного угля, нефти, газа, горючих сланцев и т. д.). Антропогенное преобразование химической энергии в тепловую и механическую, а с XX в. и в электрическую увеличивает потребление энергии в социуме до 230000 ккал/день.

Востребованность формализации [108] происходящих трансформаций энергии проявилась зачатием их моделирования, сформулированного в 1660 г. англичанином Р. Бойлем: «пламя – это элемент». Введение немецким химиком И. Бехером в 1667 г. понятия «огненной субстанции» – флогистон позволило в 1756 г. немецкому химику Г. Шталю представить горение как выделение особого «вещества огня – флогистона».

Эти представления были опровергнуты [61] российским академиком М.В. Ломоносовым в том же 1756 г., обосновавшим горение как реакцию химического взаимодействия вещества с воздухом. Результаты были сообщены Ломоносовым Конференции Академии, но не опубликованы, а потому не получили своевременно широкой известности. Спустя 17 лет блестящее подтверждение окислительного характера горения в 1773 г. сделал французский учёный А. Лавуазье, установив роль кислорода в горении.

В 1840 г. открыт основной закон термохимии о зависимости теплового эффекта химической реакции исключительно от природы и физического состояния исходных веществ и продуктов реакции [30] российским академиком Г.И. Гессом.

Следующий этап в познании основ горения [151] связан с работами французов Ф.Э. Малляра, А. Ле Шателье и российского (советского) физика В.А. Михельсона, выполненными в 1880-1890 г. и выявившими влияние физических параметров на процесс горения. Венцом этапа явилось открытие российским (советским) физиком В.А. Михельсоном [64] закона распространения пламени (носящего его имя) и создание им основ тепловой теории взрывного горения. В итоге в 1896 г. российский (советский) академик А.Н. Бах, разработал [11] теорию перекисного автоокисления, объяснившую самопроизвольно протекающие процессы окисления, являющиеся в том числе причиной самовозгорания различных веществ.

Прорывом (1897 г.) в инженерных расчетах энергогенерации

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

явилась методика Д.И. Менделеева [63] приближенного определения низшей теплоты сгорания отдельных видов горючих веществ.

Современное представление теории горения сформировалось в 1920-е г. с работ [85, 86] советского академика Н.Н. Семёнова по тепловому взрыву. В 1938 году советский физик Д.А. Франк-Каменецкий развил [101] теорию теплового взрыва и вместе с советским академиком Я.Б. Зельдовичем [39] теорию распространения ламинарного пламени в предварительно перемешанных смесях.

В том же 1938 году советский инженер - ученый А.Ф. Беляев раскрыл природное явление [13]: горение летучих веществ происходит в газовой фазе. Таким образом, вопрос о скорости горения веществ был сведён к вопросу о скорости горения в газовой фазе, и в 1942 году советский академик Я.Б. Зельдович [36] развил фундаментальную теорию горения конденсированных веществ, основанную на теории распространения пламени в газовой фазе.

В 1940-е годы советский академик Я.Б. Зельдович формирует [37] теорию детонации, названную моделью ZND – по имени Зельдовича, Неймана и Дёринга, так как независимо от него к схожим результатам пришли американский физик-математик Д. фон Нейман и немецкий физик В. Дёринг.

В 1939-1940 годах советские академик Я.Б. Зельдович и будущий академик Ю. Б. Харитон [40] *впервые* теоретически показали, что при небольшом обогащении природного урана ^{235}U можно создать условия для непрерывного деления атомных ядер, то есть придать процессу цепной характер.

За работы [87] по раскрытию фундаментальных механизмов разветвленных цепных реакций и теплового самовоспламенения (взрыва) советский академик Н.Н. Семенов в 1956 году был удостоен Нобелевской премии.

Разработка модельного представления о энергогенерации позволила на сегодняшний день реализовать инженерные решения позволяющие увеличить потребление энергии в социуме более чем в 100 раз.

Из чего бесспорно следует, что именно российские и в большей степени советские ученые, создали фундамент энергогенерации, определив тем самым существование, образ, динамику трансформаций и в конечном итоге процессы самоорганизации социума Homo sapiens.

В итоге социум *Homo sapiens* на основе антропогенной трансформации (рис. 1.2) энергоресурсов увеличивает энергогенерацию, что приводит к концентрации в нем энергии. Концентрация энергии в социуме свою очередь приводит к интенсификации трансформаций и резкому росту вовлекаемых ресурсов, то есть их концентрации в рамках социума. Таким образом, концентрация ресурсов в социуме приводит к интенсификации и оптимизации трансформации энергии. Но это в свою очередь приводит и к адаптации социума к этим процессам.

Таким образом, концентрация социумом энергии энергогенерации обеспечивает *направленную непрерывную самоорганизацию вещества* в его рамках предопределяя и его трансформацию в новые формы.

Очевидно, что все энергоресурсы обладают различными свойствами и естественно различной энергоэффективностью в отношении процессов самоорганизации. Поэтому актуализируется оценка эффективности энергоресурсов, вовлекаемых и концентрируемых энергогенерацией в процессы самоорганизации социума.

1.3. Критерий оценки эффективности энергоресурсов EROEI

Множество критериев сравнения и оценки эффективности энергоресурсов [31, 105, 110], обусловлены достижением поставленных целей. Специфические свойства энергоносителей, так как накопление (гидро и атмосферные потоки, атмосферное электричество и т.п.), транспортабельность или стабильность, как и многое другое могут определять их эффективность в конкретных условиях. Поэтому необходима объективная оценка эффективности энергоресурсов в энергообеспечении социума.

Очевидно, что объективная оценка энергоресурса подразумевает учет всей цепи его трансформации и конечной реализации.

Утверждая, что хищник не может тратить больше энергии, чем получает ее на охоте, биолог Ч. Холл ввел понятие «EROI», как своеобразный аналог КПД процесса. Далее Холл [174] перенес эту идею на добычу нефти и далее с группой коллег распространил на оценку эффективности энергоносителей. Следует отметить одновременный параллельный вклад отечественных учёных В.И. Лузина, Н.И. Арефьева и др.

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

В результате EROEI (*energy returned on energy invested*), или EROI (*energy return on investment* определяется как соотношение производимой энергии к затраченной, энергетическая рентабельность). EROEI определяется как соотношение полученной энергии к затраченной на ее получение, энергетическая рентабельность (окупаемость энергозатрат).

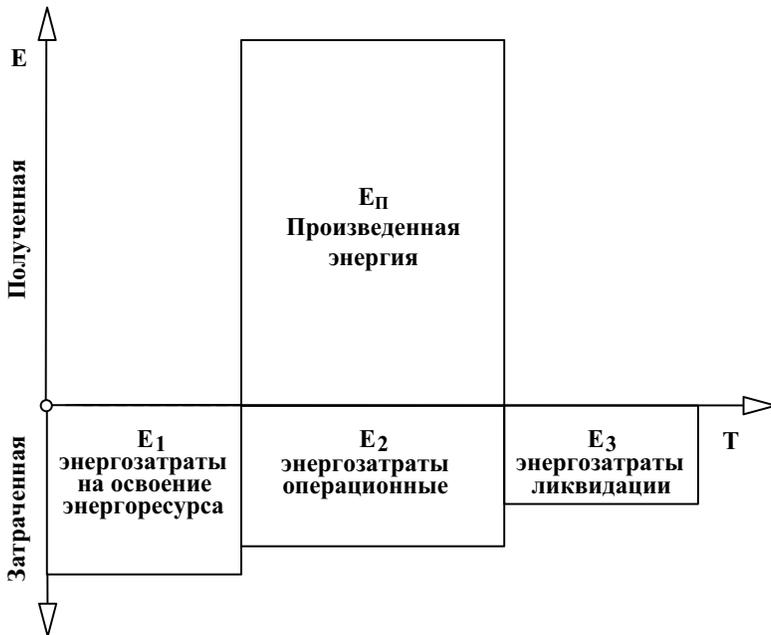


Рис. 1.3. Схема расчета EROI

Исходя из (рис. 1.3) определения $EROEI = \text{Полученная полезная энергия} / \text{Затраченная энергия}$ или:

$$E_R = E_{\Pi} / (E_1 + E_2 + E_3), \quad (1.1)$$

где: E_{Π} – EROI энергия энергоресурса, произведенная за определенный период времени;

E_1 – энергия, затраченная на освоение энергоресурса, за определенный период времени;

E_2 – энергия, затраченная на операционные работы, связанные с непосредственной добычей, подготовкой и реализацией энергоресурса за определенный период времени;

E_3 – энергия, затраченная на ликвидационные работы, связанные с ликвидацией инфраструктур и рекультивации после завершения эксплуатации энергоресурса за определенный период времени;

Из формулы (1.1) следует, что актуальность энергоресурса определяется принципиально тремя значениями:

- $EROI = 1$ – на потребление энергии энергоресурса затрачивается количество энергии равное полученной. Энергоресурс с нулевым результатом и является по сути бессмысленным,
- $EROI < 1$ – потребление энергии энергоресурса энергетически убыточно, и потому неприемлемо,
- $EROI > 1$ – потребление энергии энергоресурса энергетически прибыльно.

Также из формулы (1.1) следует, что $EROI$:

- 1) Определяется энергией энергоресурса;
- 2) Учет всех процессов энергетической цепи потребления энергии конкретного энергоресурса характеризует его актуальность (принцип суперпозиции);
- 3) Определяется условиями существования энергоресурса и технологиями его реализации;
- 4) Не зависит от финансово-экономической деятельности и идеологием социума;
- 5) Может изменяться с течением времени вследствие изменения технологий реализации энергоресурса.

К недостаткам показателя $EROI$ следует отнести [110]:

- 1) Отсутствие общепринятых принципов построения оцениваемых энергетических цепей (состав элементов и их характеристики). Естественно, сравнения энергетических ресурсов по стандартной методике, возможно, но вероятнее всего будет содержать систематическую ошибку.
- 2) Статичность показателя $EROI$. Не учитывается ни фактор времени, ни динамические характеристики элементов цепи.
- 3) Отсутствие учета образования отходов и их возврата в товарный оборот и естественно динамики этих процессов. Более того, традиционный экономический анализ не формализует оборот отходов по итогам всего процесса производства.

Поэтому многие оценки посредством $EROI$ грешат лукавством [105, 110], но, тем не менее, альтернативы пока нет.

Таким образом, актуальность $EROI$ очевидна для выявления

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

градиентов (тенденций и трендов), но он не может быть определяющим в оценке энергоресурсов. Более того, целевые функции анализа (энергонезависимость, энергобезопасность, доступность энергоресурсов и т.п.) требуют и других целевых показателей.

Развитие методологии определения EROI сопровождается как более четким и детальным определением границ и содержаний затрат энергоресурса, так и эффективности его реализации социумом, затрачиваемой и добытой энергией. В связи с этим оперируют [140] различными подходами:

1. *Стандартный подход EROI ($EROI_{ST}$)*: отношение произведенной энергии (план) территориального источника (т. е. на месте) к непосредственно затраченной (т. е. вне места производства энергии), необходимой для ее производства (используемой на месте).

Такой расчет EROI характеризует энергоресурс в территориальной точке, где энергоресурс покидает добычу или производство (скважину, шахту и т. д.). Этот подход позволяет сравнивать различные виды энергоресурсов.

2. *EROI (std)*: в затратах энергии учитываются энергозатраты на материальное снабжение, обеспечение оборудованием, вплоть до строительства офисных зданий и бонусов управленцам. Эти расходы, находясь в экономических рамках, имеют обязательный эквивалент энергозатрат. Именно этот вариант расчета EROEI общепринят за основу на сегодняшний день.

3. *Точка использования EROI ($EROI_{POU}$)*: территориальное расширение, дополнительно включает в себя затраты, связанные с переработкой и транспортировкой энергоресурса. По мере расширения границ анализа, энергозатраты на его доведение до этой точки возрастают, что приводит к снижению EROI.

4. *Расширенный EROEI ($EROI_{EXT}$)*: этот анализ рассматривает затраты энергии, необходимые не только для получения, но и для использования энергоресурса. То есть, это EROI энергоресурса до реализации социумом.

5. *Социальный EROI ($EROI_{SOC}$)*: это интегральный, EROI который определяет эффективность любого энергоресурса для социума. EROI определяется путем суммирования всех преимуществ и всех затрат на его получение. Насколько известно, этот расчет еще предстоит провести. Трудности реализации обусловлены

учетом всех параметров, необходимых для создания всеобъемлющей социальной ценности EROI. Авторы разрабатывают предварительный метод для получения $EROI_{soc}$ на национальном уровне.

В приложении № 2 приведены EROEI для различных первичных энергоисточников.

Однако адекватность приведённых оценок, как отмечалось, грешит лукавством.

Так, EROI для гидроэнергетики, гелиоэнергетики и геотермальной энергетики, в известных оценках не учитывает соотношение энергии, полученной или предположительно полученной за весь период эксплуатации энергоисточника, к энергии, затраченной за весь период эксплуатации и его полной ликвидации [110].

Актуален учет [110] затрат на создание и эксплуатацию транспортно-распределительной инфраструктуры энергии энергоресурса до конечного потребления. Во многом затраты на инфраструктуру определяют и ликвидность энергоресурса. Учет потерь в инфраструктуре резко снизит эффективность энергоресурсов, например, гидроэнергетики, гелиоэнергетики и геотермальной энергетики.

При открытии энергоресурса «нефть» один баррель (бочка) нефти обеспечивал разведку, добычу и переработку 80-100 баррелей нефти. За последнее столетие это соотношение снизилось до 3 полученных баррелей на один затраченный в США и примерно до 10 к 1 в Саудовской Аравии. Экономическая рентабельность нефти и газа вследствие усложнения условий их добычи [148, 174] снизился за последние 80 лет более чем в 5 раз.

В тоже время EROI альтернативных источников энергогенерации [148] имеет незначительный рост за счет совершенствования технологий и увеличения товарных объёмов.

1.4. Актуальность энергоресурсов

Действительно, первичная энергия нашей планеты, как и иницилируемые ей разнообразные природные явления, могут быть адаптированы социумом в разнообразные энергоресурсы.

На основании эмпирических значений EROI для разнообразных энергоресурсов (рис. 1.4) смоделирован «Обрыв» энергоэффективности [110, 148]:

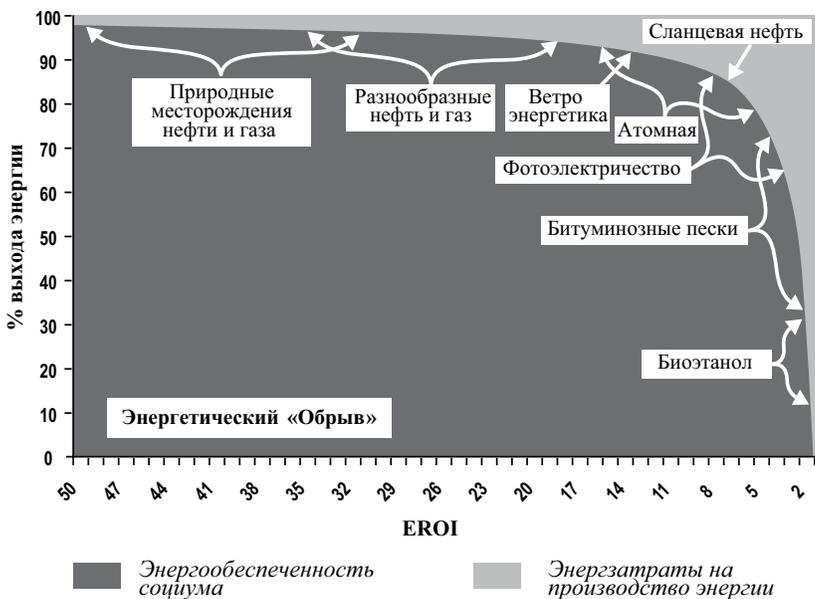


Рис. 1.4. «Обрыв» энергоэффективности

Соотношение (рис. 1.4) энергообеспеченности социума (темно-серая область) и энергозатрат (светло-серая область) на его обеспечение, при стремлении EROI 1:1, экспоненциально уменьшается.

Высокое значение EROI энергоресурса больше энергообеспечивает социум. Например (рис. 1.4), EROI 100:1 энергоресурса (горизонтальная ось) обеспечивает социум с энергоэффективностью 99% (вертикальная ось). И наоборот, низкое значение EROI энергоресурса предоставит социуму меньше энергии. Так, энергоресурс (рис. 1.4) с EROI 2:1 (горизонтальная ось) обеспечивает социум с энергоэффективностью уже 50% (вертикальная ось).

Существенные колебания (рис. 1.4) в диапазоне высоких значений EROI (например, от 100 до 50:1), практически не влияют на социум. В то же время (рис. 1.4) небольшие вариации в диапазоне низких значений EROI (например, от 5 до 2,5:1) негативны для социума, так как экспоненциально уменьшается их энергоэффективность, а следовательно, и энергообеспеченность социума.

Таким образом [148], снижение совокупной энергоэффективности энергоресурсов современного социума ниже порога $EROI = 9:1$ даже не обеспечивает существующий уровень его энергообеспеченности и приводит к его стагнации. Исходя из этого [148] «динамика снижения $EROI$ ископаемых энергоресурсов представляет собой очень опасный и трудноразрешимый вызов для промышленных экономик мира и цивилизации в целом».

Очевидно, что оценка энергоэффективности энергоресурсов должна отражать [110] их территориальную специфику и энергогенерации на их основе. Более того очевидно и то, что существенное влияние на оценку окажет и инфраструктура той или иной агломерации.

Социуму не только для поддержания современного [148] уровня, но и для развития необходим не просто избыток энергии, а избыток в большом объеме. Это предполагает [148] либо наличие энергоресурсов с очень высоким $EROI > 100$, либо очень большое количество источников с умеренным $EROI$ не менее $15:1$.

1.5. Энергогенерация экзотермическим окислением УСЭ

Современная энергогенерация на основе экзотермического окисления (сжигания) более 10 млрд тн/год (в нефтяном эквиваленте) УСЭ обеспечивает от 86 до 90% энергопотребления социума. Прогнозы развития энергогенерации от уровня 2016 до 2040 г.г. (World Energy Outlook, WEO, World Oil Outlook, WOO, International Energy Outlook, IEO, Energy Outlook, EO) оценивают ее рост более 35% преимущественно за счет энергогенерации экзотермическим окислением на базе ископаемых УСЭ.

Следовательно, несмотря на разнообразие энергоисточников, в современной энергогенерации доминируют УСЭ, причем ископаемые. Исходя из этого, *направленная непрерывная самоорганизация вещества* в рамках современного социума обеспечивается концентрацией энергии, преимущественно энергогенерацией на основе УСЭ посредством экзотермического окисления (рис. 1.5.):

Энергогенерация на основе УСЭ реализует энергию химических связей углеродосодержащих форм вещества экзотермическим окислением в процессе горения.

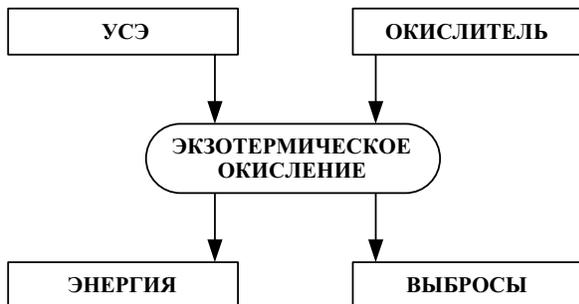


Рис.1.5. Экзотермическое окисление УСЭ

Распространение процесса горения в однофазной (газовой) среде обусловлено молекулярными миграциями. За счет градиента температуры (рис. 1.6) энергия из зоны реакции кондуктивным переносом передается в область УСЭ. Это инициирует новые объемы УСЭ (кинетический режим горения) самоподдержанием распространения зоны экзотермического окисления. Исходя из уравнения теплопроводности:

$$\partial T / \partial t = \chi \Delta T,$$

следует, что размер (рис. 1.6) зоны повышенной температуры:

$$\delta \sim (\chi t)^{0.5},$$

где $\chi = \kappa / C_v$ – температуропроводность (отношение коэффициента теплопроводности κ к теплоемкости (при постоянном объеме) C_v единицы объема газа). Энергия, выделяемая за время реакции τ_p , распространяется за это время на расстояние $\delta \sim (\chi \tau_p)^{0.5}$ (ширина зоны горения).

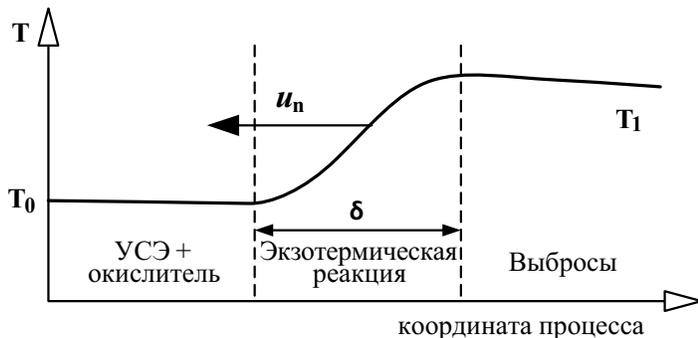


Рис. 1.6. Схема распределения температуры в процессе горения

При химической реакции происходит перегруппировка атомов, которая связана с определенными затратами или выделением энергии. Число атомов данного элемента в смеси постоянно для всех состояний реагирующей смеси:

$$\sum_i v_{ik} N_i = B_k = \text{const}, \quad (1.2)$$

где: v_{ik} - число атомов k -го элемента в i -ой молекуле, N_i - число в i -х молекул в системе, B_k полное число атомов данного (k -го) элемента в системе.

Энергия выделяется (приложение № 3) в виде электромагнитного излучения. Выделяемая энергия находится преимущественно в тепловом и оптическом диапазонах. Экзотермическое окисление УСЭ сопровождается (приложение № 3) выделением воды и углекислого газа. Поэтому электромагнитное излучение в ИК диапазоне характеризуется пиком интенсивности излучения молекул углекислого газа на длине волны 4,3 мкм и молекул воды на 2,7 мкм. Пик излучения в УФ диапазоне находится на длине волны 220 нм и в большинстве случаев не зависит от типа УСЭ.

Скорость движения смеси УСЭ и окислителя определяет процесс горения как *медленный* (дефлаграция) или *детонационный*. Медленное горение (ламинарное или турбулентное) распространяется с дозвуковой скоростью и нагревом исходной смеси в основном теплопроводностью. Детонационная же волна (всегда турбулентное) движется со сверхзвуковой скоростью [150] поддерживая химические реакции нагревом реагентов ударной волной и поддерживает устойчивое распространение ударной волны.

Скорость ламинарного пламени $u_n \sim \delta/\tau_p \sim (\chi/\tau_p)^{0.5}$ не зависит от начальных условий поджигания и определяется кинетическими и физико-химическими характеристиками смеси УСЭ и окислителя. Для большинства УСЭ (в нормальных условиях) в воздухе [137] может варьироваться примерно от 10 до 70 сантиметров в секунду.

В инженерной практике наиболее часто встречающийся режим горения турбулентный.

Турбулентность одна из немногих нерешённых проблем классической физики, тем более во взаимодействии с фронтом горения. Горение может как интенсифицировать турбулентность, за счёт дополнительного тепловыделения, так и наоборот, уменьшать её из-за увеличения вязкости с повышением температуры.

Турбулентность, деформируя фронт пламени, увеличивает площадь фронта. Вследствие этого резко возрастает тепловыделение в потоке, то есть увеличивается мощность всей системы. Турбулентность также интенсифицирует процессы смешения компонентов. Поэтому инженерные решения в энергогенераторах (двигателях, топках, газотурбинных установках) используют именно турбулентный режим.

Интенсивная турбулентность сопровождается стохастическими пульсациями скорости и давления, которые могут вызывать неустойчивость горения и привести к разрушению конструкции и увеличению в выбросах содержания токсичных веществ.

Даже простейшая реакция окисления представляет сложнейшую динамическую полисистему, характеризующуюся неоднородностями состояния молекул, их концентраций, неравномерностями полей температур и скоростей потоков.

Кинетическая схема реакций при горении даже самых простых УСЭ, включает [150] более сотни компонентов, участвующих в сотнях элементарных химических реакций. Образованная сложнейшая динамическая полисистема характеризуется неоднородными состояниями молекул и их наноразмерных фрагментов, как и их концентрациями. Это приводит к объемным неоднородностям энергопотоков (температур) и скоростей материальных потоков в полисистеме.

Энергогенерация на основе УСЭ реализуется через химические связи углеродосодержащих форм вещества (рис. 1.5) экзотермическим окислением, как и любые химические процессы в два этапа:

Физический этап – создание молекулярного контакта между УСЭ и окислителем;

Химический этап – реализация энергии химических связей УСЭ путем взаимодействия молекул с образованием продуктов реакции.

Доминирующий механизм экзотермического окисления (горения) углеродосодержащей части веществ:



где n , m — число атомов углерода и водорода в молекуле; Q_C и Q_K — тепловые эффекты реакций, или теплота сгорания.

Происходящий разрыв химических связей между атомами в молекулах УСЭ и окислителя сопровождается образованием химических связей между атомами в молекулах веществ, образующих выбросы. Разрыв химических связей связан с затратами энергии, а образование новых химических связей приводит к выделению энергии (экзотермический процесс). Суммы энергий всех разорванных и всех образованных связей меняют внутреннюю энергию системы, приводя к выделению энергии, преимущественно в виде тепла.

Энергия разрыва превалирующих связей между атомами в молекулах представлена в приложении № 4. Логично, что физико-химические характеристики УСЭ, а, следовательно, и энергогенерацию при их окислении определяют *типы атомарных связей* в их молекулах, т. е. вид УСЭ. Переход от более лёгкой к более тяжёлой фракции УСЭ сопровождается ростом размеров и разветвлённости их молекул и, как следствие, снижению скорости реакций окисления.

Согласно первому началу термодинамики, часть этой внутренней энергии расходуется на приращение энтальпии веществ (тепловой эффект реакций), а другая часть совершает работу расширения над газообразными продуктами.

Тепловой эффект реакции, протекающей в условиях постоянства давления и постоянства температуры ($p = \text{const}$, $T = \text{const}$), равен изменению энтальпии системы ΔH . Тепловой эффект химической реакции обозначается символами Q или ΔH , причем их значения равны по величине, но противоположны по знаку: $+Q = -\Delta H$.

Тепловой эффект при постоянном давлении отличается от теплового эффекта при постоянном объеме на величину работы расширения. Однако эта разница столь не существенна, по сравнению с величиной самого теплового эффекта, что при практических расчетах ею вполне можно пренебречь. Тепловой эффект реакции окисления (горения), отнесенный к единице УСЭ, определяют как теплоту (сгорания) окисления 1 моля УСЭ в избытке кислорода до высших устойчивых оксидов. Теплота сгорания взаимосвязана с энергией связи атомов в молекулах продуктов сгорания и исходных реагентов.

Фундаментальными условиями протекания процесса окисления (горения) являются:

- Экзотермическое окисление возможно при конкретном количественном соотношении (закон Дальтона) горючих составляющих УСЭ и окислителя. Соотношение определяется из стехиометрических уравнений полного окисления, особенностью которых является их обратимость (принцип динамического равновесия Ле Шателье - Брауна (4.1));
- Массоперенос реагирующих компонентов в зону реакции и продуктов реакции из нее на молекулярном уровне;

Тепловой эффект химической реакции зависит исключительно от природы и физического состояния исходных веществ и продуктов реакции, и не зависит от промежуточных стадий процесса (закон Г.И. Гесса 1840 г.). Это справедливо для тех взаимодействий, которые протекают в изобарно-изотермических (или изохорно-изотермических) условиях при том, что единственным видом совершаемой работы является работа против сил внешнего давления.

Как следует из закона Гесса тепловой эффект экзотермического окисления УСЭ определяется как разность (рис. 1.5) между суммарной теплотой образования выбросов и суммарной теплотой образования всех УСЭ в данной реакции:

$$\Delta H_{реакция}^0 = \sum \Delta H_f^0 (выбросы) - \sum \Delta H_f^0 (УСЭ), \quad (1.5)$$

где: ΔH_f^0 стандартная энтальпия образования, индекс f означает (*formation*) образование знак «⁰» в верхнем индексе указывает, что величина относится к стандартному состоянию вещества: один моль индивидуального химического соединения, взятого в чистом виде при стандартных условиях*. Данные по величинам стандартных энтальпий образования и сгорания многих веществ приводятся в справочных таблицах термодинамических величин.

1.5.1 Окислитель

В качестве окислителя в (рис. 1.5) общем случае могут использоваться как чистый кислород (O_2) и его модификации (O , O_3), так и другие активные химические соединения окислители: азотная кислота (HNO_3), перекись водорода (H_2O_2) и др.

* Национальный институт стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology, NIST) регламентирует температуру +20 °C (293,15 K) и давление 101 325 Па (1 атм).

Окислителем, в экзотермических реакциях окисления УСЭ, традиционно выступает кислород воздуха.

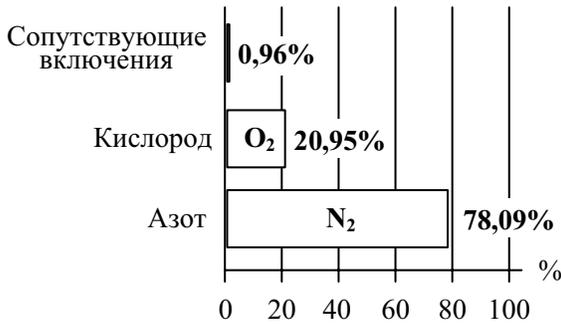


Рис. 1.7. Состав атмосферы

Атмосферный воздух по своему составу представляет собой механическую смесь газов (рис. 1.7), основными из которых являются: азот (N₂) – 78,09% по объему и 75,5% по массе; кислород (O₂) – 20,93% по объему и 23,2% по массе; инертные газы (Ar, He, Ne, Kr) – 0,9% по объему и 1,3% по массе. Одновременно в атмосфере всегда присутствует незначительное количество углекислого газа (около 0,03%), водорода, закиси азота и др., а также водяных паров и пыли. Все эти составляющие воздуха, кроме кислорода, при горении углеродосодержащих веществ в реакцию горения практически не вступают. Кислород, азот и инертные газы считаются постоянными составными частями воздуха. Содержание же углекислого газа, водяных паров и пыли непостоянно и может изменяться в зависимости от условий, в которых протекает тот или иной процесс горения.

Логично стремление увеличить содержание O₂ в газовой смеси окислителя и минимизировать балласт. Из множества известных методов практический интерес, по-видимому, представляют следующие:

Магнитодинамический [97]. Обогащение O₂ базируется на парамагнитных свойствах кислорода (в пятьдесят раз превышающих свойства большинства газов) и магнитной восприимчивости азота близкой к нулю. Разделение потока воздуха в постоянном магнитном поле на составляющие позволяет увеличить содержанием O₂ до 40% в газовой смеси окислителя с минимальным потреблением электроэнергии.

Адсорбционный [47]. Основан на избирательной адсорбции молекул различных газов. Селективная адсорбция N_2 наиболее сильно проявляется на синтетических цеолитах типа СаА, а также на природных морденитах и клиноптилолитах. Продукт, содержащий до 80% O_2 , обычно производят в одну ступень, более концентрированный экономичнее получать в две ступени. Расход энергии составляет от 0,2 - 1,0 кВт×ч/м³.

Криогенный [15]. Разделение воздуха осуществляется при температурах ниже 150°C путем ректификации. Расход энергии на получение 99,5%-ного O_2 достигает 0,38 - 0,42 кВт×ч/м³.

Каталитическое окисление [16] принципиально отличается от горения в традиционном понимании - топливо окисляется на поверхности твердого катализатора без образования пламени. Количественное Окисление УСЭ практически полное, без избытка воздуха.

Процесс каталитического гетерогенного горения схематически можно представить как химическое взаимодействие компонентов топлива с поверхностным кислородом катализатора с последующей регенерацией восстановленной поверхности кислородом воздуха.

В зависимости от активности катализатора, которая определяется энергией связи поверхностного кислорода с активным компонентом катализатора, процесс полного окисления углеводородных топлив может протекать при температурах 500-900°C.

Практически наиболее часто используют две группы катализаторов:

- 1) металлы, в качестве которых применяют Pt и Pd;
- 2) оксиды металлов - Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , CuO.

В присутствии катализаторов первой группы процесс окисления протекает при температуре 150-250°C, на катализаторах второй группы – при температуре 300-500°C.

Если в качестве окислителя применять чистый кислород вместо воздуха, то есть реализовывать процесс экзотермического окисления (горения) УСЭ в соответствии с моделью (1.3 и 1.4), то выбросы можно кардинально минимизировать. Так, при сжигании природного газа практически полностью удаётся избежать токсических выбросов. Примером может служить технология, предложенная норвежской фирмой Aker Technology, запустившей в 2005 г. демонстрационную установку мощностью до 40 МВт.

ИТОГИ 1 ГЛАВЫ

Энергогенерация на основе вовлекаемых ресурсов концентрирует энергию в социуме интенсифицируя цепные процессы *направленной непрерывной самоорганизации вещества* в его рамках.

Актуализируется оценка эффективности энергоресурсов, вовлекаемых и концентрируемых энергогенерацией в процессы самоорганизации социума.

Вовлечение социумом энергоресурсов востребует формализацию процессов трансформаций энергии и ее фундамента – энергогенерации.

Именно российские и в большей степени советские ученые, создали фундамент энергогенерации, определив тем самым существование, образ, динамику трансформаций и в конечном итоге процессы самоорганизации социума Homo sapiens.

Развитие социума возможно при большом избытке энергии. Это предполагает либо наличие энергоресурсов с очень высоким EROI > 100, либо очень большое количество источников с умеренным EROI не менее 15: 1.

Снижение совокупной энергоэффективности энергоресурсов современного социума ниже порога EROI = 9:1 приводит к его стагнации.

Доминирующим современным энергоресурсом являются ископаемые УСЭ, несмотря на снижение их энергоэффективности в 5 раз за столетие.

Энергогенерация на основе УСЭ реализует энергию химических связей углеродосодержащих форм вещества экзотермическим окислением при взаимодействии с окислителем и сопровождается выбросами.

Тепловой эффект экзотермического окисления УСЭ определяется (закон Гесса) как разность между суммарной теплотой образования выбросов и суммарной теплотой образования всех УСЭ в данной реакции.

Окислителем, в экзотермическом окислении УСЭ, традиционно выступает кислород воздуха, увеличение содержания которого в газовой смеси окислителя минимизирует балласт.

ГЛАВА 2

УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ (УСЭ)

2.1. Параметры УСЭ

Доминанта процесса экзотермического окисления – УСЭ комплекс как природных органических, так и неорганических веществ разнообразного химического строения. При нагреве и взаимодействии с окислителем происходит распад этих комплексов на более простые соединения и элементы, и образование новых. Поэтому многоплановость и многопараметричность задач, связанных с практической энергогенерацией на базе УСЭ, сформировало [108] ряд оценочных представлений и показателей.

Инженерная реализация энергогенерации экзотермическим окислением УСЭ, определяется преимущественно его физико-химическими свойствами. Свойства вещества УСЭ фиксируются при нормальных условиях, утвержденных IUPAC (Международным союзом практической и прикладной химии): давление $101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$, температура $273,15 \text{ К} = 0^\circ\text{C}$.



Рис.2.1. Фазовые формы УСЭ

Углерод (С) в УСЭ присутствует в виде твёрдого вещества различных аллотропных модификаций с очень разнообразными физическими свойствами, но преимущественно в виде аморфных форм. Агрегатное же состояние углеводородов (рис. 2.1) при нормальных условиях в УСЭ определяется содержанием в

Глава 2. УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ (УСЭ)

них углерода (С), так вещества, содержащие от 1 до 4 атомов углерода ($C_1 - C_4$) являются газами; следующие одиннадцать углеводородов ($C_5 - C_{15}$) – жидкости; начиная с углеводорода $C_{16}H_{34}$ – твердые вещества.

Энергопотенциал УСЭ формируется энергией химических связей преимущественно многочисленных высокомолекулярных органических соединений. Качественный и количественный анализ этих соединений сложен и трудоёмок. Поскольку энергопотенциал УСЭ определяется только начальным и конечным состоянием вещества, логично определить его состав содержанием (в процентах по массе) отдельных химических элементов: углерода (С), водорода (Н), горючей серы (S_G), кислорода (О), азота (N), а также природными минеральными примесями (А) и влагой (W), что наглядно иллюстрирует схема (рис. 2.2):

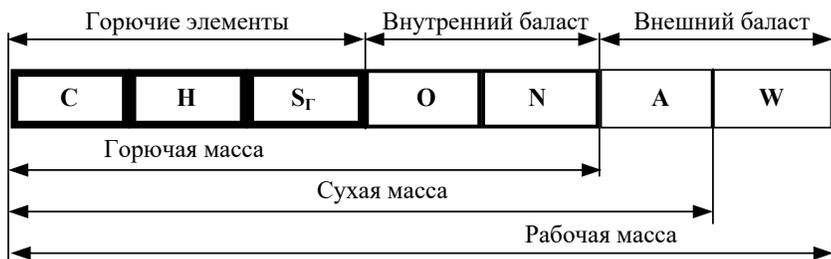


Рис.2.2. Элементный состав УСЭ

Химические связи углерода, водорода и серы (органическая и пиритная) определяют (таблица 2.1) формирование энергопотенциала УСЭ, поэтому они и определяются как «горючие элементы». В связанном с ними состоянии находятся кислород и азот, образуя внутренний балласт УСЭ. Минеральные включения и влага составляет внешний балласт УСЭ.

Таблица 2.1

Горючий элемент	Энергопотенциал Q_i (МДж/кг)	Содержание в УСЭ (%)		
		твердые	жидкие	газы
С	34,1	40 - 75	90	Более 75
Н	120,5	1-5	10-11	25
$S_G = S_o + S_p$	9,3	0,3-3	0,3-3	--

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Углерод (С) (таблица 2.1) составляя от 40 до 75% массы твёрдого топлива, до 90% массы мазута и более 75% массы природного газа доминирует в формировании энергopotенциала УСЭ. Энергopotенциал трансформации химических связей углерода оценивается в 34,1 МДж/кг.

Водород (Н) содержится в УСЭ (таблица 2.1) в незначительном количестве (1-5% в твёрдых топливах, 10-11% в мазуте и до 25% в газе), однако энергopotенциал трансформации его химических связей оценивается в 120,5 МДж/кг. Поэтому доля водорода в суммарном энергopotенциале УСЭ значительно меньше, чем углерода, и он является вторым по значимости элементом в составе УСЭ.

Сера (S) содержится в УСЭ (таблица 2.1) в небольших количествах (0,3-3% в углях и мазуте) в трёх видах: органическая S_o , пиритная (или сульфидная) S_p и сульфатная S_{SO_4} . Органическая сера входит в состав сложных высокомолекулярных соединений, пиритная сера находится в топливе в виде сульфидов металлов, например, FeS_2 (пирит, или железный колчедан), $CuFeS_2$ (халькопирит, или медный колчедан). Органическая и пиритная сера составляют горючую (летучую) серу, входящую отдельной составляющей в элементный состав топлива: $S_T = S_o + S_p, \%$.

Энергopotенциал трансформации химических связей серы (S) оценивается в 9,3 МДж/кг, поэтому её вклад в энергopotенциал УСЭ незначителен. Окисление (горение) сульфатов серы ($CaSO_4$, $MgSO_4$, $FeSO_4$ и т.д.), как высших оксидов, не происходит, поэтому они являются частью минеральных примесей УСЭ.

Кислород (O) и азот (N), входящие в состав горючих элементов в виде органических соединений, снижают энергopotенциал УСЭ, образуя (рис. 2.1) внутренний балласт.

Влага (W) при окислении (горении) расходует часть энергopotенциала УСЭ на испарение (рис. 2.2) формируя тем самым внешний балласт. Более того, испарившаяся влага снижает температуру газообразных продуктов сгорания, уменьшая тем самым количество энергии, передаваемой к поверхностям нагрева. Влага в УСЭ попадает как из окружающей среды в процессе добычи, транспортирования и хранения, так и содержится внутри. Внутри УСЭ влага содержится (гигроскопическая) в коллоидально-связанном состоянии и распределена в массе топлива и (гидратная влага) входит в состав молекул некоторых минеральных примесей. В газообразном топливе влага находится в виде паров.

Зола (А), как результат разложения и частичного окисления минеральных примесей УСЭ: сульфаты, карбонаты, силикаты, фосфаты, хлориды, пирита и другие соединения входит (рис. 2.4) в состав внешнего балласта. В состав золы входят окислы MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 и др.

Исходя из этого, химический состав УСЭ целесообразно определять не по количеству соединений, а по суммарной массе химических элементов в топливе в % от 1 кг, т.е. определять его элементарный состав. Состав твердого и жидкого УСЭ определяют в % по массе, а газообразного, как правило, в % по объему.

Товарный УСЭ, характеризуется – рабочей массой. Все компоненты рабочей массы обозначаются индексом r (англ. raw – сырой, необработанный):

$$C^r + H^r + S_{отр}^r + O^r + N^r + A^r + W^r = 100\%. \quad (2.1)$$

Влажность и зольность твёрдого топлива, даже в пределах одного сорта и одного месторождения значительно разнятся, а также изменяются в процессе транспортировки и хранения. Поэтому элементный состав рабочей массы топлива является нестабильной характеристикой топлива. Более стабильной характеристикой является элементный состав сухой массы топлива - индекс d (англ. dry – сухой):

$$C^d + H^d + S_{отр}^d + O^d + N^d + A^d = 100\%. \quad (2.2)$$

Но и сухая масса УСЭ также не стабильна, так как содержание золы зависит от способа и условий его добычи.

Стабильной (неизменной) характеристикой УСЭ является *горючая масса* (сухая беззольная). Горючая масса определяется суммой горючих элементов (C, H, $S_{отр}$) и химически связанного с ними внутреннего балласта - индекс **daf** (англ. dry ash free – сухой беззольный):

$$C^{daf} + H^{daf} + S_{отр}^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 100\%. \quad (2.3)$$

Аналогично используются технологические понятия беззольной массы - индекс **af** (англ. ash free – беззольный) или аналитическая проба - индекс **a**.

Состав УСЭ различных видов и месторождений содержат их технические характеристики и может пересчитываться с одного элементного состава топлива с одной массы на другую.

Энергопотенциал УСЭ характеризует теплота сгорания (теплотворная способность), т.е. количество теплоты, выделяющейся при полном окислении единицы массы твёрдого или жидкого (кДж/кг) или единицы объёма газообразного (кДж/м³) топлива. Теплота сгорания, так же, как и элементный состав, относится к рабочей, сухой или горючей массе УСЭ: Q^r , Q^d , Q^{daf} .

В зависимости от агрегатного состояния влаги в продуктах сгорания, различают *высшую* (Q_s) и *низшую* (Q_i) теплоту сгорания (s – англ. superior – высший, i – inferior – низший). Влага в продуктах сгорания топлива образуется при горении горючей массы водорода H , а также при испарении влаги топлива W . В продукты сгорания попадает также и влага окислителя (воздуха).

Высшая теплота сгорания Q_s определяет максимальное количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы количества топлива (1 кг – твёрдое или жидкое, 1 м³ – газообразное) с учётом теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания. Разница между высшей и низшей теплотой сгорания обычно находится в пределах от 5% до 6% высшего значения для твердых и жидких УСЭ и около 10% для природного газа.

Низкотемпературная коррозия конструкций энергогенераторов предотвращается при условии: температура уходящих газов больше температуры конденсации водяного пара. Из этого следует, что Q_s при принятии инженерных решений не актуальна. Поэтому энергопотенциал УСЭ оценивается низшей теплотой сгорания Q_i , определяемой вычитанием из высшей теплоты сгорания Q_s теплоты Q_k конденсации водяных паров, которые образуются при испарении влаги, содержащейся в топливе, а также при сгорании водорода УСЭ:

$$Q_i^r = Q_s^r - Q_k \quad (2.4)$$

При отсутствии опытных данных энергопотенциал УСЭ с известным элементным составом может быть приближённо рассчитана по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q = r_1 Q_1 + r_2 Q_2 + \dots + r_n Q_n \quad (2.5)$$

Где: r_1, r_2, \dots, r_n – объёмные (молярные, массовые) доли компонентов, входящих в смесь; Q_1, Q_2, \dots, Q_n – теплота сгорания компонентов.

Приближённая оценка энергопотенциала, отнесённая

Глава 2. УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ (УСЭ)

к рабочей массе твердого и жидкого УСЭ (Q^P), может быть произведена по формуле Менделеева:

$$Q^P = 81C^P + 300H^P - 26(O^P - S^P_{л}) - 6(9H^P + W^P), \quad (2.6)$$

где: C^P , H^P , O^P , $S^P_{л}$, W^P – содержание в рабочей массе УСЭ углерода, водорода, кислорода, летучей серы и влаги в % (по массе).

Энергопотенциал газообразного УСЭ, отнесённый к рабочей массе газообразных горючих составляющих:

$$Q_n^c = 0,01(Q_{C_{H4}}CH_4 + Q_{C_2H_6}C_2H_6 + Q_{C_3H_8}C_3H_8 + Q_{C_4H_{10}}C_4H_{10} + \dots), \quad (2.7)$$

где: CH_4 , C_2H_6 и т.д. – содержание горючих газов в сухом газовом топливе, в % по объему;

$Q_{C_{H4}}$, $Q_{C_2H_6}$ и т.д. – низшая теплота сгорания соответствующих газов, МДж/м³.

Приведённые характеристики зольности A^n , влажности W^n и серности $S^n_{л}$, отнесёнными к 1 МДж низшей теплоты сгорания 1 кг рабочей массы УСЭ Q^r_i позволяют сравнивать различные УСЭ (топлива).

Поскольку теплота сгорания различных УСЭ, варьируясь в больших пределах, определяет их расход при энергогенерации, то для сравнения энергопотенциалов различных УСЭ введено понятие *условного топлива*. Понятие *условного топлива* как общий способ сравнения энергопотенциалов УСЭ используется не только при потреблении, но и планировании добычи и производстве. Таким образом, *условное топливо* – это мера сопоставления эффективности энергопотенциалов различных видов УСЭ и их суммарного учета.

Отношение Q^r_i данного УСЭ к $Q_{y.t.}$ условного топлива определяют как *топливный эквивалент* (калорийный эквивалент) – Э. Тогда расчет расхода натурального УСЭ V_n в условное $V_{y.}$:

$$V_{y.t.} = V_n \cdot \text{Э} = V_n \cdot (Q^r_i / Q_{y.t.}) \quad (2.8)$$

В России за единицу *условного топлива* (у. т.) принята теплотворная способность 1 кг среднестатистического каменного угля = 29,3 МДж (7000 ккал). Международное энергетическое агентство (IEA) в 2015 г. приняло за единицу нефтяной эквивалент, обозначаемый аббревиатурой ТОЕ (англ. Tonne of oil equivalent). Одна тонна нефтяного эквивалента эквивалентна 41,868 ГДж или 11,63 МВт·ч. Применяется также единица – баррель нефтяного эквивалента (БОЕ): 1 toe = 7,11, 7,33 или 7,4 бое.

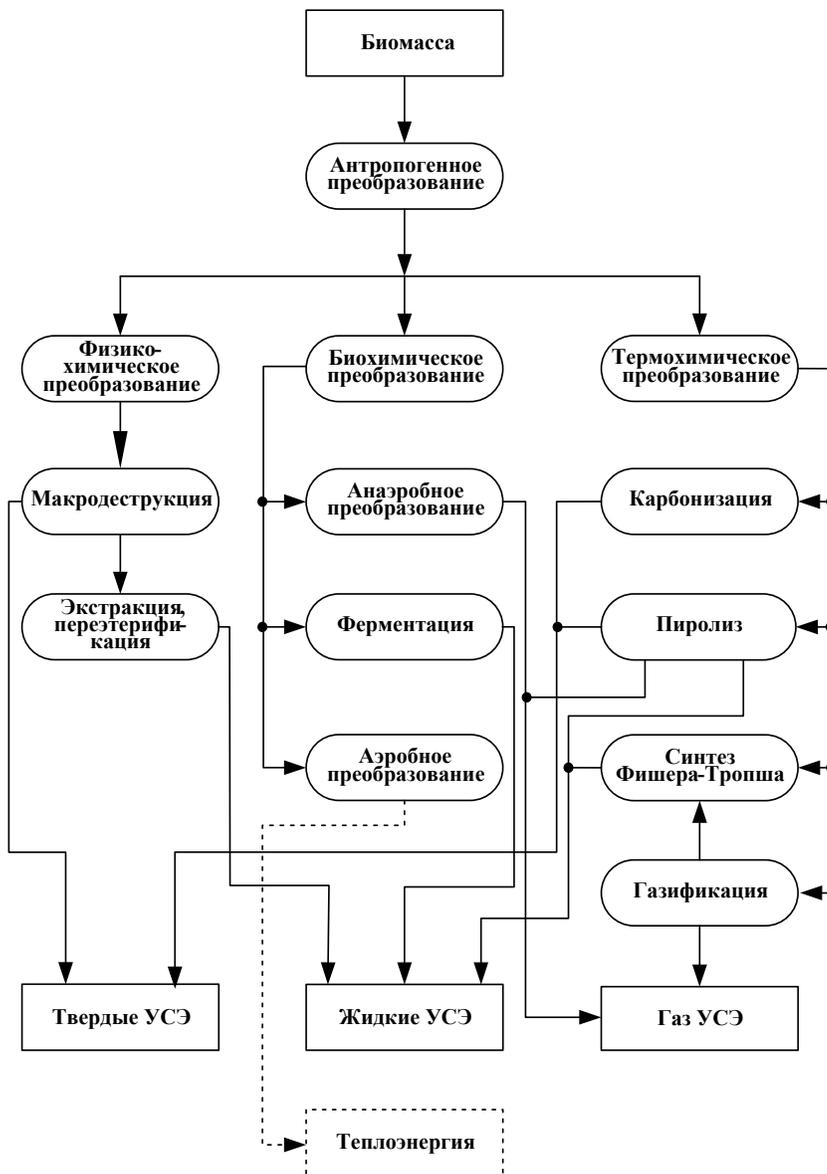


Рис. 2.3. Схема антропогенного преобразования вещества биомассы в УСЭ

2.2. Антропогенное преобразование биомассы в УСЭ

Биомасса характеризуется интенсивностью пространственно-временной самоорганизации вещества за счет увеличения скорости биохимических реакций до миллиона раз ферментами. Поэтому, именно высокая скорость биохимических реакций определяет высокую вариативность самоорганизации биомассы в виде устойчивых пространственно - временных форм и ее трансформации биоциклами.

Биомасса [125] ассимилировала углерод в самых разнообразных пространственно - временных формах. Так, углерод ассимилирован: растениями около $450 \cdot 10^9$ тн (80%), бактериями примерно $70 \cdot 10^9$ тн, грибами $12 \cdot 10^9$ тн, археями $7 \cdot 10^9$ тн, простейшими - $4 \cdot 10^9$ тн, а животными всего $2 \cdot 10^9$ тн. Современная биомасса сформирована около 500 тыс. видами растений, из которых 6,3% принадлежат гидросфере и более 1,5 миллионами видов животных, из которых около 7% являются обитателями гидросферы.

Распределение большей части биомассы Земли в литосфере и атмосфере обеспечивает ее доступность социуму, как энергоносителя. Разнообразие же биомассы, как по формам и скорости ее прироста, так и по химическому составу, а также биоциклам, предопределили и разнообразие ее антропогенного преобразования в УСЭ.

Эффективность вовлечения биомассы в энергогенерацию социума определяется ее современными антропогенными преобразованиями. Именно это (рис.2.3) и предопределяет выработку инженерных решений по направлениям: физико-химическое, биохимическое и термохимическое преобразование биомассы.

2.2.1. Особенности физико-химического строения биомассы

Биомасса ассимилирует первичную энергию планеты преимущественно в электромагнитном диапазоне как фотосинтезом, так и [126, 166] иными механизмами распространяющимися и [139] на радиационную часть спектра.

Поскольку растительная биомасса, как продукт фотосинтеза, обладает высокой скоростью биохимических реакций, определяющих ее трансформации биоциклами, и ассимилировала 80%

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

углерода. Первичный синтез органического вещества на основе фотосинтеза [66] представляется:



В первой из этих реакций (2.9) под воздействием энергии электромагнитного излучения $E(h\nu)$ образуются $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ – углеводы (сахара), где n и $m \geq 3$, а во второй (2.10) — углеводородные фрагменты липидов (жиров и жироподобных веществ).

Совокупный энергетический потенциал всей растительности биомассы оценивается [71] в 10 раз выше, чем ископаемого топлива. Это и определило ее доминанту в антропогенном преобразовании в УСЭ.

Особенности экзотермического окисления растительной биомассы определяют три основных группы химических соединений типа натуральных полимеров [2] (на примере древесины): углеводы целлюлоза $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ 39-58% и гемицеллюлоза $(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4)_n$ 15-38%, лигнин $(\text{C}_{19}\text{H}_{24}\text{O}_{10})$ 17-34%, а так же до 5% восков, смол, танинов, жиров, эфирных масел и менее 1% минеральных солей.

Целлюлозы [2, 67] представляют собой линейные полимеры-полисахариды с гибкой цепной структурой. Полисахариды как углеводы, формализуются суммой углерода С и воды H_2O . Так, формальная формула целлюлозы имеет вид $[\text{C}_6(\text{H}_2\text{O})_5]_m$ при длине цепи порядка $m = 10000$. Формальная формула гемицеллюлозы складывается из звеньев “пентозаны” и “гексозаны” составляющих полимера $[\text{C}_5(\text{H}_2\text{O})_4]_n + [\text{C}_6(\text{H}_2\text{O})_5]_k$. Длины цепей гемицеллюлоз n и k достигают 200. Плотности целлюлоз и гемицеллюлоз порядка 1500-1600 кг/м³. Лигнин – аморфный полимер ароматической природы, волокон не образует. Плотность лигнина 1250-1450 кг/м³. Лигнин придает растительной ткани наземной флоры свойства твердости, упругости и фиксации формы (одревеснения). Водоросли же, мхи и грибы лигнина не содержат.

Элементный состав [2] органической части: до 54% углерода, до 44% кислорода, около 6% водорода и до 0,3% азота по отношению к массе абсолютно сухой древесины. Лигнин при горении образует в 1,5 раза больше углей и в 2 раза больше смол, чем целлюлоза.

Самые распространенные липиды в природе представляют собой [67] сложные эфиры карбоновых кислот и глицерина, пропан-1,2,3-триола, определяемые как триацилглицерины. Входят в состав растений и животных, что необязательно для морских организмов. Распространение в природе триацилглицеринов актуализирует их рассмотрение в качестве энергоносителя.

Триацилглицерины [67] представляют собой сложные эфиры трёхатомного спирта глицерина и высших алифатических кислот (карбоновые кислоты, больше C_6): представленных предельными (C_6-C_{24}), непредельными ($C_{10}-C_{22}$) кислотами и гидроксикислотами (C_{18}).

Общая формула триглицеридов [67] – $C_3H_5(COO)_3-R$.

Свойства масел зависят от того, остатки каких высших алифатических кислот входят в состав триацилглицеринов. Чем больше доля предельных кислот (C_6-C_{24}) тем выше температура кипения и плавления такого масла, тем ближе он по консистенции к твёрдым жирам (масло какао, пальмовое масло), тем ниже его реакционная способность в реакциях полимеризации и окисления.

Все жиры [67] являются гидрофобными соединениями: с плотностью 0,9-0,95 г/см³.

2.2.2. Физико-химическое преобразование биомассы

Макродеструкция биомассы увеличивает ее реакционную поверхность дефрагментацией, активирова тем самым ее энергопотенциал. Далее дефрагментированная биомасса выступает (рис. 2.3) непосредственно как твердое УСЭ либо подвергается последующей сублимации энергопотенциала.

Один из традиционных растительных УСЭ представлен фрагментами древесины и лесоматериалов. Энергопотенциал [108] дров, зависит от породы дерева и влажности древесины. Кубометр сухих лиственных дров способен заменить 200 литров нефти или 200 кубометров природного газа. Основной недостаток дров, препятствующий их использованию в современной энергогенерации, нестабильность энергопотенциала.

Стабилизация энергопотенциала достигается макродеструкцией растительных фрагментов (в том числе древесины) и других материалов с последующим брикетированием (рис. 2.3) под высоким давлением. Такой подход позволяет уменьшить и стабили-

зировать (рис. 2.2) влажность W , а также сублимировать горючую массу. Связующим брикета выступает лигнин, содержащийся в любом растении. Одновременно, данный подход [108] позволяет формой брикета оптимизировать условия протекания экзотермической реакции. В настоящее время распространены брикеты цилиндрической формы диаметром 60-90 мм и длиной 50-350 мм, прямоугольной формы 65 x 95 x 150 мм. Наиболее удачна форма брикетов в виде неправильного многогранника с отверстием по центру, размеры 50-80 x 200-300 мм увеличивающая площадь поверхности в 3 раза, что стабилизирует экзотермическую реакцию. Таким образом, энергопотенциал брикетов [108] почти в 1,5 раза стал выше, чем у дров, а зольность снизилась до 1% от массы. Это позволило топливным брикетам занять нишу в автономной (бытовой) энергогенерации (каминов, печей любых видов и маломощных твердотопливных котлов).

Повышение мощности энергогенерации на базе растительного энергоносителя возможно за счет повышения скорости экзотермической реакции путем увеличения реакционной площади энергоносителя. Такой подход (рис. 2.3) привел [108] к созданию пеллет (топливных гранул) - цилиндрической формы диаметром от 4 до 10 мм и длиной от 5 до 70 мм, влажностью от 7 до 12%. Возобновляемый энергопотенциал пеллет 15-18 Мдж/кг и примерно в 2 раза дешевле котельного топлива. Использование пеллет привело к взаимной адаптации их параметров и конструкторско-технологических решений, реализующих энергогенерацию. Таким образом, значительный рост потребления пеллет, как возобновляемого УСЭ для автономной энергогенерации, в очередной раз не только подтверждает тенденцию её развития, но и выступает альтернативой монополизированному котельному топливу.

Дальнейшее развитие растительного энергоносителя получило на основе нанодеструкции и сублимации горючей массы. Нанодеструкцией полимерных молекул целлюлозы (например, неполным гидролизом) образуют кристаллы со средней длиной 7-10 нм, называемые микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ). Гранулированием МКЦ преобразуют (рис. 2.3) в микрогранулы сферической формы [5] от 1 до 400 мкм, которые образуют легкосыпучий порошок (псевдожидкость). Микрогранулы МКЦ обладают плотностью и удельной поверхностью (3.5-4.5 м²/г) сравнимой с микрокаплями распыленного жидкого топлива

(бензинов). Такая «псевдожидкая» структура МКЦ аналогична традиционным жидким топливам, что позволяет заменять их в существующей энергогенерации. По различным оценкам [1] энергопотенциал МКЦ в 2-3 раза дешевле традиционного жидкого топлива. При этом отсутствие в продуктах экзотермического окисления оксидов серы и канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в отличие от традиционных жидких топлив обеспечивает высокую экобезопасность МКЦ как энергоносителя. Таким образом, возобновляемый энергоноситель МКЦ перспективен для автономной энергогенерации.

Извлечение масел из биомассы (рис. 2.3) производится тремя основными способами: прессованием, центрифугированием и экстракцией органическими растворителями.

Выход масел при использовании прессования и центрифугировании составляет 28-29%, а при экстракции до 40-42% по отношению к исходному сырью (при содержании масел в нем 45-50%).

Экстракция (рис. 2.3) осуществляется химическими реакциями этерификации FFA и переэтерификации TAG, включающих межфазный транспорт основных реагентов. Используются для гомогенизации системы, снижения температуры плавления жиров, снижения вязкости и повышения стабильности к окислению кислородом воздуха.

На сегодняшний день из триацилглицеринов (реже свободных жирных кислот) реакциями FFA и TAG получают энергоноситель в виде смеси моноалкильных эфиров жирных кислот, именуемый биодизелем. Настоящая технология представляет энергоноситель в виде коллоидно-дисперсной системы с размерами частиц от 1 нм до 1 мкм. Применяется для дизельных двигателей в чистом виде и в виде различных смесей с дизельным топливом.

При экзотермическом окислении биодизеля образуется ровно такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьём для производства масла, за весь период его жизни. В то же время отсутствуют в выхлопных газах оксиды серы и канцерогенные полициклические ароматические углеводороды.

При работе на биодизеле, в сравнении с традиционным дизельным топливом, снижается концентрация вредных выбросов: оксида углерода на 55%, углеводородов в 2-5 раз. Высокое

содержание в «растительном» выхлопе окиси азота NOx. Содержание NOx в выхлопе в сравнении с обычным дизельным топливом на 10% больше, а в ходе эксперимента инженеры Volvo доказали, что эта разница может достигать 40%;

Наряду с положительной экологической эффективностью использования спиртовых топлив следует отметить и такие негативные явления, как повышенные выбросы альдегидов и испарения углеводородных соединений. Содержание альдегидов растет с увеличением концентрации спиртов в топливной смеси. Для метанола характерны выбросы формальдегида, в то время как при сгорании этанола образуется преимущественно ацетальдегид. Минимальные выбросы альдегидов соответствуют стехиометрическому составу топливной смеси и возрастают при ее обеднении или обогащении. В среднем выбросы альдегидов при работе на спиртах примерно в 2-4 раза выше, чем при работе двигателя на бензине.

При производстве биодизеля используется растительное сырье (рапс, соя, ятрофа, хлопок и т. д.), жиросодержащие отходы (отработанное растительное масло, животные жиры, рыбий жир и т. д.) и липиды микроводорослей. Растительные масла квалифицируются как возобновляемый энергоноситель.

В России, практически отсутствует сырьевая база для производства биодизельного топлива, что позволяет скептически оценивать возможность его промышленного использования в том числе и на автомобильном транспорте РФ.

Более того, технологии BTL (*Biomass to liquids*) на данном этапе своего развития оцениваются EROEI около 1. Так как EROEI технологий BTL оказывается около 1 (за исключением жарких стран с хорошими климатическими условиями для выращивания сырья), то с энергетической точки зрения (1.1) это по сути (приложение № 2) бессмысленное производство.

2.2.3. Биохимическое преобразование биомассы

Ферментация биомассы осуществляется (рис. 2.3) в настоящее время этанольными и ацетонобутоновыми методами.

Методы этанольной ферментации биомассы включают:

- гидролиз растительного сырья
- последующее спиртовое сбраживание полученного продукта.

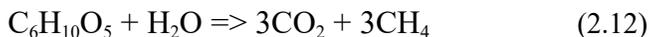
В результате процесса под действием микроорганизмов происходит расщепление органических соединений, в частности сахаров, с образованием этанола. На сегодняшний день наиболее эффективным и традиционным способом переработки является дрожжевая ферментация, а наиболее доступным сырьем – крахмалосодержащие материалы, сельскохозяйственные культуры, их отходы и др.

Этиловый спирт (этанол) C_2H_5OH в естественных условиях образуется из сахаров соответствующими микроорганизмами в кислой среде (рН от 4 до 5). Основная реакция превращения сахарозы в этанол на основе дрожжей:



Методы ацетонобутоновой ферментации основываются на действии микроорганизмов, (например, культуры Clostridium) образующих ацетонобутонольную смесь, содержащую уксусную и масляную кислоты, этанол, бутанол, ацетон, изопропанол, а также диоксид углерода и водород.

Анаэробное преобразование биомассы (рис. 2.3) микроорганизмами (анаэробными бактериями) в отсутствие или при недостатке кислорода и света. Основное уравнение, описывающее процесс анаэробного разложения биомассы (на примере целлюлозы) имеет следующий вид:



Получаемый биогаз представляет смесь углекислого газа (CO_2) и метана (CH_4). Энергетическая эффективность процесса сжигания биогаза может достигать 60-90% эффективности сжигания сухого исходного материала.

Аэробное преобразование биомассы (рис. 2.3) осуществляется (кислорододышащими) бактериями (*Azotobacter*) группы азотобактеров непосредственно в тепло. В результате развития группы термофильных бактерий температура достигает 70-80 °С, мезофильных бактерий, до 40-60 °С.

2.2.4. Термохимическое преобразование биомассы

Пиролиз реализуется (рис. 2.3, 2.4) без доступа окислителей повышением температуры биомассы до перехода ее полимерной составляющей в газовую и твердую фазы, с последующей конденсацией и выделением жидкого и газового продуктов.

При повышении температуры [19, 20] биомассы межмолекулярное взаимодействие стремится практически к нулю. Полимерные молекулы, вследствие термодинамической неустойчивости, лавинообразно разлагаются и переходят в газовую фазу с образованием частиц типа $\{C_nH_m\}$. Процесс носит преимущественно энтропийный характер. Остальные молекулы подвергаются химической модификации обычно с образованием частиц типа $\{C\}$ - твердого углеподобного остатка. Очевидно, что предельным значением процесса будет разложение полимерной составляющей до $\{C\}$ и $\{H\}$. В общем же виде твердая фаза формируется частицами типа $\{C\}$, термодинамически устойчивыми углеводородными соединениями и минеральными фрагментами.

Модель кинетики пиролиза полимерной составляющей биомассы может быть представлена:

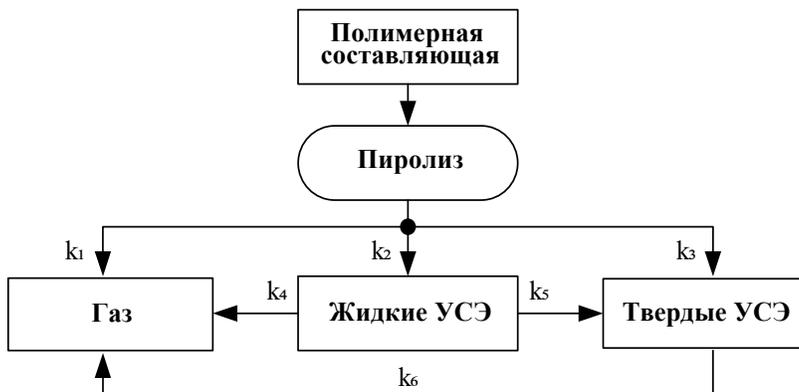


Рис. 2.4. Схема кинетики пиролиза полимерной составляющей в УСЭ. Где $k_1 - k_6$ константа скорости одностадийных реакций, определяемых уравнениями Аррениуса.

Предложенная модель может быть расширена и на биомассу как многокомпонентную смесь органических полимеров (гемиллюлоза, целлюлоза, лигнин, экстрактивные вещества, липиды). Очевидно, что при таком подходе количество параллельных реакций возрастает.

Характер формирования УСЭ и в большей степени их состав зависят от скорости роста температуры биомассы. Повышение скорости роста температуры биомассы способствует и более быстрому удалению атомов Н, N и О. С увеличением скорости роста температуры скорость реализации реакций с высокой энергией активации увеличивается. В результате, продукты пиролиза быстрого и медленного нагрева могут существенно отличаться в зависимости от вида биомассы. При постоянной температуре биомассы наибольшую скорость имеют реакции с наименьшей энергией активации, т.е. чем слабее связь, тем с большей скоростью идут процессы, в которых она рвется.

Использование различных катализаторов [167] (FeSO_4 , ZnCl_2) позволяет регулировать процесс пиролиза и состав формируемых УСЭ.

Газификация – процесс (рис. 2.3) частичного окисления биомассы с получением газообразного УСЭ – синтетического (генераторного) газа.

В состав получаемого газа входят водород (H_2), окись углерода (CO), метан (CH_4), двуокись углерода (CO_2), а также углеводородные соединения более высокого порядка (C_{2+}), пары воды, азот (при воздушной газификации), различные примеси (смолы, зола, угли, кокс). Окислителем при газификации могут выступать воздух, кислород, пар или смеси этих веществ. Основные [157] химические реакции процесса газификации, приведены в таблице 2.2.

В случае воздушной газификации основным продуктом процесса является газ с $Q_s = 4\text{--}6 \text{ МДж/м}^3$. Пригоден для сжигания в топках (котлах), а при дополнительной очистке – в газовых двигателях и газовых турбинах, однако вследствие низкой энергетической плотности он не пригоден для транспортировки по трубопроводам.

При проведении газификации в присутствии кислорода образуется газ с $Q_s = 10\text{--}18 \text{ МДж/м}^3$, пригодный для ограниченной транспортировки по трубопроводам. Получаемый газ синтезом (рис. 2.3) по процессу Фишера – Тропша преобразует «синтез газа» ($\text{CO} + \text{H}_2$) в жидкие УСЭ метанол и газولين. Обобщенная экзотермическая реакция образования метанола:



Более калорийный газ ($Q_s = 18\text{--}20 \text{ МДж/м}^3$) может быть получен путем паровой газификации.

Гетерогенные реакции (первичные процессы)	
Реакции	ΔH , кДж/моль
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	-394.4
$C + (1/2)O_2 \rightarrow CO$	-110.6
$C + CO_2 \rightarrow 2CO$	+ 173.0
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	+ 131.4
$C + 2H_2 \rightarrow C H_4$	- 71.0
Гомогенные реакции	
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	- 41.2
$CO + 3 H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$	-201.9
$CO + (1/2)O_2 \rightarrow CO_2$	-251.0
$H_2 + (1/2)O_2 \rightarrow H_2O$	-280.0
Вторичные процессы	
Смолы \rightarrow уголь + газ	Термическое разложение смол
Смолы + $H_2O(g) \rightarrow CO + H_2O + CH_4 + \dots$	Паровой риформинг смол
$C_xH_y \rightarrow (y/4)CH_4 + (x-y/4)C$	Риформинг высших углеводов
$C_xH_y + x H_2O(g) \rightarrow xCO + (x+y/2)H_2$	Паровой риформинг высших углеводов

В настоящее время широко распространена воздушная газификация, поскольку не зависит от трудностей производства и использования кислорода, а также более проста технологически, чем паровая газификация. Однако следует учесть, что в случае воздушной газификации получаемый газ содержит до 50% азота, что и является причиной низкой теплотворной способности (4–6 МДж/м³). В настоящее время разработано большое число вариаций проведения процесса газификации в зависимости от разнообразия биомассы.

Карбонизация – процесс (рис. 2.3) преобразования органического вещества биомассы, обогащение его углеродом.

Стадии процесса карбонизации [69] включают разрушение неароматических молекул; циклизацию — формирование более

устойчивых ароматических молекул с боковыми цепями, которые в свою очередь разрушаются или циклизуются; конденсацию с образованием полициклических ароматических систем; и дальнейшее дегидрирование и конденсацию полициклических систем.

В результате [163] гидротермальной карбонизации в течение суток или меньше при температуре порядка +200 °С, давлении 20 бар и добавлении катализатора биомасса превращается в так называемый биоуголь.

Получаемый уголь синтезом (рис. 2.3) по процессу Фишера – Тропша может быть преобразован в жидкие УСЭ.

2.3. Торф

Торф – [60] результат метаморфизма (рис. 2.3) растительных остатков в среде с избытком воды и недостатком кислорода (в болотах):



Квалифицируется как возобновляемый энергоноситель.

Состав торфа [60] определяют вещества исходных растений: лигнина ($C_{19}H_{24}O_{10}$) 5-20%; углеводный комплекс: пентозы, уроновые кислоты, гексозы 20-40% и 4-10% целлюлозы ($C_6H_{10}O_5$)_n; воски, парафины, смолы спирты, кислоты, эфиры 1-10%, и к ним добавляется доминирующий класс соединений – 20-70% гуминовые вещества ($C_{18}H_{15}O_8N$).

Элементный состав торфа [60]: углерод 50-60%, водород 5-6,5%, кислород 30-40%, азот 1-3%, сера 0,1-1,5% на горючую массу.

Антропогенное преобразование торфа направлено на его трансформацию в твердые УСЭ в виде топливных композиций (гранул, брикетов), а также в жидкие и газообразные УСЭ, которые все большее распространяются в современной автономной энергогенерации.

Отмечается тенденция [94] применения технологии газификации торфа в парогазовых циклах с получением тепловой и электрической энергии. Выход сухого газа из торфа составляет в среднем 3,0 нм³/кг с энергопотенциалом до 9500 кДж/нм³, который может использоваться в камерах сгорания газотурбинных установок.

Добываемый торф преимущественно используется [119] в адаптированном виде: фрезерный - измельченный торф различных форм и размеров от 4 до 40 мм, сжигается во взвешенном состоянии, на автономных ТЭЦ; брикет (пеллеты) – высокой плотности со стабильным энергopotенциалом около 16 МДж/кг, тонна равна 1,6 тонне бурого угля; термобрикет – прессованный бертинат, полученный путем высокоскоростного пиролиза торфа, обеспечивающего снижение на 10% содержания кислорода в горючей массе топлива и повышение содержания углерода и повышении энергopotенциала до 23 МДж/кг.

Возобновляемый энергopotенциал торфа [119] примерно в 2 раза дешевле котельного топлива и 1,5 раза угля и отличается высокой экологической безопасностью (выбросы оксидов серы в сравнении с углем меньше в 24 раза, со сланцем в 9 раз и с мазутом в 6 раз). Эти преимущества торфа сформировали [119] устойчивую тенденцию его возврата в современную автономную энергогенерацию, в том числе на замену котельных и газообразных топлив. Эта тенденция так же подтверждает развитие автономной энергогенерации.

Фактически энергopotенциал торфа, аналогично УСЭ растительного происхождения, проходит антропогенную адаптацию к современной энергогенерации путем стабилизации и сублимации возобновляемого энергopotенциала.

2.4. Горючие сланцы

Горючие сланцы [122] – осадочная порода, образовавшаяся в результате метаморфизма растительных и органических остатков. Органическое вещество сланца вкраплено в минеральную массу в виде коллоидальных частиц шарообразной формы диаметром 20-140 мкм. Горючие сланцы содержат 50-80% неорганики и 20-35% керогена – смесь полимерных органических молекул с преобладанием алифатических структур.

Элементарный состав керогена постоянен и содержит (в %): С-55-85%, Н-7-12%, О-5-30%, N-0,5-5%, S-0,2-8%, Cl-0,3%. Керогены так же отличаются повышенными концентрациями U, Fe, V, Ni, Mo, содержание рассеянных элементов в горючих сланцах колеблется от 1 до 50 мкг/г. Химическая структура керогена базируется на сложном трехмерном углеродном каркасе

Глава 2. УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ (УСЭ)

(керогенная матрица), состоящем из поликонденсированных ароматических ядер и более простых ароматических, циклановых и алкановых структур. Общеизвестно, что кероген имеет довольно однородную полимерную сетчатую структуру, включающую карбонильные, карбоксильные и гидроксильные группы. Надежные данные о характере отдельных звеньев полимерной сетки и способах их взаимной связи до настоящего времени отсутствуют.

Вследствие давления и/или геотермального тепла [144] углеводородные молекулы в керогене трансформируются в газ и/или нефть, которые диффундируют через поры (приложение № 5). По определению Международного энергетического агентства (МЭА) горючие сланцы источник «light tight oil» лёгкой нефти, добываемой из сланцевых пластов и других низкопроницаемых коллекторов, а также керогеновой нефти (сланцевого масла) и газа.

Кардинальное значение имеют [90, 122, 144] различные оценки запасов органического углерода в экосфере: в нефти – 10^{11} тн, в угле – 10^{13} тн, в горючих сланцах 10^{17} тн. При этом согласно данным Committee on Industry, Research and Energy of the European Parliament мировые ресурсы горючих сланцев составляют 11 трлн тн. Собственно, на утверждении, что керогены наиболее распространенное в биосфере органическое вещество и превосходит в совокупности запасы таких горючих ископаемых как нефть, природный газ и уголь вместе взятых основана тенденция их интенсивного освоения.

Однако, «рассеянное состояние» запасов керогенов в экосфере, в отличие от концентрированного состояния углей, нефтей и газов приводит к высокой себестоимости сланцевых энергоносителей и низкой рентабельности их производства. Более того, [122] современной добыче сланцевых энергоносителей сопутствуют глобальные негативные экологические последствия.

Поскольку в России классические способы добычи горючих сланцев [123] нерентабельны, 80% добытого просто сжигают на локальных ТЭЦ, ориентируясь на их дешевизну. Посредством [19, 90] термической деструкции керогенна сублимируется энергопотенциал горючих сланцев трансформацией в другие виды УСЭ.

2.5. Уголь

Уголь [48] – осадочная порода растительного происхождения, содержащая в среднем 60-98% углерода. Характеризуется смесью полициклических высокомолекулярных ароматических соединений и повышенным содержанием фенольных, карбоксильных и гидроксильных групп. Наличие свободных гуминовых кислот, содержание которых снижается с повышением степени метаморфизма от 64 до 2% и смол от 25 до 5%. Состав минеральных примесей – кварц, глинистые минералы, полевые шпаты, пирит, марказит, карбонаты и др. соединения, содержащие Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, редкие и рассеянные элементы (U, Ge, Ga, V и др.). Различают:

- *бурый уголь* (переходная форма от торфа к каменному углю), характеризуется низким содержанием углерода от 50 до 78%, кислорода (26-37%), азота (до 2%), водорода (3-5%), большое (рис. 2.3) содержание влаги W от 3% до 12%, снижает его энергопотенциал (менее 24 МДж/кг);

- *каменный уголь*, с возрастанием степени метаморфизма в горючей массе последовательно увеличивается содержание углерода от 75 до 95%, азота (до 2,7%), водорода (4-6%) и одновременно уменьшается количество кислорода (3-19%), и летучих веществ;

- *антрацит* – самый древний из ископаемых углей с наибольшей степенью метаморфизма и большим содержанием углерода (до 97%), и низким выходом летучих веществ.

В углях содержание серы 0,3-6,0% в виде органической (S_o), колчеданной (S_k) и сульфатной (S_c) серы. Органическая сера входит в состав молекул органических соединений, колчеданная входит в состав пирита – FeS_2 , а сульфатная содержится в минеральной части углей в виде солей металлов, например $FeSO_4$, $MgSO_4$, $CaSO_4$ и т.д. Сульфатная сера практически не участвует в горении и переходит в состав золы. Органическая и колчеданная сера при сгорании углей окисляются, образуя серный ангидрид SO_2 и около 99% диоксида SO_2 .

Высокий EROIE более 80 (приложение № 2) угля определяет его доминирование [95] как основу УСЭ в энергетике и металлургии. Мощность мировой энергогенерации на угле [75] в период 2000–2017 гг., почти удвоились с 1,063 ГВт до 1,995 ГВт. Социум

около 15% угля использует в металлургии и производит 40–41% мирового электричества. По общим геологическим запасам угля (6421 млрд тонн) Россия занимает второе место после Китая.

Антропогенное преобразование углей определяется эффективностью сублимации их энергопотенциала и разнообразия УСЭ. Антропогенное преобразование углей (рис. 2.5) реализуется методами макродеструкции, биопреобразований и термохимическими.

Антропогенная макродеструкция углей (рис. 2.5) их дефрагментацией, увеличивающей реакционную поверхность, активизирующей их энергопотенциал. В зависимости от технологии сжигания уголь фрагментируют от тонких порошков 0,1 до 500 мкм до фрагментов от 5 до 50 мм.

В настоящее время [83] биопреобразование углей (рис. 2.5) ведется по трем основным направлениям: биодесульфурация, биоожигание (солюбилизация) и биогазификация.

Биодесульфурация удаляет неорганические и органические соединения серы в углях посредством микроорганизмов различных таксономических групп. В лабораторных условиях, с помощью микроорганизмов удастся обессеривать до 100% угольной серы за относительно короткий промежуток времени.

Биогазификация в виде анаэробной бактериальной обработки угля позволяет извлекать из угля метан, высококачественные органические и минеральные удобрения и различные химические продукты.

Термохимическое преобразование углей (рис. 2.5), в настоящее время реализуется деструктивной гидрогенизацией (DCL процесс Бергиуса), газификацией, процессами на основе Фишера-Тропша (ICL, CTL), пиролизом и плазмохимией.

Биоожигание – (солюбилизация) процесс перевода углей в суспендированное состояние и водорастворимые соединения, протекающее с участием микроорганизмов (различных видов бактерий и грибов) и продуктов их жизнедеятельности, в результате, которого получается угольная продукция с новыми физико-химическими и энергетическими свойствами.

Деструктивная гидрогенизация – совокупность параллельно-последовательных реакций, в том числе гидрирование с присоединением водорода, расщепление гидрированных высокомолекулярных веществ на низкомолекулярные, изомеризация, восстановление кислородных, сернистых, азотистых соединений, сопровождающееся отщеплением от них гетероатомов и образованием

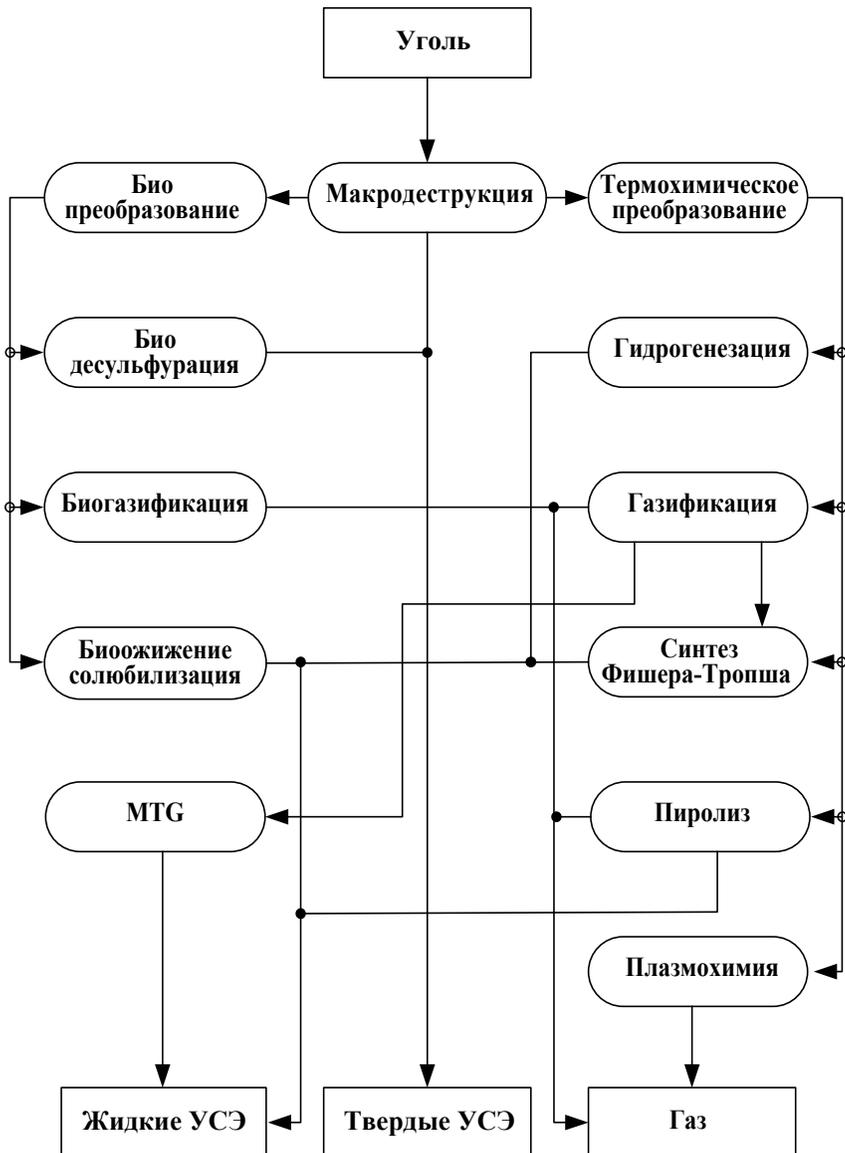


Рис. 2.5. Схема антропогенного преобразования углей в УСЭ

воды, сероводорода, аммиака. При гидрогенизации происходит ожигание исходного продукта и насыщение его водородом.

В результате гидрогенизации высокомолекулярные органические вещества трансформируются в смесь низкомолекулярных соединений, насыщенных водородом. В зависимости от условий процесса и глубины превращения органической массы исходного угля, гидрогенизация позволяет превращать его в высококачественное моторное горючее (бензин, дизельное и реактивное топливо), котельное топливо и сырьё для органического синтеза (моно- и полициклические ароматические углеводороды, фенолы, азотистые основания и др.).

Газификация [141] – преобразование органической части угля в горючие газы при высокотемпературном (1000-2000°C) нагреве с окислителем (кислород, воздух, водяной пар, CO₂ или, чаще, их смесь). На практике при использовании в качестве дутья смеси водяного пара с воздухом получают генераторный газ с составом: H₂ (15-20%); CH₄ (до 5%); CO (25-30%); CO₂ (до 5%); N₂ (35-55%). При парокислородном дутье состав генераторного газа: H₂ (до 40%); CH₄ (до 5%); CO (30-40%); CO₂ (до 5%); N₂ (4-20%).

Существует значительное количество различных высокоэффективных технологий газификации топлива. При определенных условиях использование генераторного газа, полученного из угля, оказывается более экологически безопасным решением, чем сжигание угля как топлива напрямую.

Процесс метанол в бензин, (MTG): уголь (и природный газ) сначала превращается в синтез-газ, а затем в метанол, после чего метанол дегидратируют до диметилового эфира (ДМЭ) и затем диметиловый эфир дополнительно дегидратируют на катализаторе. Степень превращения метанола в углеводороды с пятью или более атомами углерода 80%.

Процесс Фишера-Тропша: уголь → синтез-газ → получение углеводородов. Процесс преобразования монооксида углерода (CO) и водорода H₂ в различные жидкие углеводороды происходит с катализаторами, содержащими железо и кобальт. Процесс получения жидкого УСЭ из углей или сланцев удаляет из них золу, уменьшает молекулярную массу трансформацией твердого органического вещества в жидкое, обогащает его водородом (с Н:С 0,8 до 2) и удаляет из него кислород, азот и серу.

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Пиролиз углей без доступа окислителей повышением температуры до (400-1200°C) перехода ее полимерной составляющей в газовую и твердую фазы с последующей конденсацией и выделением жидкого и газового продуктов. Модель кинетики пиролиза углей идентична представленной на рис 2.4.

Процессы, протекающие по мере повышения температуры пиролиза угля:

- при температуре до 300°C из угля удаляется физико-механическая влага (100-110°C) и часть сорбированных газов (O₂; CH₄; N₂; CO₂ и др.);

- при 300-550°C происходит деструкция органической массы угля, сопровождающаяся выделением паров смолы и газа и образованием пластической массы, которая затем превращается в первичный твердый остаток (полукокк);

- при 550-1000 (1200)°C заканчивается выделение газов из нелетучего остатка и образуется кокс;

- в зависимости от конечной температуры нагрева угля различают следующие процессы пиролиза угля: полукоксование (500-550°C), среднетемпературное коксование (700-800°C), коксование (900-1100°C).

В итоге пиролиз позволяет превращать его не только в УСЭ, но и в сырьё для органического синтеза

Плазмохимическая [77] реакция осуществляется в струе плазмы, которая одновременно является реакционной средой и высокотемпературным теплоносителем. Основные продукты ацетилен и синтез газа. Побочными продуктами, в зависимости от использованного сырья, являются H₂S и HCN, которые легко улавливаются. Твердый остаток представляет собой 100%-й шлак в виде ультрадисперсного сажевого порошка, концентрирующего в себе ценные минеральные соединения. Жидкие продукты в результате плазмопереработки не образуются.

В настоящее время в промышленных масштабах практически не осуществляется ни газификация, ни гидрогенизация, ни плазмохимия, ни биопреобразование углей. Однако ведутся интенсивные и обширные исследования в направлении сублимации энергопотенциала углей и создании новых форм УСЭ этими методами.

2.6. Нефть

Нефть, включая «light tight oil» лёгкую нефть, представляет собой природную смесь полимерных органических соединений. Согласно превалирующей биогенной гипотезе, нефть сформировалась из остатков древних живых организмов, но и абиогенное происхождение нефти [59, 93], из неорганического углерода и водорода, не опровергнуто. Состоятельность такого подхода может перевести нефть в разряд, как минимум, частично возобновляемых энергоресурсов.

Основные составляющие нефти: метановые (насыщенные, парафиновые, предельные, алканы) с общей структурной формулой C_nH_{2n+2} ; наftenовые (полиметиленовые, цикланы) с общей структурной формулой C_nH_{2n} и ароматические (бензолные, арены) с общей структурной формулой C_nH_{2n-6} , а также комплекс жидких кислородсодержащих, сернистых и азотистых соединений, парафинов и смол.

Жидкие углеводороды, (C_5-C_{15}) основа нефтей, а углеводороды (C_1-C_4) при нормальных условиях являясь газами, могут находиться в нефтях и нефтепродуктах в растворённом виде. В состав нефтей входят углеводороды с числом атомов углерода в молекуле от 20 до 70. Углеводороды парафинового ряда нормального строения с 17 и более атомами углерода – твёрдые вещества и находятся в нефтях в растворённом состоянии.

В нефтях содержатся примеси как активные в виде элементарной серы S, сероводорода H_2S и меркаптанов RSH (где R – какой-либо углеводородный радикал циклического и нециклического типа), так и неактивные - сульфиды RSR , дисульфиды RS_2R , полисульфиды RS_nR и т.д. (всего более 250 соединений).

Основную часть примесей в виде кислородных соединений составляют (C_nH_mCOOH) органические кислоты, главным образом наftenовые, и смолисто-асфальтовые вещества. В состав этих веществ могут входить как сера, так и азот. Смолисто-асфальтовые вещества представлены асфальтогеновыми кислотами, асфальтенами, карбенами и карбоидами.

Керогеновая нефть (сланцевое масло) [77, 83], получаемая из горючих сланцев в результате био и термохимических преобразований, в том числе гидрирования или термического растворения, при которых твердые остатки органической материи из горной породы (сланцев, богатых керогеном) преобразуются

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

в синтетические углеводороды.

По составу керогеновая нефть отличается от нефти и содержит в значительном количестве сернистые, кислородные, азотистые соединения, а по групповому составу представлена в различных процентных соотношениях парафинами, олефинами, ароматическими углеводородами, гетеросоединениями, фенолами. В смоле кукерсита содержание кислородных соединений достигает 60-70%, представленных нейтральными и кислыми соединениями, преимущественно (до 50%) фенолами сложной структуры.

Антропогенное преобразование нефтей направлено на эффективную концентрацию их энергии для интенсификации цепных процессов направленной непрерывной самоорганизации вещества в социуме. Трансформация нефтей не только сублимирует их энергопотенциала, но и реализуется в разнообразии формы УСЭ. Нефть и ее антропогенные производные (рис. 3.4) образуют доминирующий класс жидких УСЭ: котельные, реактивные, дизельные и бензиновые топлива.

Антропогенное преобразование нефтей (рис. 3.4) реализуется преимущественно термохимическими методами.

Предварительно нефти подвергаются очистке от механических примесей, растворённых углеводородов (фракции $C_1 - C_4$) и удалению солей и воды.

Далее при атмосферном давлении (рис. 3.4) нефти прямой атмосферной перегонкой (процесс ректификации) разделяется на фракции:

мазут ($C_{20} - C_{40}$) $< 360^\circ\text{C}$; газойлевые ($C_{12} - C_{20}$) $270-360^\circ\text{C}$; керосиновые ($C_{12} - C_{18}$) $120-270^\circ\text{C}$; лигроин ($C_8 - C_{15}$) $150-250^\circ\text{C}$; бензиновые ($C_5 - C_{12}$) $> 180^\circ\text{C}$. Поскольку качество получаемых фракций не соответствует устанавливаемым параметрам УСЭ, они подвергают дальнейшей (вторичной) переработке.

Вакуумной дистилляцией (рис. 2.6) из мазута (остатка атмосферной перегонки) фракций, пригодных для переработки в моторные топлива, масла, парафины и церезины, и другую продукцию нефтепереработки и нефтехимического синтеза. Остающийся после этого тяжёлый остаток – гудрон, может служить сырьём для получения битумов и асфальта.

После чего (рис. 2.6) из дистиллятов удаляются сернистые, азотистые, смолистые и металлоорганические соединения облагораживающими процессами (риформинг, гидроочистка, изомеризация и т. д.).

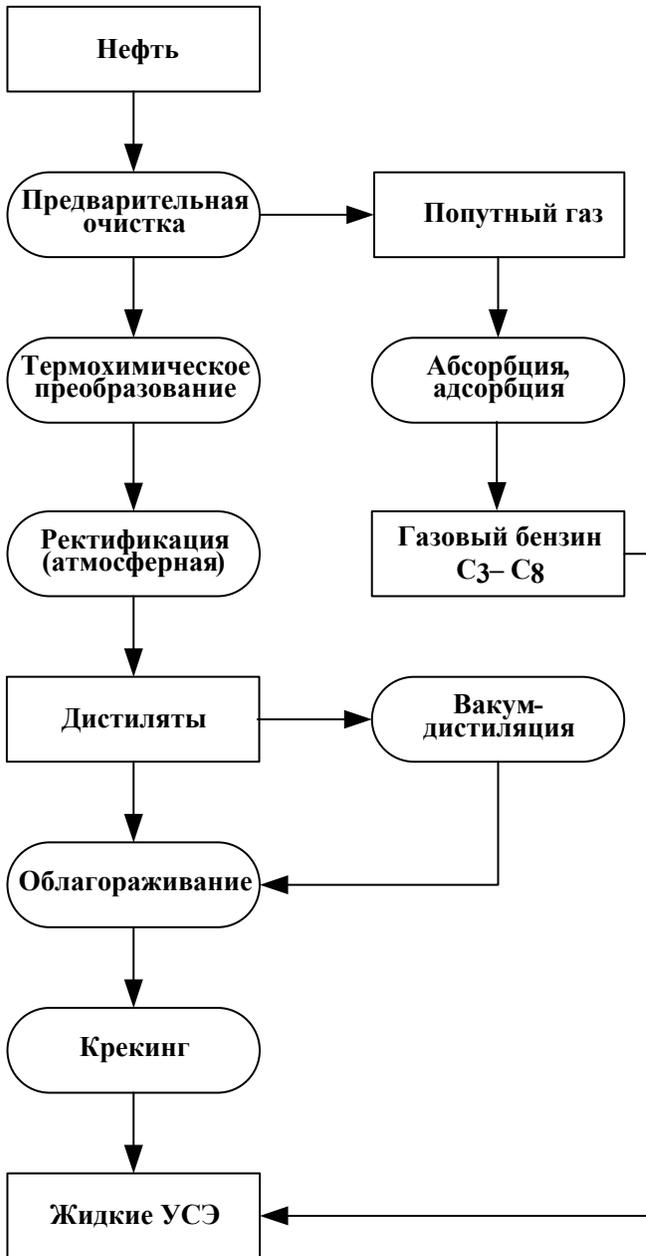


Рис. 2.6. Схема антропогенного преобразования нефтей в УСЭ

Далее энергопотенциал УСЭ сублимируется (рис. 3.4) разрывом связей С-С и образованием молекул углеводородов с меньшей молекулярной массой, более адаптированных для окисления. Сублимация реализуется крекингом (термический крекинг, каталитический крекинг, пиролиз, гидрокрекинг, и т. д.) с одновременным дегидрированием, изомеризацией, полимеризацией и конденсацией как исходных, так и промежуточных продуктов увеличивающих выход УСЭ.

2.7. Природный газ

Природный газ, представляет собой [57] смесь преимущественно предельных углеводородов алкананов (C_nH_{2n+2}) и не углеводородных компонентов (Ar, H_2 , He, N_2 , H_2S , Rn водяные пары – H_2O , CO, CO_2 и пр. серосодержащие соединения и инертные газы). Превалирует гипотеза биогенного происхождения газа, определяющая соотношение компонентов газовой смеси месторождением.

Природный газ в литосфере в газообразном состоянии концентрируется локально (газовые залежи) или в виде газовой шапки нефтегазовых месторождений, а также в растворённом состоянии в нефти или воде. При нормальных условиях природный газ [56] находится исключительно в газообразном состоянии. Однако, природный газ с водой при гидростатических давлениях около 25 Мпа (250 атм) и температурах до $+22^\circ C$ может находиться в кристаллическом состоянии в виде естественных газогидратов.

Состав [57] природного газа 70-98% метан (CH_4) и другие углеводороды этана (C_2H_6), пропана (C_3H_8), бутана (C_4H_{10}) и др. Соотношение между ними зависит от месторождения. Углеводороды, начиная с этана (C_2H_6), преимущественно сопутствуют формированию нефтей. Выделяющийся из нефти растворенный газ содержит [56] более 60% метана (CH_4), около 13% пропана (C_3H_8), до 10% бутана нормальная и изомерная формы (C_4H_{10} , iC_4H_{10}), до 8% этан (C_2H_6), до 5%, пентана (C_5H_{12} , iC_5H_{12}) и менее 1% гексана и соединений с большим числом атомов углерода. Кроме того, присутствуют инертные газы (в основном азот и диоксид углерода, а также сероводород).

Используя энергию высокого давления добываемого газа

[57], его осушают процессами абсорбции и/или адсорбции, а также выделяют (рис. 2.7) углеводороды C_3 и выше (отбензиневание)* низкотемпературной сепарацией, низкотемпературной абсорбцией или низкотемпературной масляной абсорбцией. Далее преимущественно каталитическими (восстановительный и окислительный) и абсорбционными (физические и химические) методами выделяются (соединения серы, азота, диоксид углерода).

В настоящее время природный газ применяется [57] преимущественно как УСЭ, и всего до 1,5% в РФ как химическое сырье.

Антропогенное преобразование природного газа направлено на эффективное вовлечение его в интенсификацию цепных процессов направленной непрерывной самоорганизации вещества в социуме как вариации УСЭ.

Основа антропогенного преобразования природного газа в УСЭ [14] базируется на изменении его физических параметров (рис. 2.7):

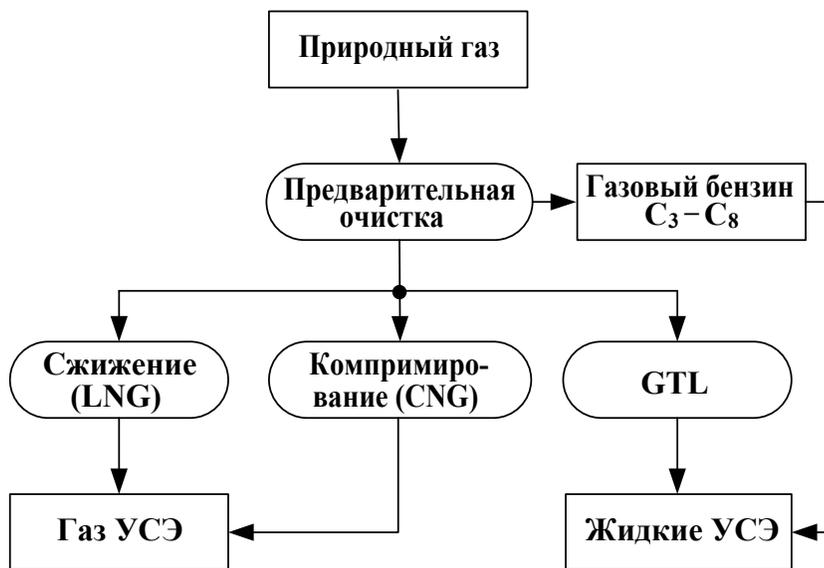


Рис. 2.7. Схема антропогенного преобразования природного газа в УСЭ

* Отбензинивание газа – извлечение так называемых «жирных фракций» – этана, пропана, бутана и углеводородных компонентов, способных в условиях транспорта перейти в жидкое состояние с образованием жидкостных пробок, получившие название газовый бензин.

- *сжиженный природный газ* (СПГ, англ. LNG — liquefied natural gas) получают охлаждением до -162°C , что уменьшает объем газа в 600 раз;

- *компримированный*, или сжатый природный газ (КПГ англ. CNG — compressed natural gas) находящийся в газообразном состоянии, под давлением до 20 МПа.

Использование газового УСЭ [14] в качестве моторного топлива снижает выбросы: оксидов углерода уменьшаются до 10 раз, углеводородов до 3 раза, оксидов азота до 2,5 раза и шум в 2 раза. При этом эксплуатационные затраты на газе до 3 раз ниже, чем на бензине или дизельном топливе. Однако КПГ уступает бензину и пропан-бутану обеспечивая на 6-8% меньшую производительность в двигателях, рассчитанных на два вида топлива.

Последние 20 лет с развитием катализаторов актуализировались [18] и GTL-технологии (рис. 3.5) по трансформации газа в жидкое состояние (gas to liquids technologies). Так, посредством риформинга или парциального окисления образующийся синтез-газ конвертируется посредством процессов Фишера – Тропша в жидкие углеводороды и после чего перерабатываются (гидрокрекингом и гидрооблагораживанием) в конечные жидкие УСЭ.

Другим вариантом [14, 57] технологии GTL является использование не энергозатратного процесса Фишера – Тропша, а получение метанола из синтез-газа и затем технологиями MTG выработка бензиновых фракций.

2.7.1. Газогидраты

Газогидраты [18] – твердые нестехиометрические соединения (переменного состава) клеточного типа – клатраты* формирующиеся включением молекул газа (легколетучих жидкостей) в полости каркаса (кристаллической решетки), построенного (приложение № 6, 7) молекулами H_2O в определенных для каждого компонента газа термодинамических условиях. Образующиеся твердые кристаллические соединения низкомолекулярных

* Отбензинивание газа – извлечение так называемых «жирных фракций» – этана, пропана, бутана и углеводородных компонентов, способных в условиях транспорта перейти в жидкое состояние с образованием жидкостных пробок, получившие название газовый бензин.

Глава 2. УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ (УСЭ)

газообразных углеводородов и воды, таких как метан, этан, пропан, бутан и др., с водой с общей формулой:



где m - число молекул воды.

Молекулы газа удерживаются в водном каркасе слабыми силами Ван-дер-Ваальса. При нарушении термодинамического равновесия гидрат разлагается на газ и пресную воду со значительным поглощением тепла.

Самым распространенным природным газом, образующем газогидраты, является метан. Один объем воды [18] при образовании гидрата связывает от 70 до 220 объемов газа, при этом удельный объем воды возрастает на 26–32%. При образовании гидрата метана один объем воды связывает 207 объемов метана. А при разложении 1 м³ гидрата метана при нормальных условиях выделяется 164,6 м³ газа. При этом объем, занимаемый газом в гидрате, не превышает 20%, то есть 164,6 м³ газа занимают объем всего 0,2 м³. Химический состав газа при разложении газогидрата (СН₄)– метан 91-92%, азот – 8-9%.

По многочисленным оценкам [18, 28] ресурсы газа в газогидратных залежах литосферы оцениваются величиной около 10¹⁴ м³. А ресурсы газа, сосредоточенные в гидратном состоянии в гидросфере, в пределах шельфа и материкового склона – в (1,5-2) × 10¹⁶ м³ [18], хотя имеются и более высокие оценки. Из чего общее содержание органического углерода в газогидратных залежах (таблица 2.2) больше, чем вместе взятые мировые запасы угля, нефти и обычного природного газа.

Таблица 2.2

Виды запасов углеводородов	Доля, %
Газовые гидраты	53
Разведанные и неразведанные ресурсы угля, нефти, газа	27
Почва	8
Растворенное в море органическое вещество	5
Наземная растительность	4
Торф, детритовое органическое вещество, атмосфера и морские отложения	3

Природные гидраты могут формировать скопления или находиться в рассеянном состоянии. Они встречаются в местах, сочетающих низкие температуры и высокое давление, таких как глубоководье (придонные области глубоких озер, морей и океанов) и зона вечной мерзлоты (арктический регион). Глубина залегания газогидратов [18] на морском дне составляет 500–1500 м, а в арктической зоне – 200–1000 м. Газогидратные залежи обладают более высокой концентрацией газа в единице объёма пористой среды, чем в обычных газовых месторождениях, так как один объём воды при переходе её в гидратное состояние связывает до 220 объёмов газа.

Таким образом, газогидраты являются единственным еще не освоенным источником природного газа. Огромные ресурсы, распространённость в литосфере и гидросфере, а также неглубокое залегания и концентрированное состояние (1 м^3 природного гидрата метана содержит около 164 м^3 метана в газовой фазе и $0,87 \text{ м}^3$ воды) актуализирует газогидраты как неосвоенный энергоресурс.

2.8. Отходы

Отходы являются несомненным энергоресурсом [54, 70, 109, 116] самоорганизации социума. Согласно [181] данным аналитической компании Circle Economy (CGRi), с 1970 г. потребление ресурсов социумом увеличилось в четыре раза, достигнув в 2019 г. рекордные 100,6 млрд. т вещества за всю свою историю. В среднем на индивида социума приходится уже более 13 тонн вещества в год. Около [181] 15% потребляемых ресурсов социумом выбрасывается в атмосферу в качестве газов и более 25% выбрасывается в биосферу в виде полимеров, а более трети вещества депонируется на полигонах.

Фиксируется устойчивая тенденция снижения объема возврата отходов в процесс самоорганизации социума. Только за последние два года использование ресурсов [181] социумом выросло на 8%, при этом их повторное использование сократилось с 9,1% до 8,6%. В итоге современный процесс самоорганизации социума *Homo sapiens* вовлекает (рис. 2.3) все больше ресурсов и все меньше отходов.

Таким образом, устойчивость *направленной непрерывной самоорганизации* социума, как процесса трансформации

энергии, в конечном определяется (рис. 2.3) как возможностями биогеохимических циклов, так и вовлечением окружающих энергоресурсов и в первую очередь УСЭ.

Не является секретом и фундаментальная особенность антропогенных отходов их *системная многокомпонентность и физико-химическая неоднородность*. Так, характерной особенностью [111] современных изделий является их анизотропия, оптимизирующая восприятие внешних воздействий. Это предполагает, различные вариации полимерной составляющей и армирование (металлом, нитями, волокнами и т.п.) позволяют оптимизировать конструкции для наилучшего восприятия нагрузок.

Резкий рост потребления современным социумом и быстрая потеря предметами потребления своей целесообразности (экономической, социальной и т.п.) соответственно увеличивает переход вещества в категорию отходы. С развитием социума объем ТКО непрерывно растет. Если в середине прошлого века на каждого человека приходилось 220-250 кг ТКО в год, то в восьмидесятых годах прошлого века эта цифра возросла до 300-320 кг в год. В конце 20 века в разных странах мира этот показатель составлял от 350 до 600 кг на человека в год. На сегодняшний день объем ТКО в странах ЕС приближается к 700 кг. А это актуализирует утилизацию твердых коммунальных отходов (ТКО) социумом.

Морфологический состав ТКО необычайно разнообразен – более 1000 ингредиентов. В ТКО углеродосодержащие вещества [70] представлены: отходами более 200 разновидностей бумаги (включая картон), текстильные отходы до 150 артикулов (натуральные и синтетические ткани), пищевые отходы (до 80 видов пищевых продуктов), отходы синтетических полимеров (включая иск. кожи и резины), до 40 разновидностей пластмасс, гумус. Одновременно присутствуют и неорганические компоненты ТКО, представленные стеклом, бетоном, керамикой, природными камнями, песком, а также ломом черного и цветного металлов.

Морфологические группы ТКО определяют отходы схожие по комплексу физических, химических и потребительских свойств. Усредненный морфологический состав (приложение №8), отслеживаемый в течение 10 лет в различных регионах РФ (в том числе Болгарии), вывозимых на полигоны в различных регионах в любое время года условно постоянен.

Современные «безлюдные» технологии переработки несор-

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

тированных ТКО позволяют [44, 111] посредством биологической обработки и сепарирования выделить «сухие» углеродосодержащие вещества. Как показали различные исследования, содержание углеродосодержащих веществ составляют около 80% от общей массы ТКО за исключением специфических источников, например курортных районов. Однородность результатов, вероятно, обусловлена глобальной унификацией потребительского ассортимента.

Абсолютно сухая горючая масса ТКО состоит из основополагающих веществ [70] (процент по массе):

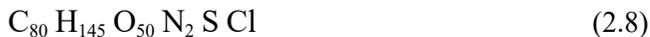
Углеводы	–	60,0...64,7
Белки	–	10,8...12,5
Полимеры	–	22,5...25,0
Прочие	–	2,0...2,5

В прочих в основном кислородные соединения: альдегиды, кетоны, жиры, спирты и др.

Элементный состав абсолютно сухой, обеззоленной горючей массы ТКО [70] (процент по массе):

Углерод, С	–	45,5...50,4
Водород, Н ₂	–	7,0...7,5
Кислород, О ₂	–	38,0...42,0
Азот, N ₂	–	1,3...1,5
Сера, S	–	1,65...1,7
Хлор, Cl ₂	–	1,65...1,8

Стехиометрическая модель сухой, горючей массы ТКО может быть представлена в виде [70]:



Исходя из этого энергопотенциал ТКО после сепарации (влажность 5%, доля минерального вещества 2%, доля горючей массы 93%), рассчитанный по формуле Менделеева (1.11), составит: $Q_H^{TKO} = 18,3$ МДж/кг.

Многочисленные статистические исследования морфологического современного состава ТКО в различных регионах, независимо от сезона, в среднем для углеродосодержащих отходов оценивают их энергопотенциал Q_H^{TKO} как условно постоянный.

Термическая обработка отходов экзотермическим окислением (сжигание) более способствует их ликвидации, нежели энергогенерации. Термическая обработка сокращает объем отходов более чем в 10 раз, а массы – в 3 раза, зольный остаток составляет 20–30% от массы отходов с повышенной радиоактивностью примерно в 10 раз [177].

По разным оценкам сжигание 1 т отходов сопровождается 4–5 т продуктов горения и 2,5 м³ сточных вод [177]. Капитальные затраты на сжигание отходов [177], в 8–9 раз выше, а тариф в 5–12 раз выше, чем на переработку отдельно собранных отходов. Себестоимость же получаемой таким образом энергии в 2-3 раза превышает традиционную.

Показательно, что знаменитый мусоросжигательный завод компании АЕВ в Амстердаме, образец апологетов сжигания мусора [186], обанкротился. Банкротство обусловило: серия пожаров, высокие выбросы окислов азота, высоко токсичные отходы сжигания и т.п. Кроме того, завод неоднократно был пойман на сбросах токсических отходов в биосферу. В итоге региональное экологическое агентство признало завод опасным для персонала и окружающей среды.

И как итог: [177], «Сжигание мусора несовместимо с концепцией устойчивого развития».

ИТОГИ 2 ГЛАВЫ

Инженерная реализация энергогенерации экзотермическим окислением УСЭ, реализуется преимущественно на основе их физико-химических свойств. Агрегатное состояние УСЭ определяет содержание в них углерода (С) и фиксируется при нормальных условиях. Энергопотенциал УСЭ формируется энергией химических связей, в основном многочисленных высокомолекулярных органических соединений. Энергопотенциал УСЭ определяет начальное и конечное состояние вещества, поэтому его состав определяется содержанием (в процентах по массе) отдельных химических элементов. При отсутствии опытных данных энергопотенциал УСЭ с известным элементным составом может быть приближённо рассчитана по формуле Д.И. Менделеева. При принятии инженерных решений энергопотенциал УСЭ оценивается низшей теплотой сгорания $Q_{\text{н}}$.

Высокая скорость биохимических реакций определяет ассимиляцию углерода биомассой и ее трансформации биоциклами. Биомасса вовлекается в энергогенерацию социума антропогенным физико-химическими, биохимическими и термохимическими преобразованиями в разнообразные УСЭ.

Синтезируемые абиогенными и биогенными процессами ископаемые энергоносители аккумулируются в биосфере. Антропогенными механофизическими, термохимическими и биологическими преобразованиями ископаемые энергоносители: торф, сланцы, нефть, природный газ трансформируются в разнообразные формы УСЭ.

Газогидратные залежи, несмотря на более высокую концентрацию газа в единице объёма пористой среды, чем в обычных газовых месторождениях, являются *неосвоенным энергоресурсом*.

Не освоен и энергоресурс антропогенных углеродосодержащих отходов. Их фундаментальная особенность – *системная многокомпонентность и физико-химическая неоднородность* препятствует их вовлечению в энергогенерацию. Термическая обработка отходов экзотермическим окислением (сжигание) более способствует их ликвидации, нежели энергогенерации. «Сжигание мусора несовместимо с концепцией устойчивого развития».

Антропогенное преобразование УСЭ направлено на вариативность, стабилизацию и сублимацию их энергопотенциала. В конечном итоге антропогенное преобразование адаптирует энергопотенциал УСЭ к инженерным решениям энергогенерации. Таким образом, именно вовлечение УСЭ антропогенным преобразованием определяет цепную самоорганизацию социума *Homo sapiens*.

Именно концентрация энергии вовлечением УСЭ интенсифицирует цепные процессы направленной непрерывной самоорганизации вещества в социуме и выделяет его в биосфере. Таким образом, антропогенное преобразование УСЭ определяет существование, образ, динамику трансформаций в социуме, что в конечном итоге обособливает его в биосфере.

ГЛАВА 3

ВЫБРОСЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ УСЭ

3.1. Оксиды углерода CO_x

Доминирующим продуктом реакций экзотермического окисления (горения) всех видов УСЭ является диоксид углерода CO_2 . Антропогенные выбросы CO_2 оцениваются [138] более 33,3 млрд. тн/год. Поэтому они по праву признаны самым масштабным неиспользуемым отходом.

Содержание углерода в исходном веществе (1.3, 1.4) определяет соответственно и количество CO_2 поступающего в биосферу при энергогенерации. При условии равной энергогенерации [35], сжигании различных УСЭ (рис. 3.1) сопровождаются соответственно разной эмиссией CO_2 : 151% угля; 87% мазута и 71% газа.

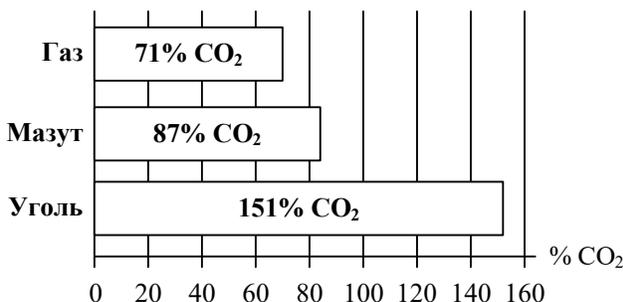


Рис.3.1. Эмиссия CO_2 при равной энергогенерации

Подавляющая часть CO_2 поступает в атмосферу в составе громадного потока в 250 трлн m^3 выбросов (дымовых газов) тепловых электростанций, где его концентрация менее 12%.

При нестехиометрических условиях (недостаток кислорода) экзотермического окисления (горения) образуется токсичный

монооксид углерода СО (угарный газ). Нестехиометрические условия обусловлены неравномерным распределением УСЭ и воздуха по горелкам, неудовлетворительным смесеобразованием в каждой горелке, а также преднамеренным режимом с определенным химическим недожогом, который соответствует максимальной экономичности котла.

Статистические данные показывают, что концентрации окиси углерода в выбросах при энергогенерации на природном газе, в среднем 100 мг/м^3 , на твердом топливе – 125 мг/м^3 , при сжигании мазута с низким избытком воздуха около 250 мг/м^3 .

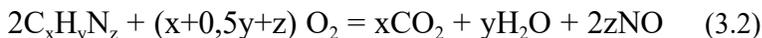
Наличие СО в выбросах указывает на неполное сгорание УСЭ, а соответственно, на снижение КПД процесса энергогенерации.

3.2. Оксиды азота NO_x

Выбросы оксидов азота (NO_x) сопутствующие энергогенерации оцениваются более 20 млн т. Основные источники ТЭЦ (до 6,5 млн т/год) и двигатели внутреннего сгорания автомобилей (до 5,5 млн т/год). Выбросы оксидов азота обусловлены как окислением азота воздуха, так и присутствием азота в УСЭ, в виде органических соединений $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z$ и $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_l$.

Известны 10 соединений азота с кислородом. Кроме пяти классических оксидов азота – закиси азота N_2O , окиси азота NO , оксида азота (III) N_2O_3 , диоксида азота NO_2 и оксида азота (V) N_2O_5 – известны также димер диоксида азота N_2O_4 и 4 малостабильных соединения: нитрозилазид NON_3 , нитрилазид NO_2N_3 , тринитрамид $\text{N}(\text{NO}_2)_3$ и нитратный радикал NO_3 .

При горении этих соединений образуются, помимо углекислого газа и воды, молекулярный азот и оксид азота:



Выделено [56] три основных механизма (рис. 3.2) образования NO_x :

- «термический» (высокотемпературный) механизм Зельдовича;
- «быстрый» (англ. prompt NO), называемый также химическим;
- «топливный» образования NO_x из азотсодержащих компонентов УСЭ («топливные NO_x », англ. fuel NO).

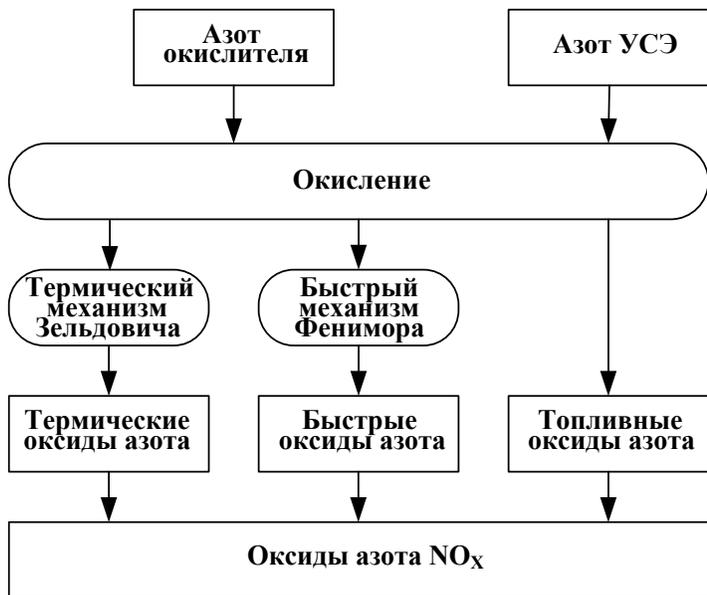


Рис.3.2. Образование NO_x

Вклад каждого из трёх механизмов образования NO_x определяется различными параметрами процесса [51] окисления (горения), температурой в зоне реакции и содержанием связанного азота в УСЭ. Очевидно, что при сжигании природного газа, не содержащего связанного азота, нет оснований для рассмотрения топливных оксидов азота. С другой стороны, при сжигании углей в низкотемпературном вихре или в кипящем слое, интенсивность образования термических оксидов ничтожно мала. Обобщая известные данные, образование оксидов азота в зависимости от температуры процессов окисления (сжигания) УСЭ можно проиллюстрировать (рис. 3.3):

«Термический механизм» Зельдовича
(разработан в середине 1940-х годов).

Доминирующий механизм окисления молекулярного азота атомарным кислородом при высоких температурах в зоне горения. Образование [38] оксидов азота при горении двухстадийное:



к которым добавляется реакция [133] (Фенимор и Джонс, 1957):



Реакции (3.4-3.6) определяют расширенный механизм Зельдовича.

Поскольку энергия тройной связи в молекуле N_2 около 950 кДж/моль, реакция (3.3) имеет большую энергию активации, то, и проходит только при высоких температурах. Поэтому этот механизм доминирует при высокой температуре в зоне реакции, например, при горении «околостехиометрических» смесей или при диффузионном горении. Повышение температуры (рис. 3.3) в зоне горения более 1570°C (1850 К) приводит к резкому росту выбросов NO_x .

Поэтому одним из основных способов снижения выбросов по тепловому механизму является нейтрализация очагов высокой температуры во фронте пламени.

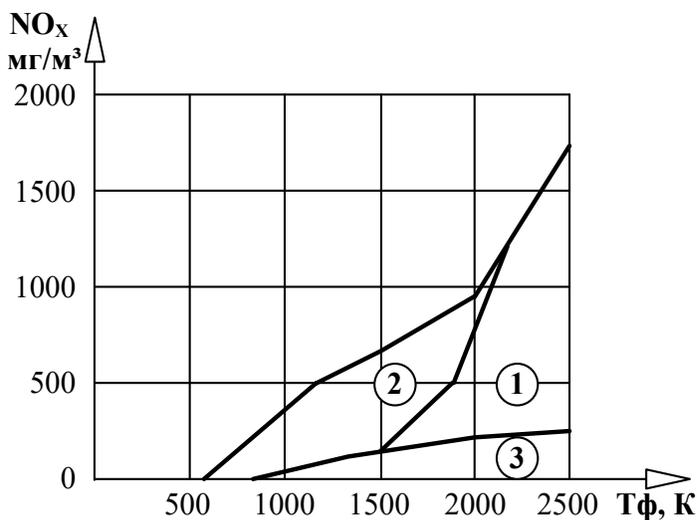


Рис. 3.3. Зоны образования оксидов азота при окислении УСЭ:

- 1 – термические оксиды;
- 2 – топливные оксиды;
- 3 – быстрые оксиды

«Быстрый механизм» Фенимора

Термический механизм ограничен воздействием тепловых факторов. Для УСЭ экспериментально измеренные концентрации NO_x заметно превышают предсказываемые по тепловому механизму. Прямые измерения, проведённые Фенимором [133] в 1971 году, показали, что NO образуется уже в начале зоны химической реакции. Протекающие непосредственно во фронте пламени (при сравнительно низких температурах) реакции разложения молекулярного азота под воздействием углеводородных радикалов с последующим взаимодействием атомарного азота с гидроксильной группой OH (механизм Фенимора) – так называемые «быстрые» оксиды.

Образование NO_x по быстрому механизму связано с реакцией радикала CH , который присутствует только в начальной зоне разложения углеводородных топлив, с молекулярным азотом:



NO может образовываться и в ряде последующих реакций с участием различных радикалов, (рис. 3.4) однако [150], квантово-химические расчёты и экспериментальные исследования показали, что главную роль играет реакция (3.7).

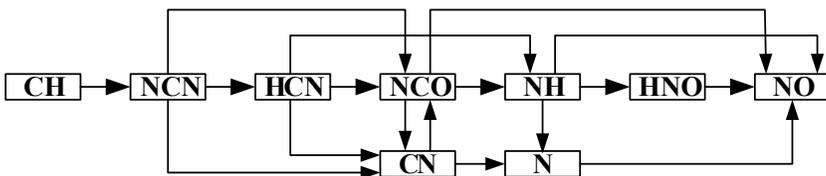


Рис. 3.4. Схема образования NO по «быстрому» механизму

В быстром механизме реакция (3.6) протекает с небольшой энергией активации. Поэтому реакция (3.6) возможна при невысоких температурах порядка 727°C (1000 K). В богатых смесях (с избытком УСЭ) образованию NO способствует повышенная концентрация радикалов CH .

Топливные оксиды азота

Практически все твёрдые УСЭ содержат органически вещества, а следовательно, и азот. Содержание связанного азота в разных видах топлива (% сухой беззольной массы) оценивается:

уголь 0,5- 2%, биомасса (древесина) <0,5%, торф 1,5-2,5%, нефть <1,0%, природный газ <0,1%. Это приводит к образованию NO_x при термическом воздействии (горении, пиролизе и т.п.). В оксид азота переходит 10-30% топливного азота. Часть азота может переходить в N_2 или содержаться в связанном состоянии в золе, смолах и других нелетучих остатках.

Процессы сжигания угля и других твёрдых УСЭ реализуются при относительно невысоких температурах. Поэтому «термический механизм» Зельдовича не работает и вклад данного механизма [136] в выбросы NO_x превалирует.

Анализ [79] выхода топливных NO_x при сгорании УСЭ, имеющего состав $\text{CH}_4 - 0...88,7\%$, $\text{C}_2\text{H}_2 - 0...88,7\%$, $\text{H}_2 - 8...98,7\%$, $\text{NT} - 1,0\%$, $\text{W} - 1,0\%$, показал, что скорость образования топливного NO уменьшается с увеличением содержания CH_4 . Следовательно, азотосодержащие соединения УСЭ при горении, частично окисляясь до NO , вносят существенный вклад в общую эмиссию NO_x при количествах связанного азота в УСЭ меньше 0,1%.

3.3. Оксиды серы SO_x

Сопутствующие современной энергогенерации совокупные выбросы оксидов серы (SO_x) оцениваются свыше 65 млн. тн. Выбросы оксидов серы обусловлены присутствием серы в УСЭ и практически не связаны с инженерным и технологическим обеспечением процесса окисления.

Известные сернистые соединения представляют: меркаптаны, сульфиды, тиофаны, дисульфиды и полисульфиды, тиофены. Кроме того, в мазутах присутствуют сероводород и сера элементарная.

Содержащаяся в УСЭ сера S^p является источником образования оксидов серы SO_x : сернистого SO_2 и серного SO_3 ангидридов.

Сера S в твёрдых топливах может содержаться в трёх видах: органическая S_{op} , колчеданная S_k и сульфатная S_c . Органическая сера входит в состав высокомолекулярных органических соединений $\text{C}_x\text{H}_y\text{S}_z$ и $\text{C}_x\text{H}_y\text{S}_z\text{O}_t$ УСЭ. Колчеданная сера представлена соединениями с металлами (чаще железный колчедан FeS_2) и входит в минеральную часть топлива. Сульфатная сера входит в минеральную часть топлива в виде сульфатов щелочных металлов (CaSO_4 , MgSO_4 и др.) и поэтому в процессе горения дальнейшему

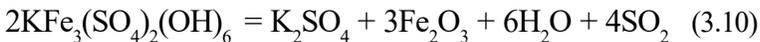
ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

окислению не подвергается и переходит в золу.

При горении твердых УСЭ (углей) [24] с избытком кислорода и высокой температурой:



В небольших количествах (<1%) при горении образуется оксид серы (VI). При окислении твердых УСЭ (углей) минералы класса сульфатов [24, 47] при термическом разложении образуют оксид серы (IV) и другие продукты, например ярозит:



При горении нефтяных УСЭ [24] в дымовые газы переходит в виде SO_2 и SO_3 практически вся сера мазута.



Часть SO_2 (1-5%) затем окисляется до серного ангидрида SO_3 в ходе гомогенных реакций [24] по механизму Хедли при горении УСЭ:



где M – любая частица или молекула;



а также в результате протекания гетерогенных реакций окисления SO_2 на поверхностях нагрева с участием катализаторов, которыми могут быть V_2O_5 , Fe_2O_3 :



Доля SO_2 в продуктах сгорания [24] составляет 97-99%, а доля SO_3 – 1-3% от суммарного выхода SO_x . Фактическое содержание SO_2 в уходящих из котлов газах колеблется от 0,08 до 0,6% об., а концентрация SO_3 – от 0,0001 до 0,008% об. Конверсия диоксида в триоксид, в зоне реакции, составляет обычно до 5%. Серный ангидрид (SO_3) при соединении с водяным паром, содержащимся в продуктах сгорания, образует пары серной кислоты:



Конденсируясь на низкотемпературных элементах различ-

ных теплотехнических установок, пары серной кислоты вызывают их серноокислотную (низкотемпературную) коррозию.

Углевородородные газы различных месторождений, кроме сероводорода H_2S и сернистого ангидрида SO_2 , могут содержать сероуглерод CS_2 , серооксид углерода COS , тиофен C_4H_4S и меркаптаны RSH . При повышенных температурах, в частности, меркаптаны [24] разлагаются на сероводород и соответствующий углеводород, например:



3.4. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

Молекулы ПАУ представляют (приложение № 9) высокомолекулярные органические соединения, структуры которых определяется двумя и более конденсированными беззольными кольцами.

Известны [78] несколько сотен индивидуальных ПАУ, различающихся по числу бензольных колец и особенностям их присоединения друг к другу. ПАУ, содержащие два и более бензольных колец, высокостабильны в биосфере.

Образуются ПАУ в результате неполного окисления любых УСЭ. Основные причины: снижение скорости реакций окисления УСЭ холодными элементами инженерных устройств, а также неравномерное смешение УСЭ и воздуха и пр. Таким образом, эмиссия ПАУ (наряду с выбросами CO) является показателем неэффективности процесса окисления УСЭ.

Образование ПАУ [24, 78] происходит не только в реакциях окисления УСЭ, но и при их пиролизе и синтезе. Предполагается, что механизм образования ПАУ радикально-цепной и многостадийный. К сожалению, достаточной ясности пока нет. Формирование первого ароматического кольца [78] связано в основном с образованием радикала C_6H_5 и его последующей циклизацией в фенил. Дальнейший рост ПАУ связан с взаимодействием фенила и молекул ацетилена в реакциях полимеризационного типа.

Состав УСЭ [78] оказывает существенное влияние на природу эмиссии ароматических углеводородов. Установлена корреляция между концентрацией в УСЭ углеводородов с высокой молекулярной массой и высоким уровнем образования ПАУ.

Агентство по охране окружающей среды США (US Environmental Protection Agency, USEPA) определило 16 ПАУ как приоритетные загрязняющие вещества [164]: нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бензо(а)антрацен, бензо(к)флуорантен бензо(б)флуорантен, бензо(а)пирен, индено (123-с,d) пирен, дибенз (а,h) антрацен, бензо (g,h,i) перилен. Большое разнообразие ПАУ в выбросах (дымовых газах) существенно затрудняет их фиксацию и тем более измерение их концентраций. Вероятно поэтому в РФ обязательному контролю [9, 78] подлежит только бензопирен, что вызывает крайнее сожаление.

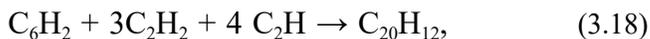
Поэтому уровень канцерогенной загрязненности выбросов при экзотермическом окислении УСЭ (сжигании) в атмосфере оценивается по концентрации наиболее сильного и стабильного канцерогена – многоядерного углеводорода бензопирен (бенз(а)пирена) $C_{20}H_{12}$.

3.4.1. Бензопирен

Бензопирен* $C_{20}H_{12}$ ароматическое соединение, семейства полициклических углеводородов (рис. 3.5) с пятью бензольными кольцами (приложения № 9, 16).

Бензопирен образуется при неполном сгорании любого УСЭ. Чем полнее сгорает топливо, тем меньше содержание бензопирена в дымовых газах. При $\alpha > 1$ бензопирен в дымовых газах практически отсутствует [7, 55].

Образование бензопирена протекает по гипотетическому уравнению [24]:



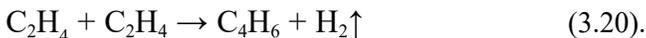
где: C_6H_2 – полирадикал, представляющий собой зародыш сажи; C_2H_2 и C_2H – элементарные строительные блоки. При температурах ниже $1000^\circ C$ основным строительным блоком при образовании бензопирена является дифенил $C_{12}H_{10}$. Молекула дифенила взаимодействует с двумя молекулами дивинила:



* Корректные названиями данного соединения бензопирен и бензпирен.

Бенз[а]пирен и бенз[е]пирен — корректные названия изомеров данного соединения (1,2-бензпирен он же 3,4-бензпирен и 4,5-бензпирен соответственно

Дивинил получается по радикально-цепной реакции из этилена:



Температура плавления бензопирена 179°C, температура кипения 510°C. В зависимости от температуры дымовых газов он может переходить из одного агрегатного состояния в другое. Агрегатное состояние бензапирена в дымовых газах преимущественно аэрозольное. Типичные уровни содержания $\text{C}_{20}\text{H}_{16}$ в отходящих газах ТЭС в зависимости от используемого топлива [7] составляют: 0,03-0,05 мг/м³ для природного газа; 0,1-0,3 мг/м³ для мазута; 0,3-0,4 мг/м³ для угля. По мере охлаждения дымовых газов бензопирен конденсируется, образуя сначала жидкий, а затем твердый аэрозоль.

3.4.2. Диоксины (полигалогены, фураны) и родственные им соединения

Диоксины [42, 99] обобщают обширную группу гомологов и изомеров полигалогенов и их производных, а также фуранов. Таким образом, диоксины и диоксинподобные соединения объединяют несколько десятков семейств, включающих трициклические ислородсодержащие соединения, а также семейство бифенилов (ПХБ), не содержащих атомы О. К ним относятся 75 полихлорированных ди-бензодиоксинов (ПХДД), 135 полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ), 210 представителей из броморганических семейств, несколько тысяч смешанных бром- и хлорсодержащих соединений, а также 22 изомера ТХДД и 38 изомеров ТХДФ.

Наиболее токсичен, из известных, супертоксикуант 2,3,7,8 тетрахлорбензо-п-диоксин (ТХДД) – (рис. 3.5.1) класса полихлорированных дибензо-п-диоксинов (ПХДД), менее токсичны его аналог 2,3,7,8 тетрахлордибензофуран (ТХДФ) - (рис. 3.8.2) класса полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ) и 2,3,6,7 – тетрахлорбифенилен (ТХБФ) - (рис. 3.5.3) класс полихлорированных бифениленов, а также разнообразные (рис. 3.5.4) планарные бифенилы (ПХБ).

Диоксины имеют [42] исключительно антропогенное происхождение и являются ксенобиотиками*. Иное образование этих соединений в биосфере не установлено.

* Ксенобиотики (греч. ξένος — чуждый и βίος — жизнь) вещества не входящих в биотический круговорот.

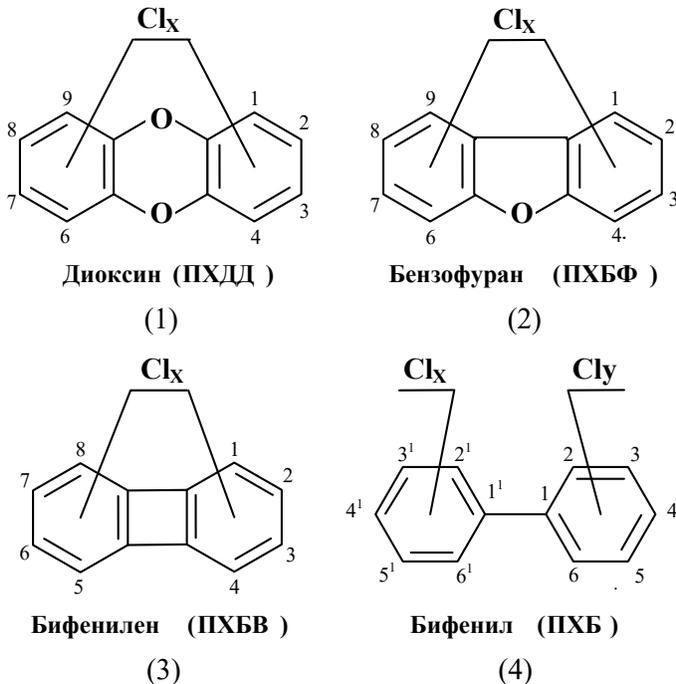


Рис. 3.5. Структура молекул супертоксикантов

Образование диоксинов обеспечивает сочетание трех условий: оксиды углерода в кислой среде (органика), галоиды (хлор, бром, фтор и т.д.) и высокая температура (более 240°C). Заметное количество диоксина [169] образуется даже в присутствии неорганического хлора, который всегда содержится в воздухе или УСЭ. Поэтому эти вещества побочный продукт термических процессов (синтеза, сжигания, пиролиза и пр.) содержащих галоиды, что встречается при антропогенном преобразовании УСЭ. Одновременно не исключено и попадание ПХБ, изделия из ПВХ, иных пластических масс, целлюлозно-бумажной продукции, продуктов аварий и т. п. в процессы трансформации УСЭ.

Экспериментально подтверждено [99] образование диоксинов в виде двухстадийного процесса. Возникающие хлорбензолы преобразуются в присутствии кислорода и при более низких температурах: сначала в фенолы и дифениловые эфиры, а затем в смесь ПХДД/ПХДФ. Более того, и при пиролизе ПВХ в инертной среде действует аналогичный механизм с тем же результатом.

3.5. Зола и шлак

Минеральные примеси, содержащиеся в УСЭ, в процессе химических и фазовых превращений образуют золу и шлак.

Основной глинистый минерал некоторых углей [48] – каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ – при нагревании до 450-650°C разлагается и переходит в химически активный безводный метакаолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. А при температуре выше 900°C образуется фаза муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. При образовании соответствующих оксидов в диапазоне температур 400-500°C происходит разложение карбоната железа, а в диапазоне температур 600-1000°C – разложение карбонатов кальция и магния. Кварц претерпевает полиморфное превращение при 573°C. Окисление пирита (3.10) происходит при температуре 400-700°C с образованием оксидов железа и серы. В полувосстановительной среде гематит переходит в магнетит, FeO может восстанавливаться в железо или соединяться с кремнеземом в легкоплавкие силикаты. В зоне высоких температур (1200°C) появляются эвтектические смеси, которые составляют стекловидную фазу. При факельном сжигании углей большая часть минерального вещества топлива переходит в золу и меньшая часть – в шлак.

Зола образуется в виде сыпучей (летучей) массы, а шлак в виде сплавленных фрагментов. Содержание золы различно для различных видов топлива. Так, содержание [48] золы в 10-15% в бурых углях; 3-40% в каменных углях; 2-30% в антраците; горючих сланцах – 50-80%; топливном торфе – 2-30%; дровах – 0,5-1,5%; мазуте – 0,15-0,2%.

При этом конгломераты различных соединений, образующихся из его минеральной части, выделяются в виде пылевидной массы. Мелкие и легкие частицы (размеры от 5 до 100 мкм), содержащиеся в золе в количестве до 85%, уносятся из топок конгломератов дымовыми газами, образуя так называемую золу-унос. Более крупные частицы оседают на под топки, оплавляются в кусковые шлаки или стекловидную массу. Количественное соотношение между образующимися шлаками и золой-уносом различно, оно зависит от конструкции топки. Так, в топках с твердым шлакоудалением в шлак обычно переходит 10-20% всей золы топлива. В топках с жидким шлакоудалением в шлак переходит 20-40%, а в циклонных топках – до 90% всей золы

топлива. Топливные шлаки и зола-унос различаются по составу и свойствам в зависимости от вида топлива и способа его сжигания.

Зола-унос представляет собой тонкодисперсный материал с малым размером частиц. Характерная особенность золы: присутствие в ней до 6% несгоревшего топлива, а также железа, в основном в закисной форме. Частицы шлака имеют размеры от 0,2-30 Мм. В топках с жидким шлакоудалением шлак получается в гранулированном виде. Для него характерна стекловидная структура.

3.5.1. Характеристика и состав шлаков

По своей природе шлаки искусственные силикаты. Они состоят из окислов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, марганца, серы и других. В зависимости от количественного соотношения окислов, а также от условий и скорости охлаждения шлаковых расплавов шлаки могут иметь свойства гранита или вулканической пемзы. Шлаки являются аналогами природных минералов: могут быть плотными и пористыми, тяжелыми, как базальт, и легкими как туф или ракушечник. Удельный вес шлака [48], т.е. вес его вещества, близок к весу природных каменных материалов и составляет 2,5-3,6г/см³. Плотность шлака колеблется от 3200кг/м³ до 800 кг/м³.

Химический состав шлаков от сжигания углей [48] представлен в основном SiO₂ и Al₂O₃. Кроме того, в состав шлаков также входят оксиды Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, SO₃ и др.

При сжигании мазута образуется зола, в состав которой входят оксиды ванадия (VO, VO₂, V₂O₃, V₂O₅), а также оксиды металлов (SiO₂, Ni₂O₃, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃). Воздействие золы на биосферу контролируется по наиболее токсичной форме оксида ванадия – пентаоксид ванадия (V₂O₅), что и определяет санитарно-гигиенический норматив предельно допустимой концентрации (ПДК).

Большинство топливных шлаков относится к классу кислых или нейтральных. Шлаки каменных углей отечественных месторождений большей частью являются кислыми.

В золе, в небольших количествах, могут быть [48] и тяжелых металлы (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, V), присутствующие в органическом топливе. Большинство тяжелых металлов обычно

выбрасываются в форме соединений (например, оксиды, хлориды) в составе твердых частиц. Менее летучие элементы адсорбируются на поверхности малых частиц в потоке дымового газа.

В составе золы остается более 90% радиоактивных изотопов калия, урана и бария которые могут присутствовать в твердых видах топлива.

Зола является естественным адсорбером в процессе горения топлива. СО₂ в виде адсорбированных молекул ПХДД и ПХДФ присутствуют в твердых фракциях любого процесса горения, например шлаках и летучей золе.

3.6. Сажа

Образование сажи и появление ее в продуктах горения обусловлено неравномерным распределением окислителя и дефектами смесеобразования. В общем случае он представляет собой последовательность процессов разложения УСЭ. В результате ряда цепных реакций, вызванных воздействием на УСЭ высокой температуры, образуются углеводородные радикалы, формирующие шестиугольную структуру графитовой кристаллической решетки. Образование активных углеродных частиц приводит к росту ядер сажи и их агломерации.

Предполагается [41], что образующийся гомогенный пар углерода конденсируется в объеме. Образующиеся мелкодисперсная сажа, попадая в зону температур ниже 800°С, не сгорает и коагулируется.

После образования физических зародышей [41] происходит коагуляция первичных сажевых частиц, сопровождающаяся гетерогенным процессом поверхностного роста частиц до характерных размеров 10...30 нм. Подавляющая часть массы частиц сажи (> 95%) образуется за счет поверхностного роста, а не за счет процесса образования зародышей. Процесс коагуляции заключается в столкновении двух частиц, которые затем «слипаются» друг с другом с образованием общей внешней оболочки. Химизм процесса роста частиц заключается в разложении молекул углеводородов и радикалов на поверхности частицы.

Поскольку сажа является метастабильным продуктом процесса горения, возможно несколько путей перехода (механизмов) в это состояние в зависимости от условий реализации процесса горения.

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Основными элементами сажи являются [41] углерод (90-99%), водород (0,3-0,5%) и кислород (0,1-7,0%), содержание, элементов колеблется в зависимости от состава сырья и технологии производства. В саже [41] может содержаться до 1,5% серы и до 0,5% золы. Из частиц сажи формируются агрегаты (плотные образования множества частиц) и агломераты (рыхлые цепные образования разветвленной структуры). Линейные размеры агломератов сажи могут достигать нескольких микрон (обычно 0,2-0,8 мкм).

3.7. Тяжелые металлы

Выбросы тяжелых металлов обусловлены их естественным присутствием в УСЭ. Большинство [24] тяжелых металлов As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, V обычно выбрасываются в форме соединений (оксидов, хлоридов) в составе твердых частиц. Только Hg и Se частично присутствуют в газообразной фазе. Менее летучие элементы конденсируются на поверхностях малых частиц в дымовом потоке. Поэтому тонкодисперсные фракции частиц, как правило, обогащены тяжелыми металлами.

Содержание тяжелых металлов в угле на несколько порядков превосходит их содержание в нефти (исключая Ni, V) или природном газе.

Скорость испарения соединений тяжелых металлов зависит от свойств УСЭ (их концентрации, доли неорганических соединений, как кальций) и инженерных решений (технологии и оборудования).

3.8. Генерация физических воздействий (полей) на биосферу

Антропогенные трансформации энергии сопровождаются генерацией в биосферу различных сопутствующих физических полей: механических (включая акустические) и электромагнитных. Генерируемые физические поля, перенося энергию выступают энергетическими загрязнителями биосферы. Антропогенной трансформации энергии на основе УСЭ преимущественно сопутствуют механические в виде шумовых выбросов и электромагнитные включая тепловые и радиационные.

3.8.1. Тепловые выбросы

С 70-х годов XX столетия до 2010 года потребление энергии возросло с 5 до 12,0-12,6 млрд тонн нефтяного эквивалента, т. е. в 2,5 раза. Мировое потребление энергии составляет $2,7-3,3 \times 10^{20}$ Дж/год при среднегодовом приросте производства энергии 2,4%. В соответствии со вторым законом термодинамики преобразование энергии в работу переводит ее часть в теплоту увеличивая энтропию окружающей среды. Собственно, это и является одной из разновидностей ее загрязнения.

Тепловые выбросы обусловлены потерями энергии реакций экзотермического окисления при их преобразовании в механическую и/или электрическую энергии. Термодинамические пределы идеального цикла Карно ограничивают эффективность циклической энергогенерации. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, с мощностью равной нулю и бесконечно малой скоростью обладает КПД:

$$\text{КПД} = 1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1 \quad (3.21)$$

где Q_1 – суммарное количество теплоты реакций экзотермического окисления (горения), Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику; T_1 – температура горения топлива, T_2 – холодильника. Действительная температура горения (при коэффициенте избытка воздуха равном 1,0): антрацита – 2270°C, торфа – 1700°C, мазута – 1125°C, природного газа – 2000°C.

Всякая реальная тепловая машина имеет потери тепла из-за неизбежно происходящих в ней необратимых процессов: трения, теплопроводности и др. Поэтому КПД реальной тепловой машины всегда меньше, чем КПД идеальной, работающей по обратимому циклу Карно между теми же значениями температур.

Реальное КПД ТЭЦ 35-40% в результате чего 60-70% тепловой энергии, полученной в результате окисления УСЭ, поступает в биосферу как тепловой выброс.

Суммарное поступление антропогенной тепловой энергии в настоящее время на нашей планете превышает 10 ТВт (10^{12} Вт) ежегодно. Это соответствует поверхностной плотности теплового потока $3,2 \times 10^{-2}$ Дж/м²×с в сравнении с солнечным потоком, оцениваемым в 160 Дж/м²×с. Исходя из этого антропогенные тепловыделения на земной поверхности в настоящее время составляют 0,01–0,02% поступающей солнечной энергии. При

этом антропогенный фактор превосходит по плотности теплового потока на поверхность Земли такие глобальные источники тепловой энергии, как энергия космических лучей (около $1,5 \times 10^{-6}$ Дж/м²×с), энергия распада радиоактивных изотопов (7×10^{-3} Дж/м²×с), энергия приливного трения ($3,5 \times 10^{-3}$ Дж/м²×с) и тектоническая энергия ($\sim 10^{-3}$ Дж/м²×с).

3.8.2. Шумовые выбросы

Процесс сжигания УСЭ генерирует интенсивные акустические колебания [46] как результат упругих колебаний и частиц упругой среды УСЭ, и конструктивных элементов энергогенераторов.

Исследованиями [46] установлено, что при движении газов в инженерных каналах энергогенераторов создаются высокочастотные аэродинамические шумы. Образованное пламя и газообразные продукты сгорания, подвергаясь расширению и сжатию, при горении УСЭ создают низкочастотный шум, т. е. «гул» горения. Уровень генерируемого шума пропорционален квадрату скорости выхода газового потока. Наряду с аэродинамическим шумом горение само генерирует шум турбулентностью пламени, имеющий широкополосный спектр. Мгновенное изменение интенсивности выделения теплоты приводит к резкому повышению давления. Шум, генерируемый турбулентным пламенем, возникает в основном [46] в диапазоне частот 125-1000 Гц.

Шум горения обусловлен быстрым объемным расширением холодных реагирующих веществ по мере их сгорания и образования нагретых продуктов горения. Если локальная скорость объемного расширения постоянна, то пламя тихое (как в случае ламинарного горения), однако, если имеются флуктуации этой скорости, то генерируются звуковые волны (шум).

Генерацию шума в процессе горения определяет: скорость горения, расход газа и воздуха, турбулентность воздушного потока, инженерные решения энергогенератора, коэффициент избытка воздуха, вид сжигаемого УСЭ и др. Чем больший расход воздуха увеличивает уровень шума при горении. Большие размеры пламени так же повышают уровень шума, при этом узкое длинное пламя дает более низкий шум, чем широкое. Шум возникает при турбулентном горении, а при ламинарном практически отсутствует.

Технологический шум, создаваемый выбросами пара из предохранительных клапанов [62], относится к высокочастотному шуму с наличием максимумов в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами 1000-4000 Гц. Начальный уровень звука, создаваемого при сбросах пара, составляет 120 дБА, а соответствующие уровни шума на расстоянии 20 м превышают болевой порог человека.

3.8.3. Электромагнитные выбросы

Электромагнитные выбросы, как форма физического загрязнения, результата антропогенного изменения электромагнитных свойств среды (от линий электропередачи, радио и телевидения, работы промышленных установок и т. п.). Максимальное электромагнитное излучение отмечается в агломерациях, особенно вблизи аэропортов, промышленных предприятий, электрических подстанций, линий электропередач, средств и объектов телекоммуникаций. Это приводит [76] к глобальным и местным геофизическим аномалиям и изменениям в тонких биологических структурах.

Энергогенерации сопутствует преимущественно электромагнитное загрязнение, генерируемое оборудованием и инфраструктурами передачи электроэнергии. Локальное экранирование оборудования эффективно снижает уровень электромагнитного загрязнения, в отличие от инфраструктур передачи энергии.

Исследованиями [32] установлено, что уровень электромагнитных излучений ЛЭП есть функция номинального значения их напряжения: с увеличением напряжения возрастают величины напряженности электрического и магнитного поля. При линейной трассе ЛЭП электрическая и магнитная составляющая достигают наибольших значений в точках проекции крайнего провода на землю, при чем наибольшая величина напряженности наблюдается в точке максимального провисания проводов, т.е. в середине пролета. При повороте трассы, наибольшие уровни напряженностей электрического и магнитного поля достигаются в точке поворота. На одинаковых расстояниях большие значения напряженностей электрического и магнитного поля достигаются от угловой опоры по биссектрисе угла поворота трассы ЛЭП, чем от середины проекции крайнего провода.

ЛЭП создают электрические поля [76] напряженностью 2,5-5,5 кВ/м, электрические распределительные подстанции – 2,5-6,0 кВ/м. Для сравнения напряженность естественного ЭМП Земли составляет 1-10 мкВ/м. Установлено, что размер коридора ЛЭП, представляющего опасность для здоровья, достигает 60-90 м, где осью выступает линия электропередач.

3.8.4. Радиационные выбросы

Общеизвестна радиационная опасность тепловых электростанций, поскольку сжигаемые на них уголь, торф и газ содержат природные радионуклиды семейств урана и тория. Средние индивидуальные дозы облучения в районе расположения тепловых электростанций мощностью 1 ГВт/год составляют от 6 до 60 мкSv/год, а от выбросов АЭС – от 0.004 до 0.13 мкSv/год. Таким образом, АЭС, при нормальной их эксплуатации, являются экологически более чистыми, чем тепловые электростанции.

Наибольшую опасность представляют ТЭС, работающие на угле. Во время сжигания угля большая часть урана, тория и продуктов их распада выделяются из исходной матрицы угля и распределяются между газовой и твердой фракциями.

Уголь, как источник естественной радиации, содержит [48] природные радиоактивные вещества уранового и актиноуранового рядов (^{238}U и продукты его распада ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po и т.д.; ^{235}U и продукты его распада ^{219}Rn и т.д.), ториевого ряда (^{232}Th и продукты его распада ^{220}Rn , ^{216}Po), а также долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K . Естественная радиоактивность угля формируется за счет природных радионуклидов.

Уран в окислительных условиях земной поверхности, как правило, присутствует в виде хорошо растворимых соединений, и поэтому значительно более широко рассеян, чем торий, хотя среднее содержание урана в литосфере почти на порядок ниже, чем тория. В углях, в результате инфильтрации, уран концентрируется в низкомолекулярном органическом веществе торфов, лигнитов, бурых углей. Большая часть урана находится в виде мелкодисперсных оксидов. В антрацитах и каменных углях количество урана незначительно.

Концентрация РН в разных угольных пластах [48] различается в сотни раз. В среднем содержание радионуклидов в угле

примерно соответствует гранитным кларкам. За счет привнесенного урана содержание радионуклидов может увеличиваться. Так, в подмосковном угле содержание урана [48] в среднем составляет 9.15 г/т, а тория 11.65 г/т. По мере выработки месторождения концентрация радионуклидов в угле может меняться.

При среднем содержании урана в литосфере около 2,0 г/т, среднее содержание урана в богатых золах достигает 400-520 г/т [137]. Удельные активности ЕРН* в летучей золе превышают их средние значения в почве для ^{232}Th – до 2,0 раза, для ^{226}Ra и ^{40}K до 5 раз, а для ^{238}U и ^{210}Pb до 20 раз. [137].

При работе ТЭС содержащиеся в угле радионуклиды с продуктами их сжигания (золошлаковыми отходами и газоаэрозольными выбросами) попадают в биосферу и служат источником радиоактивного загрязнения окружающей среды и облучения людей. Опасностью для окружающей среды, особенно при повышенной радиоактивности золы (выше 370 Бк/кг), являются также и пылеунос с золоотвалов. Природные радионуклиды из золоотвалов могут попадать в организм людей по пищевым цепочкам и при размывии золоотвалов водой.

Другим источником радиационного загрязнения биосферы является использование подвергшиеся ранее загрязненным радионуклидами УСЭ.

Так, в результате взрыва четвертого энергоблока на Чернобыльской АЭС и пожара активной зоны примерно 3–4% радиоактивных веществ было выброшено в окружающую среду. В Беларуси [34] более 1,7 млн. га (18,8%) лесного фонда загрязнено радионуклидами (территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 37 кБк/м²).

Установлено [34], что удельная активность ^{137}Cs в радиоактивных продуктах сгорания лесных горючих материалов превышает удельную активность этого изотопа в лесных горючих материалах в 3 раза. Объемная активность ^{137}Cs в дымовых выбросах пропорциональна плотности загрязнения сгораемых компонентов лесных фитоценозов. Дымовые выбросы, образующиеся при сгорании лесных горючих материалов [34] с плотностью загрязнения свыше 1480 кБк/м², по содержанию

* Удельная эффективная активность ЕРН ($A_{эфф}$) — суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека. ГОСТ 30108-94 «Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов».

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

^{137}Cs могут превышать суточные нормы допустимой объемной активности, установленной для населения.

В настоящее время нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009) ограничивают только применение шлаков в строительных целях. УСЭ, включая уголь по радиационному признаку не нормируется. Очевидно, что как минимум, необходимо создание эффективной системы контроля радиационной безопасности УСЭ и в первую очередь угля по радиационно-гигиеническому фактору. Это позволит разработать технологию обеспечения экобезопасности.

ИТОГИ 3 ГЛАВЫ

Антропогенные выбросы CO_2 самые масштабные. Содержание углерода в УСЭ определяет количество CO_2 выбрасываемого в биосферу при энергогенерации. Наличие CO в выбросах указывает на неполное сгорание УСЭ.

Выбросы оксидов азота – результат окисления азота воздуха и азота органических соединений УСЭ. Выделяется три основных механизма образования NO_x : «термический механизм» (высокотемпературный) механизм Зельдовича, «быстрый» механизм химический, «топливный» из азотсодержащих компонентов УСЭ. Вклад каждого из трёх механизмов образования NO_x определяется параметрами процесса окисления (горения), температурой в зоне реакции и содержанием азота в УСЭ.

Выбросы оксидов серы обусловлены присутствием серы в УСЭ и не связаны с инженерным и технологическим обеспечением процесса окисления. Сернистые соединения в УСЭ представляют: меркаптаны, сульфиды, тиофаны, дисульфиды и полисульфиды, тиофены, а также сероводород и элементарная сера. Сера УСЭ образует оксиды серы SO_x : сернистого SO_2 и серного SO_3 ангидридов.

Неполное экзотермическое окисление УСЭ образуют ПАУ. Основные причины: снижение скорости реакций окисления УСЭ, неравномерное смешение УСЭ и воздуха и пр. Механизм образования ПАУ радикально-цепной и многостадийный. Состав УСЭ определяет природу эмиссии ПАУ. Концентрация в УСЭ углеводородов с высокой молекулярной массой коррелирует с высоким уровнем образования ПАУ. Большое разнообразие ПАУ в выбросах затрудняет фиксацию их концентраций. Поэтому в РФ обязательному контролю подлежит только бензоапирен, что вызывает крайнее сожаление. Температура дымовых газов определяет агрегатное состояние бензоапирен, в дымовых газах преимущественно аэрозольное.

Выбросы диоксинов определяет сочетание трех условий: оксиды углерода в кислой среде (органика), галоиды (хлор, бром, фтор и т.д.) и температура (более 240°C). Диоксины обобщают обширную группу гомологов и изомеров полигалогенов и их производных, а также фуранов. Диоксины имеют исключительно

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

антропогенное происхождение и являются ксенобиотиками. Диоксины, устойчивы (резистентны) к деструкции и как ксенобиотики, длительно сохраняют биологическую активность (персистируют) в биосфере.

Минеральные примеси УСЭ образуют золу (сыпучую массу) и шлак (сплавленных фрагментов). Шлаки как искусственные силикаты состоят из окислов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, марганца, серы и других. Зола тонкодисперсный материал с присутствием в ней несгоревшего УСЭ, железа в закисной форме, тяжелых металлов из УСЭ и радиоактивных изотопов из УСЭ. Зола является естественным адсорбером СО₂ (ПХДД и ПХДФ).

Выбросы сажи – результат неравномерного окисления УСЭ. Образующиеся углеводородные радикалы формируют шестиугольную структуру графитовой кристаллической решетки. Частицы сажи образуются гетерогенным поверхностным ростом. Частицы сажи формируют агрегаты и агломераты.

Выбросы тяжелых металлов – следствие их присутствия в УСЭ. Только Hg и Se частично присутствуют в газообразной фазе. Менее летучие элементы конденсируются на поверхностях малых частиц в дымовом потоке.

Выбросы в виде физических полей представлены механическими в виде шумовых выбросов и электромагнитными включая тепловые и радиационные.

Шум – результат упругих колебаний частиц упругой среды УСЭ и конструктивных элементов. При турбулентном горении шум больше, чем при ламинарном. Большой расход воздуха увеличивает уровень шума при горении.

Тепловые выбросы – результат потерь энергии реакций экзотермического окисления при ее преобразовании. Локализация источников выбросов антропогенного тепла кардинально меняет соотношение с солнечным потоком.

Электромагнитные выбросы генерирует оборудование и инфраструктура передачи электроэнергии при энергогенерации. Максимальное электромагнитное излучение отмечается в агломерациях.

Радиационные выбросы обусловлены содержанием в УСЭ природных радионуклидов семейств урана и тория и их загрязнением радионуклидами.

ГЛАВА 4

ВЫБРОСЫ И БИОСФЕРА

4.1. Основы устойчивости

Как результат трансформации первичной энергии наша планета представляет совокупность коррелирующих устойчивых пространственно-временных систем.

Непрерывное однонаправленного распространения энергии [22, 73, 161] через химические связи устойчивых пространственно-временных систем биосферы, поддерживает устойчивое неравновесие (гомеостаз) между живыми организмами и окружающей средой (биогеоценозами). В конечном итоге непрерывность этого потока энергии в биосфере и определяется как жизнь.

Таким образом, выбросы, во всех их проявлениях, представляют не что иное как внешнее воздействие на устойчивые пространственно-временные системы биосферы и планеты в целом.

Устойчивость пространственно-временных систем определяется их стабильностью при внешнем воздействии, изменяющем условия равновесия (температура, давление, концентрация, внешние физические поля и т.п.). Если в системе, находящейся в устойчивом равновесии, внешнее воздействие изменяет условия определяющие положение равновесия, то в системе усилится то из направлений процесса, течение которого ослабляет влияние произведенного воздействия, и положение равновесия сместится в том же направлении. Таким образом, устойчивые пространственно-временные системы, включая биологические (биоценозы), при внешнем воздействии, противодействуют изменениям.

Влияние изменения температуры на термодинамические равновесия систем в общем виде впервые [49] обосновал русский химик А. Л. Потылицын (1880). Несколько лет спустя это влияние было оценено Вант-Гоффом (1883) в количественной форме.

Согласно современным представлениям [6, 49, 81], это явление формализует два не связанных друг с другом правила; собственно принцип Ле Шателье (1884) и сокращенный принцип Ле Шателье – Брауна (1887). Оба правила представляют собой следствия общего принципа равновесия Гиббса.

Принцип Ле Шателье определяет: система, находящаяся в состоянии равновесия, при действии на нее сил, вызывающих нарушение равновесия, переходит в состояние, ослабляющее эффект внешнего воздействия.

Сокращённый принцип Ле Шателье – Брауна [81] определяет, что истинное равновесие априори отвечает равенству скоростей прямого и обратного процессов. Смещение равновесия происходит в том случае, когда произведенное воздействие неодинаково влияет на скорости прямого и обратного процессов. Это нарушение равенства скоростей и приводит к смещению равновесия и переходу системы в новое состояние равновесия, при котором скорости прямой и обратной реакций опять станут одинаковыми между собой, но будут отличаться от первоначальных. В общем виде выполняется неравенство [6]:

$$\left(\frac{\partial x_i}{\partial X_i}\right)_{x_k} < \left(\frac{\partial x_i}{\partial X_i}\right)_{X_k} \quad (4.1),$$

где: x_i и x_k - переменные параметры системы, определяющие ее равновесие;

X_i и X_k – действующие на систему обобщённые силы (внешнее воздействие).

Принцип Ле Шателье – Брауна применим для систем, находящихся в равновесии, то есть устойчивых в начальном состоянии. Системы выводятся из равновесия не только внешним воздействием, но и под влиянием флуктуаций в самой системе. При этом изменения в системе стремятся вернуть ее в состояние равновесия, что сопровождается ростом энтропии системы.

Расширенный принцип Ле Шателье – Брауна применим к биосфере как открытой саморегулирующейся системе, обладающей устойчивым динамическим равновесием на основе гомеостаза [43]. Применения принципа к биосферным процессам позволяет прогнозировать их развитие, основываясь на описании биосферы как саморегулирующейся системе [91].

Устойчивость природных пространственно-временных

систем, включая биологические (биоценозы), при внешнем воздействии формализуются на взаимодополняющие категории:

- упругость – возврат в исходное состояние после прекращения воздействия;
- пластичность – накопление результатов внешних воздействий, до изменения свойств и структуры определяющих иную систему.

В математическом смысле:

- упругость – это устойчивость по Ляпунову (устойчивость при действии малого параметра);

- пластичность – это устойчивость по Лагранжу (ограничение на решение дифференциальных уравнений поведения системы сверху и снизу). Устойчивость характерна для элементарных экосистем (биогеоценозов) и их компонентов.

4.2. Взаимодействие выбросов и биосферы

Современная энергогенерация на основе экзотермического окисления (горения) УСЭ обеспечивает [138] более 85% энергопотребления социума. Энергогенерация на основе окисления (горения) топлива в виде композиции УСЭ сопровождается (рис. 2.2) выбросами в биосферу как продуктов реакций, так и (рис. 2.4) инертных (балластных) веществ. В настоящее время антропогенные выбросы [138] при энергогенерации оцениваются более 35% от их общего объема.

Качественный и количественный состав антропогенных загрязняющих веществ динамичен. К таким веществам относятся пары воды, пыль, копоть и сажа, химические вещества в паро- и газообразном состояниях и в виде аэрозолей, а также радионуклиды.

Основное загрязнение пространств индустриальных и социальных агломераций обусловлено углеводородами и оксидами азота, образующимися в процессе экзотермического окисления (горения) УСЭ и при окислении азота воздуха молекулярным кислородом.

Аэрозоли могут быть с твердой или жидкой дисперсной фазой. Размеры частиц постоянно изменяются. В процессе диффузии они могут перемещаться в атмосфере и оседать на разнообразные поверхности. В свою очередь на частицах аэрозолей могут адсорбироваться различные газо- или парообразные

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

химические вещества. А твердые частицы могут растворяться в каплях аэрозолей.

Загрязнение тяжелыми металлами так же стало постоянным компонентом пространств индустриальных и социальных агломераций.

Именно в атмосферу поступает основной объём выбросов при энергогенерации экзотермическим окислением (горением) УСЭ. Воздух атмосферы является окислительной средой, в которой происходят химические и фотохимические превращения загрязняющих его веществ.

Качественный и количественный состав веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, зависит не только от источников загрязнения, но и от метеорологических условий и топографических факторов. К основным факторам относятся выбросы индустриальных и социальных агломераций, направление и скорость ветра («роза загрязнения»), температурные инверсии, барометрическое давление, влажность воздуха, рельеф местности, расстояние от источника загрязнения и его высоты [24].

В общем случае антропогенные выбросы при энергогенерации представляют многокомпонентные динамические полсистемы взаимодействующие с биосферой.

В свою очередь и выбросы одновременно воздействуют на элементы геосферы и прежде всего на атмосферу, как основу современной биосферы.

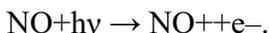
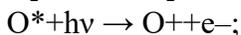
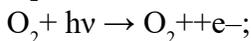
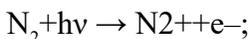
4.2.1. Атмосфера

Энергия излучения Солнца, проходя через межпланетную среду, совместно эндогенной энергией Земли создает ее атмосферу. Непрерывная ионизация и рекомбинация преимущественно эндогенного вещества атмосферы Земли и привнесенного вещества образует концентрацию ионов и электронов. Баланс процессов образования ионизацией и уничтожения рекомбинацией и др. образует устойчивую и динамичную форму внешнего слоя атмосферы от 50 до 1000 км вещества атмосферы – *ионосферу* (приложение № 10).

Основной источник ионизации вещества атмосферы [64,74] ультрафиолетовое излучение (УФ). Источником ионизации служат также непрерывный поток космической пыли и нерегулярные

источники СКЛ* и ГКЛ**, потоки метеоров, сгорающих на высотах около 100 км.

В результате ионосфера образуется [107] слоями с высокой плотностью свободных электронов и смесью ионов NO^+ и O^+ , положительных кластерных ионов [$\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NO}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NO}^+(\text{CO}_2)$ и др.], отрицательных ионов [NO^-_3 , CO^-_3 , $\text{NO}^-_3(\text{H}_2\text{O})$] и др. в сочетании с квазинейтральной плазмой и спорадическими слоями, в которых преобладают ионы металлов метеорного происхождения (Fe^+ , Mg^+ , Na^+ и др.). Непрерывное образование ионов из молекул и атомов, составляющих атмосферу, под действием кванта света происходит, например:



В дневные часы ионосфера формируется электромагнитным излучением Солнца, ГКЛ и СКЛ. В ночные часы, несмотря на отсутствие прямого ионизирующего излучения Солнца, низкую скоростью рекомбинации, а также диффузию плазмы, рассеянное верхними слоями атмосферы (т. н. геокороной) солнечное УФ-излучение (58,4 нм, 102,6 нм и 121,6 нм) обеспечивает стабильность ионосферы. Основной механизм трансформации энергии излучения Солнца на высотах 60-1000 км *фотоионизация*.

Структура и свойства ионосферы определяются [64, 74, 100] в основном (приложение № 10) вертикальным распределением концентрации свободных электронов. Концентрации электронов n_e в ионосфере распределена по высоте неравномерно в виде областей или слоев, где она достигает максимума. Таких слоев в ионосфере [64, 74, 100] несколько, без резко выраженных границ. Верхний слой F с максимум ионизации. Ночью он поднимается до высот 300-400 км, а днём (преим. летом) раздваивается на слои F_1 и F_2 с максимумами на высотах 160-200 км и 220-320 км. На высотах 90-150 км находится область E, а ниже 90 км - область D.

В результате *фотодиссоциации* образуется озоносфера O_3 от 15 до 50 км. Общая закономерность глобального распределения

* СКЛ - спорадические потоки (солнечные вспышки, редко распад протуберанца) заряженных частиц (электроны, протоны и ядра), инжектированные Солнцем в межпланетное пространство.

** ГКЛ- потоки ядер и электронов, приходящих из межзвездного пространства.

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

озона в средней стратосфере над экваториальным поясом определяется фотохимическим равновесием. Скорость образования и скорость стока озона с нисходящими потоками воздуха уравниваются, и выполняется условие (критерий Дютша – Добсона):

$$d [O_3]/dt = 0. \quad (4.2)$$

Между тем [58, 64, 100] концентрацию озона определяют и непрерывные цепные процессы с участием компонентов антропогенного происхождения (приложение № 10): азотно-окисных (NO_x), водородных (ОН), и галоидных (хлор-бром-йод, Cl-Br-I) соединений. Полагают, что до 80% разложения озона определяет азотный цикл.

Озоновый слой поглощает от 97 до 99% солнечного излучения в области длин волн от 0,2 до 0,315 мкм. Поглощённая озоном солнечная энергия нагревает атмосферу и приводит к повышению температуры с высотой. Таким образом, тропосфера и стратосфера разделяются тропопаузой, и практически не смешиваются. Лишь после образования озонового слоя (500-600 млн лет назад) жизнь смогла выйти из океанов, без этого не возникли бы ни растения, ни высокоразвитые формы жизни, включая человека. Более того, Земля и её ионосфера, образуют сферический резонатор, содержащий стоячие электромагнитные волны в атмосфере. В частности, на высотах до 850 км [184], соответствуют биоритмам. Вероятно, [131] атмосфера является хранилищем эталонов биоритмов, то есть их своеобразным камертоном.

Почти вся масса атмосферы находится в 50- километровом слое, прилегающем к земной поверхности. В пределах тропосферы (от 16-18 км в тропических широтах, 10-12 – в умеренных, до 8-10 км в полярных) сосредоточено около 80% массы земной атмосферы, а в пределах стратосферы остальные 20%. Состав атмосферы (рис. 1.6).

Атмосфера, преобразуя электромагнитную энергию Солнца выступает как многослойный фильтр Земли (рис. 4.1).

Спектральное поглощение в области длин волн от 0,2 мкм до 70 мкм. В верхней части (рис. 4.1) сплошной линией [107] аппроксимируются излучения абсолютно черного тела, соответствующего Солнцу (5525 К) и Земле (210 – 310 К). Заливкой показано излучение с учетом его потерь в атмосфере при переносе солнечного и атмосферного излучений.

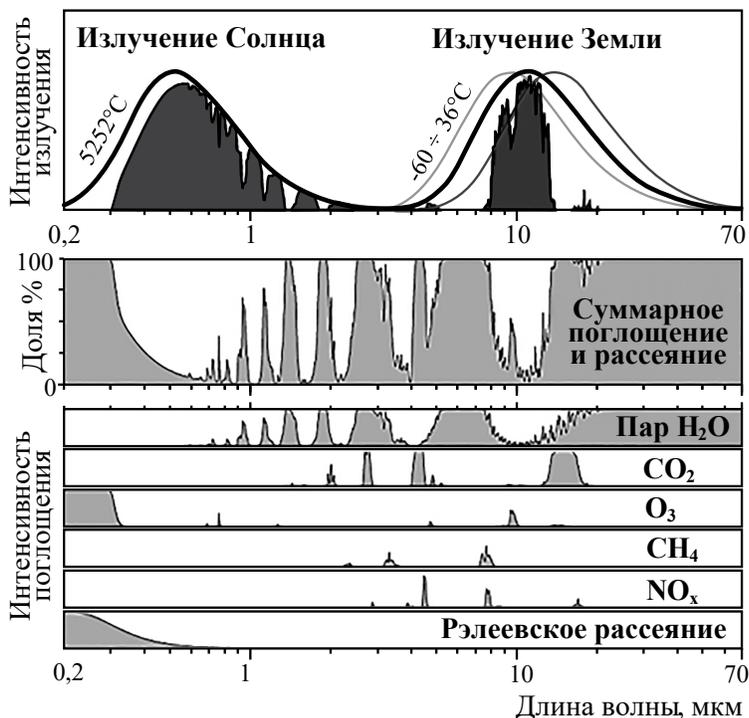


Рис. 4.1. Преобразование излучения Солнца в атмосфере Земли

Молекулярное поглощение электромагнитной энергии составляющими атмосферы формируют отдельные линии поглощения. Поскольку каждая молекула состоит из конкретных атомов и имеет определенную структуру, спектр её поглощения индивидуален, что и отождествляет их химическую природу и структуру.

Рэлеевское рассеяние обусловлено поляризацией молекул во внешнем электромагнитном поле, что формирует собственное электрическое поле и аппроксимируется как электрический диполь. Колебания внешнего поля приводят к колебаниям диполя, в результате чего диполь сам становится вторичным центром генерации электромагнитной волны. Эта вторичная волна и есть рассеянное излучение. Молекулярное рассеяние оценивается в соответствии с законом Рэля: интенсивность излучения

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

диполя, колеблющегося по гармоническому закону, обратно пропорционально четвёртой степени длины волны:

$$I(\lambda) \sim \lambda^{-4} \quad (4.3)$$

Отсюда следует, что рассеяние коротковолнового излучения происходит гораздо более интенсивно, чем длинноволнового. Собственно, именно этим рассеянием и объясняется голубой цвет дневного неба.

Средняя интенсивность энергии излучения Солнца на атмосферу Земли оценивается 1367 Вт/м² (солнечная постоянная) и колеблется в диапазоне 5%, что обусловлено эллиптической орбитой. Абсорбция солнечной энергии атмосферой посредством конвекции и фазовых переходов жидкостей, определяет ее круговорот и теплопередачу в литосферу и гидросферу.

Перераспределение первичной энергии излучения Солнца, выполненное М. Хьюбертом [128] в процентах от годового поступления в биосферу представлено в таблице 4.1:

Таблица 4.1

Параметр	Мощность ТВт	Процент %
Излучение в космос:		
- прямое отражение (коротковолновое)	62000	35
- прямая трансформация в тепло (длинноволновое)	76000	46
Фазовые переходы (испарение, осадки, лед и т.п.)	40000	22
Ветер, волны, конвекция, течения	370	0,2
Фотосинтез	40	0,02

Абсорбированная океаном и суши солнечная энергия поддерживает [170] среднюю температуру на поверхности Земли.

Рассматривая [107] атмосферные явления Ж. Фурье в 1827 г., предложил механизм парникового эффекта. А в 1896 году С. Аррениус выдвинул гипотезу, что динамика концентрации в атмосфере углекислого газа может являться одной из причин климатических термоколебаний.

Действительно, углекислый газ (CO₂) пропускает электромагнитные волны Солнца в оптическом диапазоне ($\lambda = 0,1-4$ мкм), но эффективно поглощает отраженные от поверхности Земли

волны в инфракрасном диапазоне ($\lambda = 4-120$ мкм), что показано на рис. 4.1. Поэтому углекислый газ, присутствующий в атмосфере, действует как «защитный экран», уменьшая тепловые потери планеты. Таким образом, сформировалась гипотеза, что избыток CO_2 нарушает терморегуляцию биосферы и посредством «парникового» эффекта приводит к глобальному потеплению климата.

Однако, как видно [107] из рис. 4.1 и рис. 4.2, доминирующим парниковым газом является водяной пар, его вклад в «парниковый» эффект более чем в 3 раза превосходит вклад CO_2 . Следует так же отметить, что метан (CH_4) является в 20 раз более сильным парниковым газом, чем CO_2 благодаря более высокому молярному коэффициенту поглощения.

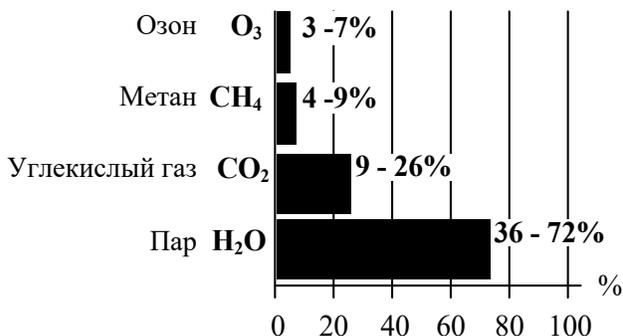


Рис.4.2. Вклад атмосферных газов в «парниковый» эффект

Абсорбция первичной энергии атмосферой посредством конвекции и фазовых переходов жидкостей, определяет ее круговорот и теплопередачу в литосферу и гидросферу. Неравномерный прогрев поверхности океанов и суши в совокупности с кинематикой орбитального движения и вращения Земли формируют динамику атмосферы: ветры, циклоны и т.п. Частичное рассеивания «энергии ветров» порождает в водной поверхности волны, а в мелкодисперсных поверхностях «песчаные» бури.

В тропосфере (на высоте 8-12 км от поверхности Земли) образуются мощные воздушные струйные течения. Характеристики струйных и приземных воздушных течений существенно различны. В поперечнике струйные течения достигают 400-600 км, а их

протяженность – до 1000 км. Скорость воздуха в ядре струйного течения составляет 30-80 км/ч, но часто достигает 200 км/ч.

4.2. Оксиды углерода CO_x в биосфере

Собственно существование и развитие биосферы, как и жизни в целом, есть не что иное, как динамика трансформации углеродосодержащих веществ. В этом глобальном процессе CO_2 , является не только источником построения жизни и регенерации её функций, но и одним из важнейших регуляторов биосферы (биотрансмиттер, атмосферный терморегулятор и др.). Это легло в основу оценки экономик стран удельной «углеродоемкостью» экономики. Все выбросы CO_2 от сжигания топлива делят на общий объем произведенной продукции, товаров и услуг (валовой внутренний продукт страны – ВВП в \$ США, с учетом поправки на его разную покупательную способность в разных странах).

Исходя из этого, фонд Карнеги делает [147] вывод: «...факт, что углеродоемкость страны остается высокой, подрывает роль России в качестве серьезного игрока на мировой арене», что нашло отклик [178] в России инициативой введения «углеродного налога». Однако эта инициатива, комитетом Госдумы по энергетике [182], расценена не как направленная на улучшение экологии, а как запрос на финансирование продвигаемых [176] альтернативных источников энергии.

Принятие Парижского соглашения по климату от 12.12. 2015 г., постановлением правительства РФ от 21 сентября 2019 года № 1228 с исключением положений о «углеродном налоге», только актуализировало [179] дискуссии о нем.

Реальное же влияние на биосферу оказывает концентрация CO_2 .

Концентрация CO_2 определяется сезонными колебаниями, турбулентным характером атмосферы, соотношением локальных характеристик источника и биосферы и многим другим. Качественная картина сезонной динамики содержания углекислого газа в атмосфере, рассчитанная [143] по данным ORNL (национальная лаборатория Министерства энергетики США Oak Ridge National Laboratory) на разных широтах, представлена на рис. 4.3.

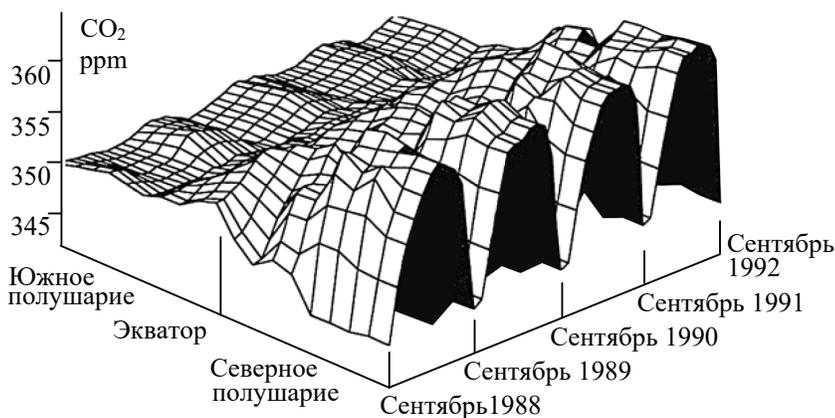


Рис. 4.3. Сезонная динамика концентрации CO₂ в атмосфере Земли.

По вертикали отложена концентрация CO₂ в ppm. По левой горизонтальной оси – географическая широта: от Южного полюса до 82° с. ш. По правой – время с сентября 1988 года по сентябрь 1992-го. Образующие вдоль оси времени, соединяют точки, относящиеся к одной широте (шаг 10°). Образующие, идущие перпендикулярно, вдоль оси географической широты, соединяют точки, относящиеся к одной дате.

Сезонные колебания концентрации атмосферной углекислоты на планете определяются, преимущественно, растительностью средних (40-70°) широт Северного полушария. С марта по сентябрь вследствие фотосинтеза содержание CO₂ в атмосфере падает, а с октября по февраль – повышается.

Следует так же отметить [107, 116, 138], что атмосферная циркуляция в северном полушарии Земли приводит к значительному трансграничному переносу газообразных выбросов из стран Западной и Восточной Европы на территорию России. Поступление газообразных выбросов в нашу страну почти в 8 раз превышает их отток в другие государства. Подобный дисбаланс наблюдается со стороны Германии, Польши, Чехии, Словакии и Украины в переносе выбросов на Европейскую часть России. Очевидно, что эту ситуацию необходимо учитывать при формировании программ Европейского сотрудничества.

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Современная концентрация CO_2 , составляет на данный момент [138] примерно 400 молекул на миллион (ppm). Это уже практически оптимум для фотосинтеза у C4 -растений, но всё еще очень далеко от оптимума для доминирующих C3 -растений. Практически у всех видов растений рост концентрации CO_2 в воздухе приводит к активизации фотосинтеза и ускорению роста. По экспериментальным данным [146], удвоение текущей концентрации CO_2 приведет (в среднем) к ускорению прироста биомассы у C3 растений на 41%, а у C4 на 22%.

Что и используется при производстве растительной продукции в закрытых объёмах (теплицах). Вопреки навязываемому ограничению углеродоемкости экономики, CO_2 либо используют образовавшийся при энергогенерации, либо специально генерируют как источник жизни, для ускорения прироста товарного объема (увеличения урожайности) при производстве растений.

Энергогенерация на основе адаптированных УСЭ концентрирует энергию в социуме обуславливая его цепную самоорганизацию в виде ресурсных потоков и их координации. Что в свою очередь реализуется различными организационными системами.

Доминирование антропогенных выбросов CO_2 при энергогенерации в рамках рыночной парадигмы является соблазнительным инструментом оценки эффективности организационных систем. Вероятно, это и явило основу перехода проблемы выбросов сопутствующих энергогенерации в область различных спекуляций и политических манипуляций [107,116] и в конечном итоге трансформации её в инструмент международного давления на нашу страну.

Поэтому гипотеза Ж. Фурье и С. Аррениуса конца XVIII в. о влиянии концентрации CO_2 в атмосфере на глобальное потепление обрела «магическую силу» в XXI в. Справедливости ради, следует отметить, что наряду с ней известны и другие гипотезы, абсолютно не связанные с CO_2 [89], о природе климатических термоколебаний (в том числе потепления). Более того, степень их влияния и взаимная корреляция неизвестны.

Отечественные исследований (рис. 4.4) показывают [98], что поглощение CO_2 биотой РФ существенно выше кривой антропогенных выбросов. Это означает, что российская биота с учетом доли «океанической» составляющей полностью поглощает антропогенные выбросы CO_2 (индустриальные выбросы при

сжигании топлива и производстве продукции из минерального сырья, выбросы при пожарах и эмиссии срубленной древесины).

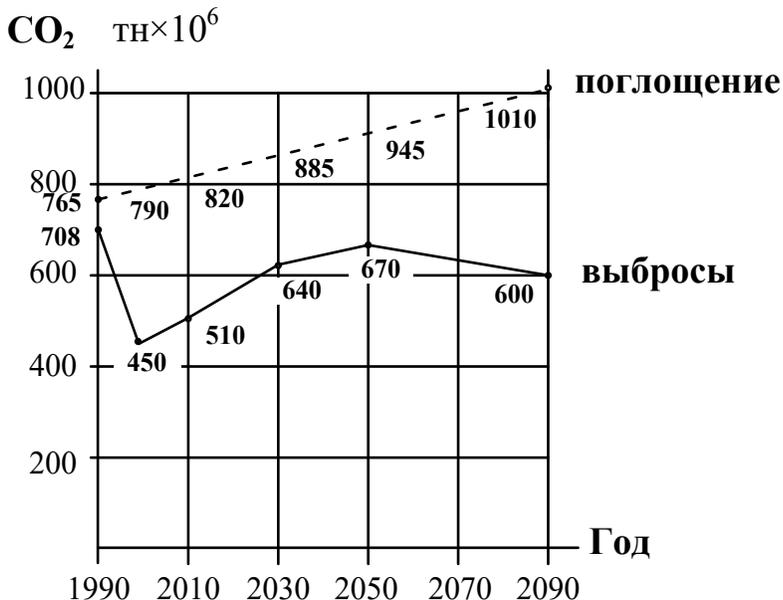


Рис. 4.4. Выбросы и поглощения углекислого газа в России

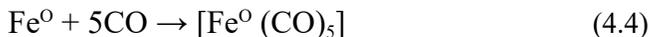
В итоге [98]: «совершенно очевидно – только естественных поглощающих ресурсов лесов России хватит до конца столетия для эндогенного развития отечественной энергетики». Из этого следует, что рыночные манипуляции с CO_2 , для нашей страны не актуальны. Более того, предлагаемые ограничения оборота CO_2 в биосфере противоречат сути жизни. Актуально же поддержание оптимального уровня углекислоты для конкретных территорий.

Влияние на концентрации CO_2 превышающих ПДК [158] на человека и млекопитающих:

- более 1% наступает гиперкапния, приводящая к снижению умственной и физической работоспособности;
- более 3% увеличивается частота дыхания более 12 раз, изменения в крови центральной нервной системе;
- при 5% может наступить смерть.

Монооксид углерода в биосфере в среднем пребывает около 0,1 года. СО токсичен.

Тройная связь ($C \equiv O$), а также «неподеленные» пары электронов у атомов углерода и кислорода делают молекулу CO активным [24] лигандом в реакциях комплексообразования с атомами и катионами d-металлов, прежде всего, с железом, с которым CO образует пентакарбонилжелезо – летучую ядовитую жидкость:



Способность оксида углерода CO образовывать [24] комплексные соединения с катионами d-металлов является причиной ядовитости CO для живых систем. Так, при протекании обратимых реакций [24] с гемоглобином и оксигемоглобином, содержащими катион Fe^{2+} образующийся карбоксигемоглобин $HbCO$ в 210 раз более устойчив, чем оксигемоглобин HbO_2 . Это приводит к его накоплению в крови и прекращению переноса кислорода. Исследования показали [24], что воздействие CO, даже в сравнительно малых количествах, может вызвать нарушение поведения, неощутимые для самого пострадавшего. Непереносимые и смертельные для человека [24] концентрации CO в смеси с воздухом составляют:

11500 мг/м³ (или 1% CO) при времени воздействия 3 мин.;

3500-4000 мг/м³ (или 0,3-0,4% CO) при 30 мин.;

2300 мг/м³ (или 0,2% CO) при времени воздействия газа 60 мин.

4.3. Оксиды азота NO_x в биосфере

Исключительная прочность молекулы N_2 , почти полностью сосредоточивает его в атмосфере. Азот непрерывно мигрирует между атмосферой, гидросферой, живыми организмами и литосферой.

Часть газообразного азота растворена в природных водах, которые содержат и растворенные азотсодержащие органические вещества, и неорганические ионы: катион аммония, нитрит-ион и нитрат-ион. Поскольку азот не образует нерастворимых солей, он только в исключительных случаях накапливается в литосфере. В атмосфере под действием электрических разрядов азот переходит сначала в монооксид азота, а затем в диоксид азота. Влага атмосферы и кислород трансформируют диоксид азота в азотную кислоту.

Азот, как биогенный элемент исключителен в построении организмов и обеспечении их жизнедеятельности. Это обусловлено его входением в состав важнейших биополимеров: белков, нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), гемоглобина и некоторых витаминов, и гормонов (инсулин, глюкагон, тироксин, адреналин и пр.), а также медиаторов нервных клеток, имеющих атом азота (ацетилхолин).

Исходя из исследований [168], в отличие от оксидов углерода, антропогенное поступление азота в биосферу превысило его естественный оборот (рис. 4.5). Загрязнение оксидами азота происходит как на локальном, так и на глобальном уровне.

По этой причине отмечено [168] локальное снижение биоразнообразия на 20–50% и разрушение на огромных площадях экосистем и устойчивых сообществ организмов. Интенсивность повреждения биоты диоксидом азота высока в больших городах и промышленных районах, где средняя концентрация NO_2 составляет 0,2–0,3 мг/м³.

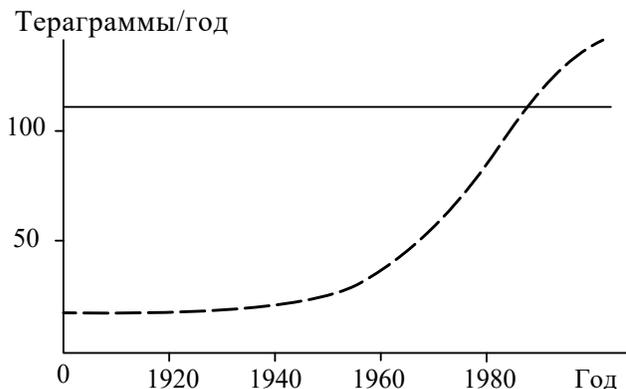


Рис. 4.5. Оборот азота в биосфере (XX в. 1994 г.) естественный (сплошная линия) и антропогенный (штриховая линия).

При движении термического потока газов (дымового факела) в атмосфере количество диоксида азота увеличивается до 70%. Образование оксидов азота в большей степени обусловлено концентрацией кислорода и в меньшей влиянием температуры процесса. Таким образом, в атмосферном воздухе (приложение № 16) осуществляется конверсия NO и NO_2 , которая [24] вовлекает во взаимодействие загрязняющие органические

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

вещества с образованием более токсичных соединений, например нитроз соединений, нитрофенолов, формальдегидов, нитро-ПАУ и др. Разрушительное действие NO_2 на растения усиливается в присутствии диоксида серы.

Преобразование оксидов азота в атмосфере [24] сопровождается не только образованием более токсичных веществ, но и возникновением фотохимического смога и кислотных осадков. Оксиды азота (приложения № 11, 12, 15 (4 - азотный цикл)) [100] определяют до 80% деградацию озонового слоя.

Мольная концентрация аэрозолей (приложение № 13) по сравнению с мольной концентрацией газообразных выбросов, более [103] продолжительна в атмосфере. Однако с течением времени мольная концентрация аэрозолей заметно ослабевает. Частицы аэрозолей, находясь в атмосфере, могут [103] наносить ущерб механизмам, микроэлектронике и живым организмам.

Негативное влияние оксида азота на живые организмы [80, 162] связано с повреждением биологических мембран клеток, формирующих альвеолярно-капиллярный барьер. В результате нарушаются респираторные функции, развиваются эмфизема легких и астма. Более того, оксид азота действует на центральную нервную систему, при больших концентрациях переводит оксигемоглобин крови в метгемоглобин.

Токсичность NO_2 выше, чем NO . В связи с этим [29] предельно допустимый уровень содержания оксида азота в воздухе составляет $0,6 \text{ мг/м}^3$, а диоксида азота – почти на порядок ниже – $0,085 \text{ мг/м}^3$. Пороговой (по запаху) концентрацией озона в воздухе чаще всего принимают концентрацию $0,02 \text{ мг/м}^3$.

Острое отравление [29]:

NO

Общая слабость, головокружение, онемение ног. При более сильном отравлении – тошнота, рвота, усиление слабости и головокружения, снижение кровяного давления. При тяжелом отравлении – синюшность губ, слабый пульс, легкий озноб. Через несколько часов – улучшение состояния, через 1-3 дня – резкая слабость, сильная головная боль, онемение рук и ног, сонливость, головокружение;

NO_2

8 мг/ м^3 - запах и небольшое раздражение,

14 мг/ м^3 - раздражение глаз и носа,

510-760 мг/м³ в течение 5 минут – пневмония,

950 мг/м³ - в течение 5 минут – отек легких.

Для острого отравления характерны две фазы: в начале – отек, затем – бронхит и его последствия.

Хроническое отравление [29]:

NO: нарушение функций органов дыхания и кровообращения;

NO₂: воспаление слизистой оболочки десен, хронический бронхит.

Нормативы NO, NO₂ [69]:

ПДКм.р. 0,4 мг/м³ ПДКмр. 0,085 мг/м³

ПДКс.с. 0,06 мг/м³ ПДКс.с. 0,04 мг/м³

3-й класс опасности, 2-й класс опасности

4.4. Оксиды серы SO_x в биосфере

Циклические превращения серы в биосфере аналогичны азотным и содержат, как окислительные, так и восстановительные процессы, без изменения ее валентности. Сера, как биогенный элемент, входит в состав серосодержащих аминокислот – цистеина, цистина, незаменимой аминокислоты метионина, биологически активных веществ (гистамина, биотина, липоевой кислоты и др.), молекулы витаминов, коферментов, присутствует в растительных эфирных маслах. В клетке сера обеспечивает передачу энергии: переносит электроны, принимая на свободную – орбиталь один из неспаренных электронов кислорода. Именно это и определяет высокую потребность организма в данном элементе.

Антропогенные выбросы SO_x сопутствуют социальным и индустриальным агломерациям. Распространение выбросы SO_x в атмосфере составляет в среднем около 400 км и может достигать до 2 тыс. км, что выходит за пределы агломераций.

Многочисленные ориентировочные оценки, разных авторов* констатируют превышение антропогенной эмиссии оксидов серы (как и азота) над природной. Уже в 1990 г. антропогенная эмиссия [24] диоксида серы в атмосферу втрое превышала природный фон (соответственно 75 и 25 тераграмм в год) и сейчас превышение оценивается более чем на 30%. Прогнозируется увеличение в XXI в. выбросов диоксида серы до 5 раз.

* Абсолютные показатели не всегда совпадают, но отражают одну и ту же закономерность.

Агломерации, выбрасывающие [24] более 94% SO_2 , расположены в северном полушарии. В сильно загрязненных районах уровень SO_2 может в тысячу и даже в десятки тысяч раз превысить естественную фоновую границу значений. Поступление серы в атмосферу России из соседних западных стран составляет не менее 40% от общего объема антропогенной нагрузки.

Скорость окисления SO_2 в атмосфере [24] составляет около $0,1\% \text{ч}^{-1}$, что соответствует времени пребывания SO_2 в тропосфере, равному 5 суткам. В тропосфере агломераций с повышенным содержанием свободных радикалов, скорость окисления SO_2 увеличивается [24] до $1\% \text{ч}^{-1}$.

Образующийся (приложение № 12) при окислении SO_2 триоксид серы SO_3 взаимодействует с капельной влагой атмосферы формируя растворы серной кислоты H_2SO_4 . Серная кислота реагирует с аммиаком или катионами металлов, содержащихся в капельной влаге водой образуя сульфаты аммония, натрия, кальция, магния и др.

В первый момент после выброса SO_2 серная кислота и сульфаты отсутствуют. С течением времени [24] содержание SO_2 в тропосфере (приложение № 14) уменьшается, а доля серной кислоты увеличивается, проходит через максимум через 10-15 часов после выброса, содержание сульфатов постепенно возрастает в течение 40-50 часов, затем медленно начинает уменьшаться. Серная кислота является основным закислителем атмосферных осадков.

Среди других соединений серы следует отметить окисульфид или серооксид углерода COS , сероуглерод CS_2 и диметилсульфид $(\text{CH}_3)_2\text{S}$. Эти соединения серы, вследствие сильного окислительного действия тропосферы, легко превращаются в SO_2 , затем в H_2SO_4 и сульфаты.

Влияние диоксида серы имеет глобальное воздействие на биосферу, так, например, загрязняет район размещения тепловой электростанции, вызывает кислотные дожди, которые сопровождаются поступлением тяжёлых металлов в пресные водоёмы, почву, следовательно и биологические системы.

Диоксид серы в атмосфере Земли существенно ослабляет влияние парниковых газов (диоксид углерода, метан) на рост температуры атмосферы.

Наибольших концентраций сернистый газ достигает в

северном полушарии, особенно над территорией США, Европы, Китая, европейской части России и Украины. В южном полушарии содержание его в 1,5–2 раза ниже.

Ассимилированный влагой биосистем SO_2 , последовательно преобразуется в H_2SO_3 и H_2SO_4 , которые окисляют их органические вещества и деформируют молекулы. Воздействие SO_2 в виде аэрозоля, образующегося при туманах и повышенной влажности воздуха, усиливает процессы.

SO_2 раздражает дыхательные пути, вызывая спазм бронхов и увеличение сопротивления дыхательных путей. При неблагоприятных метеорологических условиях может вызвать массовое отравление.

Общее действие SO_2 заключается [80] в нарушении углеводного и белкового обмена; угнетении окислительных процессов в головном мозге, печени, селезенке, мышцах; торможении окислительного дезаминирования аминокислот и окисления пировиноградной кислоты. Диоксид серы разрушает витамин B_1 и C и т. п. и полностью уничтожает витамин B_{12} в организме.

SO_2 способствует образованию метгемоглобина; увеличивает выделение с мочой копропорфирина и бисульфитсвязанных соединений; вызывает изменения в эндокринных органах, костной ткани; нарушает генеративную функцию; эмбриотоксическое (репродуктивность) действие. Возможно, что существенную роль в указанных сдвигах играет ацидоз (поскольку SO_2 , циркулирующий в крови, растворяется в плазме и превращается в H_2SO_3). Токсичность резко возрастает при одновременном воздействии SO_2 и CO .

При кратковременном вдыхании оказывает сильное раздражающее действие, вызывает кашель и першение в горле.

ПДК (предельно допустимая концентрация):

- в атмосферном воздухе максимально-разовая – 0,5 мг/м³, среднесуточная – 0,05 мг/м³;
- в помещении (рабочая зона) – 10 мг/м³

4.5. Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ)

Экзотермическое окислением УСЭ (сжигание) сопровождается образованием стойких органических веществ (СОЗ), выступающих в биосфере как ксенобиотики. СОЗ представлены:

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) и полигалогенированными гетероциклическими соединениями: полихлордибензодиоксинов (ПХДД) и полихлордибензофуранов (ПХДФ), а также металлоорганикой (алкильные производные свинца и пр.). Различают 75 разновидностей диоксинов, 135 фуранов и 209 полихлорбифенилов [132]. СОЗ, как ксенобиотики по отношению к биосфере выступают в роли экотоксикантов*.

В Протоколе ООН (от 1998 г.) дано определение стойких органических загрязнителей (СОЗ): «СОЗ представляют собой органические вещества, которые обладают токсическими свойствами, являются стойкими, биологически аккумулируются, предрасположены к трансграничному переносу на большие расстояния и осаждению, могут вызывать значительные негативные последствия для здоровья человека и (или) окружающей среды вблизи и вдали от их источников».

СОЗ характеризуются: токсичностью, длительным периодом полураспада или полураспада (в воздухе 2-5 дней, в воде 4-6 месяцев, в почве – более года), способностью к биоаккумуляции, склонностью к трансграничному переносу. СОЗ воздействуют на биосферу на чрезвычайно низком уровне (нижний предел обнаружения – 10^{-8} - $10^{-13}\%$).

Ряд специфических признаков СОЗ:

- биоконцентрирование (или биоаккумуляция) – за счет того, что растворимость в воде низкая и высокая в жирах и липидах;
- глобальная распространенность за счет способности переноситься на большие расстояния;
- чрезвычайная стойкость к физическим, химическим и биологическим изменениям;
- способность оказывать токсическое воздействие на организмы в крайне малых дозах.

Негативные эффекты СОЗ определяются прежде всего их химической природой. Однако основным фактором, обуславливающим проявление токсического воздействия, является концентрация экотоксикантов в биологических системах. Из всех процессов в биосистеме, определяющим является накопление экотоксикантов то есть их биоаккумуляция. Усугубляет все длительное время распада СОЗ в биосфере, которое может происходить в течение 10–20 лет.

* Экотоксиканты (греч. οἶκος – жилище, место пребывания и τοξικόν – яд), устойчивые в биосфере загрязняющие вещества отравляющие биосферу.

Стокгольмская Конвенция содержит целый ряд предложений и мероприятий по изучению воздействия СОЗов на здоровье человека, животных, растения, изучению путей распространения этих веществ, а также запрещение их производства и использования. Частью этой программы является концепция эколого-аналитического контроля, которая предполагает осуществление исследований по выявлению и оценке источников загрязнения, определение уровней загрязнения природных и пищевых объектов СОЗов в результате антропогенного воздействия (прямого, косвенного или катастрофического) на окружающую среду и человека.

Входящие в ООН страны – инициаторы запрета СОЗ выбрали 12 химических соединений (так называемая грязная дюжина), производство и использование которых необходимо запретить, а имеющиеся запасы уничтожить.

Наличие СОЗ сокращает биопопуляции, провоцирует заболевания и аномалии у многих видов животных. СОЗ разрушают репродуктивную, нервную, эндокринную и иммунную системы человека. Подавляя иммунитет, СОЗ интенсивно воздействуют на процессы деления и специализации клеток, увеличивая (в 3,5 раза) онкологические заболевания. Эксперты ВОЗ [125] полагают, что прекращение контакта с СОЗ в среде обитания человека или удаление подобных веществ из окружающей среды могут привести к резкому (до 70%) снижению онкологии.

Таким образом, сопутствующие антропогенной трансформации энергии СОЗ деградируют биологические системы и биосферу в целом.

4.5.1. ПАУ в биосфере

В биосфере ПАУ подвергаются различным химическим превращениям и биологической деградации. Наряду с превращениями ПАУ существуют ещё и их миграция в биосфере путем вымывания, выветривания и т. д. Такие процессы особенно характерны для атмосферных и почвенных условий. Из-за высокой гидрофобности ПАУ обладают относительно малой растворимостью и быстро адсорбируются на почвенных частицах, в частности, на органическом веществе почвы.

Большая часть ПАУ находится [84, 117] в нижних слоях атмосферы в виде аэрозольных частиц, способных проникать в

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

органы дыхания человека. ПАУ, адсорбированные на частицах сажи, могут переноситься на дальние расстояния без изменений.

Химические разложение включают как доминирующее в водной среде фотоокисление, так и взаимодействие [117] в атмосфере с оксидантами и т. д. ПАУ интенсивно фотоокисляются УФ-излучением в диапазоне 300-420 нм, (солнечной радиацией). В атмосфере [117] большинство ПАУ адсорбируются на рассеянных частицах диаметром 0,1-2 мкм. Реакционная способность адсорбированных на воздушных частицах ПАУ значительно выше, чем тех же углеводородов в водной среде.

Под действием озона ПАУ легко окисляются [117] с образованием хинонов или дикарбоновых кислот.

Продукты превращение ПАУ окисления и фотоокисления могут обладать сильными канцерогенными и мутагенными свойствами.

Основные механизмы [42, 117] миграции ПАУ:

- 1) коагуляция частиц носителей ПАУ с более крупными частицами промышленного и атмосферного аэрозоля;
- 2) конденсация, если частица способна стать ядром конденсации;
- 3) броуновская диффузия на облачные элементы (капли тумана или облака);
- 4) вымывание осадками;
- 5) осаждение на поверхность почвы или растительности при нисходящих потоках воздуха.

ПАУ [156] инициируют негативные процессы: иммунотоксичность, генотоксичность, биоаккумуляция и репродуктивная токсичность.

Одни и те же ПАУ, в зависимости от условий, обладают канцерогенной активностью и вызывают опухолевые изменения организма (онкогенез), в других условиях вызывают уродства (тератогенез), отравления (токсигенез), мутации (мутагенез), стимулируют или подавляют иммунную систему. Исходя из этого [140] ПАУ, как химические трансформеры биосферы, влияют как на ее текущее состояние, так и на ее последующие состояния.

Канцерогенная активность ПАУ вызывает [130] генетические мутации в 85-93% случаев. Доказано, что ПАУ с числом бензольных колец более 5 обладают большей канцерогенностью, что способствует онкологии.

Мутагенез проявляется во взаимодействии ПАУ с

макромолекулярными соединениями в клетке (преимущественно с ДНК). Такое взаимодействие повышает мутации в соматических и половых клетках, приводя к генетической патологии у потомства. Как следствие [142] увеличение частоты развития рака. Одновременно накопление мутагенов в среде увеличивает мутации и других биосистем.

Сопутствующие ПАУ при энергогенерации канцерогены (тяжелые металлы, фенолы и пр.) усиливают их канцерогенность выступая коканцерогенами.

Биоактивность канцерогенного комплекса ПАУ определяется как индивидуальностью биосистем, действующей концентрации и длительности воздействия, так и внешними условиями, способствующими или препятствующими ее деградации. Интенсивность трансформации воздействия загрязняющих веществ определяется также физико-географическими, климатическими и погодными условиями пребывания биологической системы.

Биологическая деградация ПАУ является основным механизмом самоочистения почв, водных сред, растительных и животных организмов. Являясь УСЭ, ПАУ для микроорганизмов являются энергоресурсом. Поэтому биологическая деградация ПАУ обусловлена метаболизмом микроорганизмов, а также растительных и животных организмов. Для [96] растительных и животных организмов ПАУ в ряде случаев являются исходными соединениями для синтеза биополимеров.

Безвредными считаются концентрации (ПДК), не приводящие к появлению бластомогенной реакции в течение естественной продолжительности жизни человека. Прогнозирование вероятности возникновения опухоли ведется с помощью наблюдений за животными, а расчет ПДК в соответствующих объектах природной среды проводится экстраполяцией допустимой дозы канцерогена с животных на человека.

4.5.1.1. Бензопирен в биосфере

Около 80% бензопирена [84] распространяется на расстояние более 100 км от источников выбросов и влияет на состояние биосферы агломераций. В процессе оседания бензопирен аккумулируется, со временем загрязняя биосферу. Бензопирен не растворяется в воде, но растворяется в углеводородах. В биосфере

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

накапливается преимущественно в почве, меньше в воде.

Бензоапирен – типичный химический канцероген. Опасен для человека даже при малой концентрации, поскольку биоаккумулируется. Химическая устойчивость бензопирена обуславливает его миграцию из одних объектов в другие. В результате многие объекты и процессы окружающей среды, сами не обладающие способностью синтезировать бензопирен, становятся его вторичными источниками. Помимо [53] канцерогенного, бензоапирен оказывает мутагенное, эмбриотоксическое и гематотоксическое действие.

Мутагенность бензопирена [53] обусловлена его прочными химическими связями с нуклеотидами молекулярной системы ДНК. Внедряясь в комплекс ДНК, бензопирен (приложение № 16) необратимо деформирует двойную спираль, нарушая взаимосвязи молекул ДНК. Эта деформация спирали ДНК проявляется иным генетическим кодом. Собственно, это и есть мутации, которые переходят в последующие поколения.

Опасность бензопирена не зависит от пути попадания в биосистему. Опасность вызывает биоаккумуляция бензоапирена приводящая к развитию мутаций у потомства.

Токсическое действие бензола в лейкемии [53] остаётся неясным. Известные (противоречивые и не в полной мере доказанные) наблюдения лейкемии, являются острые миелоидные лейкозы (ОМЛ), особенно острая миелобластная лейкемия, мономиелоцитарная лейкемия и эритролейкемия. Другие типы лейкемий встречаются при действии бензола значительно реже. Вероятными механизмами действия бензола [53] могут быть мутации, возникающие либо в результате образования ДНК-аддуктов, либо хромосомной делеции или анеуплоидии вследствие нарушения процесса редубликации нитей ДНК и их распределения между дочерними клетками в процессе митоза. Строение бензола, его метаболитов и их химическая активность делают более вероятным второй механизм действия токсиканта.

По данным онкологов, высокая канцерогенной активностью бензопирена в присутствии оксидов азота и серы резко усиливается.

Это биологически активный углеводород, поэтому ПДК в атмосферном воздухе равна 0,1 мкг/100м³.

4.5.1.2. Диоксины в биосфере

Диоксины не окисляются кислородом воздуха, гидролизуются в воде, устойчивы к действию кислот и оснований. Молекулы ПХДД и ПХДФ адсорбируются преимущественно твердыми частицами, которые образуются в процессе горения, и становятся химически и термически стабильными. Диоксины, устойчивы (резистентны) к процессам деструкции и вследствие этого длительно сохраняют, как ксенобиотики, биологическую активность (персистируют) в биосфере.

Период полуразложения (полуэлиминации) токсичных конгенов ПХДД и ПХДФ в окружающей среде при среднегодовой температуре +7°C приведен в (приложении № 17).

По другим сведениям, [42] период полуразложения 2,3,7,8-ТХДД в почвах составляет 9-15 лет на поверхности почвы (0,1 см) и 25-100 лет в глубине. Такие различия, вероятно, вызваны особенностями природных матриц, климатом, типом почв и, как следствие, различной бактериальной активностью.

Диоксины [42] исключительно антропогенные ксенобиотики. Это глобальные экотоксиканты, обладающие мощным мутагенным, иммунодепрессантным, канцерогенным, тератогенным и эмбриотоксическим действием. Токсичность диоксинов заключается в их способности встраиваться в рецепторы живых организмов и подавлять или изменять их жизненные функции. Все диоксиноподобные соединения имеют общий механизм действия через арилуглеводородный рецептор (АНР).

Период полувывода (полуэлиминации) диоксинов из человеческого организма [152] оценивается: ТХДД в 7-8 лет, а для других ПХДД / Ф от 1,4 до 13 лет, ПХДФ в среднем немного короче, чем ПХДД. Метаболизму у млекопитающих подвергается около 10% диоксина. К продуктам метаболизма 2,3,7,8-ТХДД относят 2-гидрокси-3,7,8-ТрХДД, 2-гидрокси-1,3,7,8-ПХДД и 1,3,7,8-тетрахлор-2-оксидибензо-*n*-диоксин. Эти вещества в 100 раз менее токсичны, чем исходный диоксин и выводятся из организма в течение суток. Оставшийся диоксин накапливается в основном в жировых тканях и печени.

Высокая экотоксичность диоксинов и родственных им соединений невозможна нормированием ПДК. Для сравнения токсичности различных конгенов и получения токсикологически

значимой суммы смеси, была создана концепция эквивалентности токсичности (ТЕQ). Каждому конгенеру был присвоен коэффициент эквивалентности токсичности (ТЕF).

ТЕF отражают процесс познания взаимодействия экотоксикантов и биосферы. Поэтому они включают как текущие научные представления, так и научные факты. Естественно, они время от времени пересматриваются. С 1980-х годов было выпущено несколько версий ТЕF. Самая последняя переоценка (приложения № 18) была проведена группой экспертов Всемирной организации здравоохранения в 2005 г.

4.6. Физические поля и биосфера

Генерируемые сопутствующие физические поля (механические и электромагнитные), перенося энергию выступают энергетическими загрязнителями биосферы. Перенос энергии осуществляется от частицы к частице только колебательным движением без переноса массы. Перенос энергии без переноса вещества – это основное свойство всех волн, независимо от их природы.

Волна, последовательно вовлекая в колебательное движение частицы среды, передает механическую энергию от частицы к частице. Перенос энергии упругими волнами количественно характеризуется вектором плотности потока энергии Умова Н.А. (русский физик-теоретик, философ). Вектор Умова определяет количество энергии, переносимое волной через единицу площади за единицу времени в определенном направлении.

Основные свойства волн: прямолинейность распространения в однородной среде, отражение и преломление на границе раздела сред, дисперсия, интерференция и дифракция.

Анизотропность и гетерогенность биосферы приводит к локализации и концентрации энергетического воздействия на отдельные элементы биосферы.

Периодичность воздействия физических полей при совпадении их частоты с характерными значениями для элементов биосферы проявляется в резком увеличении амплитуды их колебаний – резонансе. Возникновение резонансных явлений приводит к резкому изменению энергобаланса элементов биосферы и как следствие протекающих в них процессах.

И как любое внешнее воздействие энергия генерируемых сопутствующих физических полей нарушает равновесие биосферы в соответствии с принципом Ле Шателье.

4.6.1. Механические поля как шумовое загрязнение биосферы

Природа распространения механических полей в виде колебаний физически представляется как передача импульса движения от одной молекулы к другой. Благодаря упругим межмолекулярным связям движение каждой из них повторяет движение предыдущей. Передача импульса происходит во времени, поэтому движение молекул происходит с запаздыванием по отношению к движению возбуждающих колебания молекул. Таким образом, колебания распространяются с определенной скоростью. Скорость распространения звуковой волны – это физическое свойство среды.

Звуковые волны переносят энергию [26], которая характеризуется интенсивностью звука ($\text{Вт}/\text{м}^2$) и выражается вектором Умова. На практике используется не интенсивность, а звуковое давление, дополнительно возникающее при прохождении упругих сред (Па). В логарифмических единицах значение звукового давления, отнесённое к опорному (исходному) давлению (20 мкПа), соответствующему порогу слышимости синусоидальной звуковой волны частотой 1 кГц измеряется в дБ.

Константы скорости химических реакций, проходящих при рецептировании, нелинейно зависят от концентрации физических раздражителей или собственно химических раздражителей. Это формализовано [26] в психофизической закономерности Вебера-Фехнера: если увеличивать раздражение в геометрической прогрессии (т.е. в одинаковое число раз), то ощущение этого раздражения возрастает в арифметической прогрессии (т.е. на одинаковую величину). Математически это означает, что громкость звука пропорциональна логарифму интенсивности звука.

Сочетание звуков различной частоты и интенсивности определяется как шум, оказывающий негативное воздействие на биосферу.

Негативное воздействие шума на биосферу [21] проявляется от функциональных нарушений регуляции центральной нервной

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

системы до морфологически обозначенных дегенеративных деструктивных процессов в разных органах и тканях. В частности, (на человека) проявляется в психологическом влиянии, поражении органов слуха, влиянии на сон и в возникновении физиологических эффектов (поражении органов и систем).

Степень шумовой патологии зависит от интенсивности и продолжительности воздействия, функционального состояния центральной нервной системы и, что очень важно, от индивидуальной чувствительности организма к акустическому раздражителю. Индивидуальная чувствительность к шуму [21] составляет 4-17%. Повышенная чувствительность к шуму присуща 11% населения.

Шум: нарушает [21] окислительные и восстановительные процессы изменяя деятельность мозга. Это влияет на различные отделы головного мозга, изменяя нормальные процессы высшей нервной деятельности (общая слабость, утомляемость, раздражительность, ослабление памяти и др.). Происходят нарушения в обменных процессах организмов, что изменения в циркуляции крови и приводит к возникновению заболеваний сердечно-сосудистой системы. Шума усиливает воздействие экотоксикантов на биосферу и ускоряет развитие отравлений.

Шум обладает кумулятивным воздействием: акустические раздражения, накапливаясь в организме, угнетают нервную систему.

В итоге шумовое загрязнение быстро [21] вызывает нарушение естественного баланса в экосистемах.

Систематическое воздействие шума на уровне более 90 дБ может привести к потере слуха. При шуме на уровне более 110 дБ у человека возникает звуковое опьянение аналогичное алкогольному или наркотическому. Давление 140 дБ (исх. 20 мкПа) может вызвать разрыв барабанной перепонки, баротравмы и даже смерть.

Акустические колебания в диапазоне 16-20000 Гц, воспринимаемые слуховым аппаратом человека. Колебания ниже 16 Гц – инфразвуковые, а выше 20000 Гц – ультразвуковые. Инфразвуковые и ультразвуковые колебания органами слуха человека не воспринимаются.

Известно, что по физиологическому воздействию на человека наиболее опасен высокочастотный шум (особенно в диапазоне частот от 1000 до 4000 Гц). В агломерациях шумы различ-

ного спектрального состава при распространении звука имеют различную степень затухания [21] в атмосфере в зависимости от частотного диапазона (таблица 4.2).

Таблица 4.2

Затухание звука в атмосфере

Октавные полосы частот, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Затухание β а дБ/км	0	0,75	1,5	3,0	6,0	12,0	24,0	48,0

Именно низкочастотный шум распространяется без особого затухания на значительное расстояние и является основным источником негативного воздействия на биосферу.

Одной из особенностей инфразвука является их слабое, по сравнению с волнами звукового диапазона, поглощение в атмосфере. Поэтому инфразвук распространяется на большие расстояния (тысячи км), при этом затухают более высокие гармоники, вплоть до исчезновения частот слышимого звукового диапазона.

Наиболее опасен диапазон от 6 до 9 Гц. Значительные психотропные эффекты сильнее всего выказываются на частоте 7 Гц, созвучной альфа-ритму природных колебаний мозга, причем любая умственная работа невозможна.

Скорость распространения ультразвуковых волн и их поглощение существенно зависят от состояния среды. Волновое сопротивление биологических сред в 3000 раз больше волнового сопротивления воздуха.

Сжатия и разрежения, создаваемые ультразвуком, приводят к образованию разрывов сплошности жидкости – кавитаций. Кавитации существуют недолго и быстро захлопываются, при этом в небольших объемах выделяется значительная энергия, происходят разогревание вещества, а также ионизация и диссоциация молекул, вызывающая в биологических объектах:

- микровибрации на клеточном и субклеточном уровнях;
- разрушение биомакромолекул;
- перестройку и повреждение биологических мембран, изменение проницаемости мембран;
- тепловое действие.

В настоящее время, основа контроля шумовой обстановки ГОСТ Р 53187-2008 Акустика. Шумовой мониторинг городских

территорий. На основании этого ГОСТа составляют оперативные шумовые карты, выделяют зоны акустического дискомфорта и д.р. Таким образом как любое внешнее энергетическое воздействие шумовое загрязнение нарушает равновесие биосферы в соответствии с принципом Ле Шателье.

4.6.2. Электромагнитные поля, загрязняющие биосферу

Опыты по обнаружению электромагнитных волн указывают на то, что эти волны переносят энергию.

Электромагнитное излучение в настоящее время характеризуется тремя взаимно перпендикулярными векторами: волновым \vec{v} , напряжённости электрического поля \vec{E} и напряжённости магнитного поля \vec{H} .

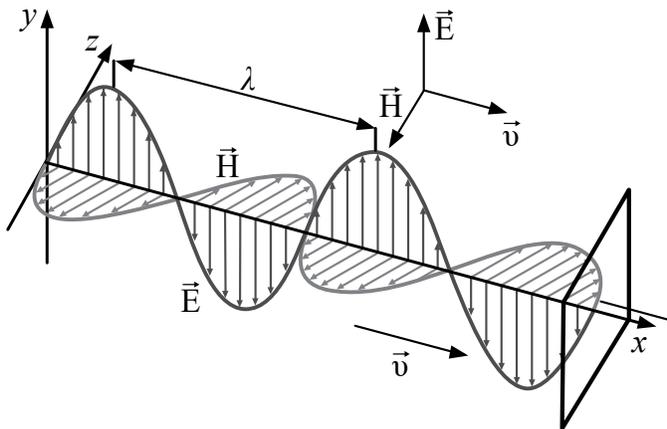


Рис. 4.3. Модель электромагнитной волны [180]

Объемная плотность энергии w электромагнитной волны объединяет объемные плотности электрического и магнитного полей определяемое вектором Умова-Пойнтинга:

$$\vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{H}] \quad (4.3)$$

Вектор \vec{S} направлен в сторону распространения электромагнитной волны. Модуль Вектор \vec{S} равен энергии, переносимой электромагнитной волной за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения

волны. так как от них зависят Модули векторов напряженности электрического и магнитного полей зависят от пространства и времени. Следовательно, и векторы Умова–Пойнтинга так же зависят от пространства и времени. Поэтому часто для оценки энергопотока пользуются интенсивность модуля среднего значения вектора Умова–Пойнтинга:

$$J = |\langle \vec{S} \rangle| \quad (4.4)$$

Физический смысл потока энергии имеет вектор Умова–Пойнтинга за вычетом его вихревой части, то есть его потенциальная часть.

Выброс сопутствующей энергии в биосферу электромагнитным излучением [25] происходит (таблица 4.3) в характерных частотных диапазонах.

Таблица 4.3.

Диапазон излучения	Длина волны, λ	Частота, f	Источники
Инфракрасное (тепловое)	780 нм - $1 \cdot 10^{-3}$ м	429 ТГц - 300 ГГц	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических процессах
Промышленное	$3 \cdot 10^8$ - $3 \cdot 10^3$ м	3 - $3 \cdot 10^4$ Гц	Промышленное оборудование и инфраструктура
Радиационное рентгеновское	8 - $5 \cdot 10^{-3}$ нм	$3 \cdot 10^{16}$ Гц - $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Радиоактивные выбросы при трансформации энергии УСЭ
Гамма-излучение	$< 5 \cdot 10^{-3}$ нм	$> 6 \cdot 10^{19}$ Гц	

Инфракрасное (тепловое) излучение, находящееся в диапазоне электромагнитного спектра, длина волны. Имеет сплошной спектр, расположение и интенсивность максимума которого зависят от температуры тела. При остывании последний смещается в длинноволновую часть спектр.

Процессы и оборудование современной антропогенной трансформации энергии УСЭ определяют диапазона электромагнитного излучения промышленных частот оборудования (таблица 4.3) с доминантой промышленной инфраструктурной частоты 50-60 Гц.

Радиационное (ионизирующее) электромагнитное излучение традиционно включает рентгеновское и гамма-излучение:

- рентгеновское излучение выделяется электронами и имеет широкий диапазон длин волн;
- гамма-излучение является самым коротковолновым, и имеет наиболее высокую энергию излучения.

Границы областей рентгеновского и гамма-излучения определяются весьма условно. Для общей ориентировки можно принять, что энергия рентгеновских квантов лежит в пределах 20 эВ – 0,1 МэВ, а энергия гамма-квантов – больше 0,1 МэВ. В узком смысле гамма-излучение испускается ядром, а рентгеновское – атомной электронной оболочкой при выбивании электрона с низколежащих орбит.

4.6.2.1. Тепловое загрязнение биосферы

Тепловое загрязнение биосферы – следствие конвективного и радиационного теплообмена с антропогенными источниками тепловой энергией. Антропогенные выбросы тепла в биосферу приводят к изменению термодинамики как атмосферы и гидросферы, так и верхних слоев литосферы. Более того [154] это один из факторов глобального потепления.

Локальная концентрация антропогенных выбросов мощных источников тепла влияет на термодинамику территорий, пространств и акваторий. На территории [3] больших агломераций нарушение температурного режима наблюдается до глубины 100-150 м и более. При этом на горизонтах 10-30 м наблюдается тенденция к расширению по площади геотермических аномалий с повышением на 2-6°C фоновых значений температуры горных пород и подземных вод.

Наибольшее тепловое загрязнение литосферы территорий агломераций осуществляет инженерная инфраструктура (магистральные теплопроводы, сети горячего водоснабжения и канализация и т.п.).

Тепловое излучение через геосферы воздействует на экологические системы, и зависит от месторасположения источника (низина, склон, берег водоема) и климатических факторов территории (давление, влажность, осадки, направление ветра). В итоге температура воздуха зимой в крупных агломерациях обычно на несколько градусов выше, чем в окружении. Также

заметно изменяется тепловой режим рек и озер при сбросе в них нагретых вод (ТЭЦ).

Тепловое загрязнение атмосферы [3] над промышленными агломерациями распространяется на высоту до 1 км в радиусе 50-80 км.

Средняя температура в крупных агломерациях на 1-2°C выше, чем в сельской местности. Это влияет [3] на гидрометеорологические условия в агломерациях: средняя скорость ветра уменьшается на 20-30%, годовая сумма атмосферных осадков увеличивается на 5-30%, относительная влажность воздуха уменьшается зимой на 2%, летом на 20-30%. Все эти изменения в той или иной степени способствуют концентрации загрязняющих веществ в пределах агломераций.

С повышением температуры грунтовых вод возрастает скорость химических реакций в зоне их контакта с материалами подземных сооружений. Установлено [3], что скорость коррозии строительных марок стали линейно возрастает при изменении температуры от 0 до 80°C. Увеличение температуры пород и подземных вод активизирует деятельность микроорганизмов, являющихся агентами биокоррозии.

Тепловое загрязнение снижает растворимость кислорода в воде, уменьшая ее с 11,3 мг/л при температуре 10°C до 7,6 мг/л (или на одну треть) при температуре 30°C. Нарушая биоценоз экосистемы тепловое загрязнение (совокупно с фосфором и азотом) приводит к микробиологическому загрязнению, эвтрофикации* и другим крайне неблагоприятным процессам.

Эвтрофикация* приводит к бурному развитию водорослей (цветение воды) и появлению в воде цианобактерий, выделяющих в период цветения токсины (алкалоиды и низкомолекулярные пептиды). Это приводит к отравлению людей и животных и даже гибели биоценоза экосистемы.

Рост температуры увеличивает [3] скорости химических реакций воздействия химических веществ на организм:

1) интенсифицируются токсические процессы, повышается чувствительности организма к отравляющему действию ядов (например, оксида углерода и азота, анилина, ртути);

* Эвтрофикация (греч. *eutrophia* — хорошее питание) — обогащение рек, озер и морей биогенами, сопровождающееся повышением продуктивности растительности в водоемах. К эвтрофным, а часто и к высокоэвтрофным относят зоны эстуариев и лиманов, где концентрация биогенных элементов особенно высока.

2) специфические проявления токсического действия вредных веществ (например, возбуждающее действие бензина в начальной стадии отравления);

3) усиление токсичности ядов при температуре воздуха, вызывающей гипертермию (мыши 25-40°C, кролики – 40°C, собаки – 40-45°C), с изменением функционального состояния нервной системы;

4) ускорение абсорбции вредных веществ и поступления их в кровь, нарушение метаболизма при усилении дыхания, что наблюдается при повышении температуры;

5) увеличение токсического действия некоторых веществ на человека и животных, при понижении температуры и выходе ее за пределы оптимума.

Таким образом, влияние антропогенных источников тепла на биосферу вполне ощутимо, хотя и имеет локальный характер.

Однако, в настоящее время нормирование теплового загрязнения ограничивается лишь санитарно-гигиеническими требованиями к микроклиматическим характеристикам воздуха рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»), к которым наряду с температурой отнесены относительная влажность воздуха, скорость его движения и интенсивность теплового излучения.

Тепловое загрязнение биосферы изменяет условия ее равновесия в соответствии принципом Ле Шателье. Это приводит к смещению устойчивого равновесия и во всех механических, тепловых, химических и электрических процессах в биосфере, обеспечивающих биоценозы. Поэтому вопрос о предельной величине поступления тепловой энергии на поверхность нашей планеты без ощутимого ущерба для биоценоза остается открытым.

4.6.2.2. Промышленное электромагнитное загрязнение биосферы

Собственно биосфера – результат самоорганизации эндогенного вещества планеты в ее природном электромагнитном поле.

Природное электромагнитное поле образуется слабыми электромагнитными полями биологических систем, атмосферными полями, эндогенными электрическими и магнитными полями Земли, солнечным и космическим излучениями.

Созданная видом *Homo sapiens* обособленная среда обитания генерирует в биосферу антропогенное электромагнитное излучение. Современные технологические процессы и соответственно оборудование антропогенного преобразования УСЭ генерируют в биосферу сопутствующие электромагнитные излучения в широком низкочастотном диапазоне $10 - 3 \cdot 10^4$ Гц.

Геомагнитное поле Земли с индукцией на поверхности около 50 мкТл имеет практически стационарный характер и однородно, и равномерно для биологических систем. Антропогенные электромагнитные низкочастотные излучения близки по параметрам к природным электромагнитным полям Земли. Исходя из этого в биологических системах, находящейся под влиянием антропогенных низкочастотных электромагнитных излучений, может произойти нарушение биоритмов, свойственных этой системе. Поэтому низкочастотные электромагнитные излучения наиболее масштабный вид загрязнения, имеющий глобальные неблагоприятные последствия для живых организмов и для человека.

Представление электромагнитное поле (рис. 4.3) как двух полей: электрического и магнитного позволяет рассматривать в объектах, содержащих электрические цепи, возникновение электрического поля при напряжении на проводниках, а магнитного, при прохождении тока по ним. При малых частотах промышленного диапазона (таблица 4.3), (в том числе 50 Гц), электрическое \vec{E} и магнитное \vec{H} поля рассматриваются как не связаны. Поэтому поля допустимо рассматривать раздельно, как и оказываемые ими влияния на биологические объекты.

Воздействия электромагнитного поля на биологические системы оценивается количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле.

Оценки поглощенная биологической системой электромагнитной энергии в промышленном диапазоне (таблица 4.3) низкой частоты различно для магнитной \vec{H} и электрической \vec{E} составляющей излучения (рис. 4.3). Поглощенная телом живого организма энергия магнитного поля примерно в 50 раз меньше поглощенной им энергии электрического поля. Установлено, что напряженность магнитного поля в рабочих зонах открытых распределительных устройств и воздушных линий с напряжением до 750 кВ, не превышает 25 А/м, в то время как вредное действие

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

магнитного поля на биологическую систему проявляется при напряженности, во много раз большей.

На основании этого отрицательное действие электромагнитного излучения в промышленном низкочастотном диапазоне (таблица 4.3) на биологическую систему обусловлено \vec{E} электрическим полем. Магнитное же поле \vec{H} оказывает незначительное биологическое действие, и в практических условиях им можно пренебречь. Электрическое поле низкой частоты можно рассматривать в каждый данный момент как электростатическое поле.

Электростатические поля представляют собой поля стационарных электрических зарядов во времени и пространстве, либо стационарные электрические поля постоянного тока.

Эффекты, вызываемые действием электрических полей на клеточные мембраны [80], выражаются в:

1) Скорость диффузии через клеточные мембраны (электропорация). Это приводит к изменению ионного состава, нарушению окислительных процессов в митохондриях;

2) Электрослияние (цитопласта и кариопласта) между собой нескольких живых клеток. Слияние мембран контактирующих клеток подобно коагуляции гидрофобных коллоидных частиц. Современная теория устойчивости рассматривает процесс слипания как результат совместного действия ван-дер-ваальсовых сил притяжения и электростатических сил отталкивания между частицами, несущими поверхностный заряд.

3) Движения в электрическом поле. Постоянное поле вызывает перемещение клеток, имеющих поверхностный заряд – явление электрофореза.

4) Электротрансфекция – проникновение в клетки чужеродной ДНК. Под действием поля (электропорация) и наличия у молекулы ДНК заряда, обеспечивающего электрофоретическое движение ДНК в момент приложения импульса.

5) Электроактивация мембранных белков. В результате такого взаимодействия энергия поля может использоваться транспортной системой и преобразовываться в энергию химической связи АТФ.

Наряду с этим под воздействием антропогенных электромагнитных излучений в живых клетках изменяется:

- пространственное расположение атомов в молекулах и их конфигурации (конфирмация микромолекул). Конфирмация обусловлена разнообразными поворотами вокруг одинарных

сигма-связей и политопными перегруппировками неорганических и элементоорганических соединений;

- электронная структура свободных радикалов.

Электропроводность живых тканей зависит от частоты воздействующего электромагнитного поля (дисперсия). Дисперсия электропроводности ярко проявляется в низкочастотном диапазоне, с повышением же частоты электропроводность тканей возрастает.

На низких частотах (до десятков килогерц) ионный ток протекает [25] только через внеклеточную среду, которая и определяет проводимость ткани. Низкочастотное поле, обходя клетку вытягивают ее (рис. 4.3) вдоль \vec{v} волнового вектора. Поэтому это приводит к росту электропроводности живых сред и проявляется в снижении дисперсии электропроводности на низких частотах. Общая картина частотной зависимости диэлектрических параметров сохраняется для всех тканей, что обусловлено единством структуры и химического состава клеток.

Низкочастотные электромагнитные поля (<105 Гц) воздействуют [68] на весь организм, но это воздействие на разные ткани неодинаково. Нервная система чувствительна к воздействию низкочастотного электромагнитного излучения. Кора головного мозга, а также промежуточный мозг особенно чувствительны к воздействию электрического поля.

Выявлена связь [68] между низкочастотным электромагнитным излучением и развитием онкологии.

Особенно опасны [68] сверхнизкочастотные электромагнитные излучения высвобождающие свободные радикалы, действующие на ДНК и РНК, вызывая отдаленные последствия, вплоть до вырождения генотипа.

Отмечается [68] накопление воздействий низкочастотных электромагнитных излучений, непосредственное обнаружение которых проблематично.

Эксплуатация электроэнергетических установок – открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения (330 кВ и выше) способствует ухудшению здоровья обслуживающего персонала (повышенная утомляемость, вялость, головные боли, плохой сон, боли в сердце и т. п.).

Линии электропередач (ЛЭП) являются источником такого негативного фактора как электромагнитное загрязнение окру-

жающей среды. Среди последствий для здоровья человека даже относительно низкого уровня электромагнитного излучения специалисты называют нарушение поведения, потерю памяти, болезнь Паркинсона, болезнь Альцгеймера, синдром внезапной смерти у грудных детей [25].

В зданиях, расположенные вблизи ЛЭП, от 75 до 80% объема помещений под воздействием высоких уровней низкочастотного электромагнитного излучения. Естественно население, проживающее в них, подвергается круглосуточному воздействию данного неблагоприятного фактора.

Интенсивное электромагнитное излучение промышленной частоты вызывает у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой системы. При этом наблюдается повышенная утомляемость, снижение точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце, сопровождающихся сердцебиением и аритмией, и т. п.

Гигиеническим нормативом нормируемых параметров электромагнитное излучение промышленной частоты является ПДУ. В РФ нормы электромагнитного поля определены СанПиН 2.2.4.1191-03.

Нормируемые параметры ПДУ электромагнитного излучения промышленной частоты устанавливаются с учетом вида магнитного поля (синусоидальное, импульсное), условий воздействия (общее или локальное) и времени воздействия. Нормируемыми показателями электромагнитного излучения промышленной частоты являются:

- напряженность электрического поля промышленной частоты (кВ/м);
- напряженность магнитного поля промышленной частоты (А/м) или индукция магнитного поля промышленной частоты (В, мкТл).

4.6.2.3. Радиационное (ионизирующее) загрязнение биосферы

Радиационное загрязнение обусловлено превышением естественного уровня ионизирующих излучений. Радиация, ионизирующая если она способна разрывать химические связи молекул

биологических систем, и тем самым вызывать биологически важные изменения.

При облучении биологических систем, содержащих в своем составе воду, до 50% поглощенной дозы в «средней» клетке приходится на воду, другие 50% – на ее органеллы и растворенные вещества [25].

При облучении [25] биологической ткани образуются свободные радикалы органического вещества R . Как и водные радикалы (OH^\cdot , HO^\cdot , $H^\cdot O^\cdot$), и атомарный кислород, органический радикал R обладает неспаренным электроном и крайне реакционноспособен. Располагая дополнительной энергией, он способен разрушать химические связи, что и происходит в промежутке между образованием ионов и формированием конечных химических продуктов. Биологический эффект облучения усиливается за счет того, что образующийся в результате взаимодействия свободного радикала с кислородом также высокоактивный продукт ROi ~ ведет к образованию новых молекул в облученной ткани.

Возникновение иных, по сравнению со здоровой тканью, химических связей и веществ приводит к необратимым изменениям в клетках живого организма. Особой чувствительностью к действию радиации отличаются живые клетки в период митоза (деления) [25].

При определенной поглощенной дозе облучения ионизирующих излучений любой живой объект погибает. Причем для простейших организмов эта доза примерно в тысячу раз выше, чем для высокоорганизованных биологических видов [8].

Несоответствие между ничтожной величиной поглощенной энергии и гипертрофированной реакцией биологической системы, вплоть до легального исхода, представляет радиобиологический парадокс. Сущность [25] этого парадокса состоит в следующем. Все живое погибает от облучения поглощенной дозой 10 Грей (Гр)*. По суммарной энергии это то же, что нагреть организм человека примерно на $0,001^\circ\text{C}$, т.е. меньше, чем от стакана выпитого горячего чая. Собственно, почему ничтожное количество поглощенной организмом энергии приводит к катастрофе и составляет пока необъясненный радиобиологический парадокс.

* Грей - единица измерения поглощенной дозы в СИ: $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Ранее применялась единица — рад. $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Гр}$.

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Величина же дозы, определяющая тяжесть поражения организма, зависит от того, получает ли ее организм сразу или в несколько приемов. Большинство органов успевает в той или иной степени залечить радиационные повреждения и поэтому лучше переносят серию мелких доз, нежели ту же суммарную дозу облучения, полученную за один прием. Разумеется, если доза облучения достаточно велика, облученный человек погибнет. Во всяком случае, очень большие дозы облучения вызывают настолько серьезное поражения центральной нервной системы, что смерть, как правило, наступает в течение нескольких часов или дней. Приближенная иллюстрация [8] времени наступления летальных исходов в зависимости от поглощенной дозы, полученной организмом человека на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Наступление летальных исходов в зависимости от поглощенной дозы.

Радиочувствительность органов и тканей человека различна к действию облучения.

Видимое развитие лучевого заболевания проявляется спустя некоторое время (латентный период от нескольких минут до десятков лет в зависимости от дозы облучения, радиочувствительности и наблюдаемой функции).

Действие даже от малых доз облучения может накапливаться. Суммирование (кумуляция) доз происходит скрытно. Последствия облучения могут проявиться непосредственно у самого облученного (соматические эффекты) или у его потомства (генетические эффекты).

Соматические эффекты выражаются [8]:

- локальными лучевыми повреждениями (лучевой ожог, катаракта глаз, повреждение половых клеток и др.);
- острой лучевой болезнью (при однократном облучении большой дозой за короткий промежуток времени, например при аварии);
- хронической лучевой болезнью (при облучении организма в течение продолжительного времени);
- лейкозами (опухолевые заболевания кроветворной системы);
- опухолями органов и клеток;
- сокращением продолжительности жизни.

Генетические эффекты возникают в результате мутаций (наследственных изменений) и других нарушений в половых клеточных структурах, определяющих наследственность. *Генетические эффекты не имеют дозового порога.*

Отличие соматических повреждений от генетических в способности организма со временем преодолевать последствия облучения, тогда как клеточные повреждения необратимы.

Биосфера как одна из стадий самоорганизации эндогенного вещества планеты сформировалась в условиях естественного радиоактивного фона. Ионизирующая радиация была одним из источников свободной энергии, обусловившей образование органических веществ, необходимых для возникновения жизни на Земле. Именно естественные ионизирующие излучения способствовали формированию биосферы. Поэтому в соответствии с принципом Ле Шателье как повышение, так и понижение радиационного фона губительно для биологических систем.

Нормами регламентированы [50]:

- пределы доз (ПД), соблюдение которых предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне;
- предел годового поступления радионуклидов с воздухом (ПГП), допустимая среднегодовая объемная активность в воздухе отдельных радионуклидов (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА), минимально значимая активность для лиц из персонала (МЗА); допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения) (ДУ);

- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.), значения которых должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Открытие биологических систем, преобразующих [126, 166] радиационную часть электромагнитного спектра свидетельствует о их адаптации самоорганизацией к энергопотокам. Исходя из этого можно предположить и последующую адаптацию иных биологических систем к этим энергопотокам.

4.7. Нормирование нагрузок на биосферу

Устойчивость биосферы, и прежде всего ее биологических систем, осуществляется нормирование допустимых нагрузок включая антропогенные воздействия (веществ и физических полей).

Негативное влияние нагрузок нормируется реакцией биосистем на уровень их воздействия. Исходя из этого формируется комплекс показателей ПДК (предельно допустимой концентрации), ПДУ (предельно допустимых уровней), ПД (предельных доз) и т.п. Действуют более 1900 ПДК вредных химических веществ для гидросферы, более 500 для атмосферы и более 130 для почв. Значения некоторых ПДК лежат на пределах чувствительности современных аналитических методов определения (так, ПДК диоксинов и фуранов в атмосферном воздухе составляют $0,5 \times 10^{-9}$ мг/м³).

Несмотря на большой набор параметров, характеризующих уровни воздействий, не существует общепринятой научно обоснованной системы оценки допустимых нагрузок на биологические системы и биосферу в целом.

Проявление негативного влияния воздействий обусловлено как их физико-химическими свойствами, так и начальными условиями, в частности, окружающей средой (почва, вода, атмосферный воздух, сырье, продукты питания и т.д.). Поэтому негативное влияние одного и того же воздействия может нормироваться разными классами опасности в зависимости от среды.

В основе подразделений веществ на классы лежат установленные нормативы ПДК (приложение № 19). По токсичности все вещества подразделены на 4 класса опасности.

Выбросы, как многокомпонентные динамические подсистемы, взаимодействуют с биосферой. Многообразие химических веществ (поллютантов) выбросов, предопределяет их комбинированное воздействие на биосферу.

Комбинированное воздействие учитывается на уровне нормативов [120] аддитивным моделированием (на основе суммирования). В этом случае комплексное воздействие выбросов на биологические системы (человека):

$$f(z) = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \quad (4.4)$$

где n – количество веществ из «группы суммирования» в выбросах; C_i и ПДК_i - i -го ингредиента выбросов соответственно.

В случае одного вещества, основным нормативом является его максимальное значение, не приводящее к биодеградации биологической системы (патологических изменений организма), т.е. предельно допустимый уровень (ПДУ).

Токсичность веществ оценивается ПДК. Тогда для n взаимодействующих факторов предельно допустимы все сочетания их значений, при которых нагрузка на биологическую систему предельно допустима.

Каждому фиксированному состоянию экосистемы соответствует совокупность разнообразных сочетаний антропогенных факторов определяемых [120] «изоболой» (гр. «ισοξ» - равное и «βολοξ» - изменение).

Например, при воздействии на биологическую систему нескольких вредных веществ (группы факторов) величина допустимой нагрузки определяется их изоболой, соответствующей предельно допустимой нагрузке (ПДН) на организм. Изобола, определяющая предельно допустимые сочетания компонентов смеси, при аддитивной модели:

$$f(z) = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} = 1 \quad (4.5)$$

Исходя из этого [120] для двух вредных веществ график изоболы выглядит (рис. 3.1):

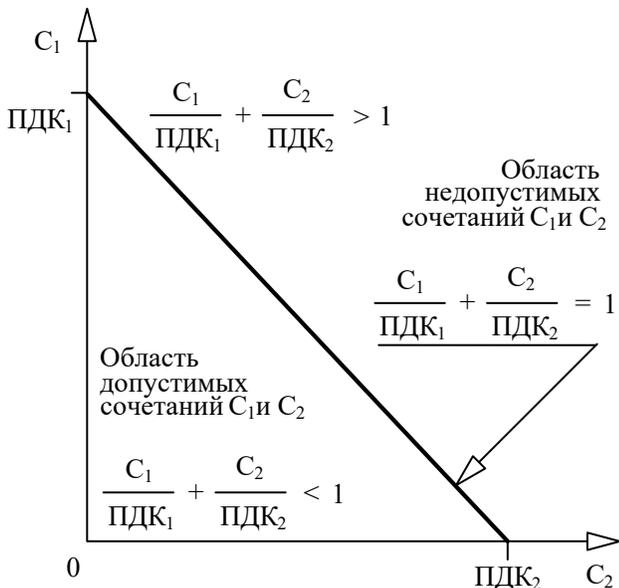


Рис. 3.1. Изобола предельно допустимых сочетаний концентрации двух аддитивно взаимодействующих веществ.

Для случая, представленного на рис. 3.1, норматив концентрации обоих ингредиентов определяется неравенством:

$$f(z) = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1 \quad (4.6)$$

В реальности биосфера взаимодействует с многокомпонентной динамической полисистемой, образуемой многообразными химическими веществами (поллютантами) выбросов. Взаимодействие веществ в полсистеме и определяет величину и направленность воздействие на биологическую систему и биосферу в целом.

Таким образом, строго аддитивные взаимодействия факторов довольно редки. В частности, даже вещества, традиционно объединяемые в общую группу суммирования, на самом деле взаимодействуют между собой неаддитивно, что можно иллюстрировать [120] графиками изобол (рис. 4.5). Важно отметить, что возможны и случаи антагонизма факторов (рис. 4.5, кривая 2). Тогда итоговое воздействие двух веществ на организм

будет менее сильным, чем эффект каждого из них в отдельности. Причинами антагонизма могут быть и свойства веществ, и особенности реакции организма на них.

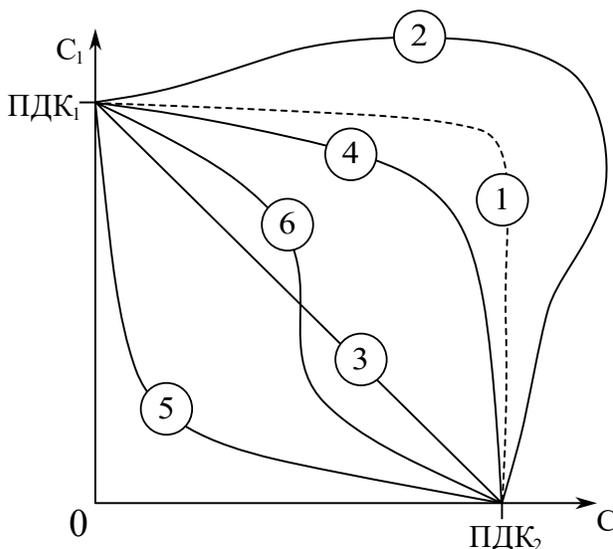


Рис. 4.5. График изобол предельно допустимых сочетаний концентрации двух гипотетических веществ:

1 – почти не взаимодействующих между собой;

2 – взаимодействующих антагонистически;

3-6 – взаимодействующих синергически;

3 – взаимодействие двух веществ аддитивно;

4 – каждое из веществ усиливает эффект второго менее, чем аддитивно;

5 – каждое из веществ усиливает эффект второго более, чем аддитивно;

6 – первое вещество усиливает эффект второго менее, чем аддитивно; второе вещество усиливает эффект первого более, чем аддитивно

Это легло в основу [120] концепции оценки упругой устойчивости экосистем в условиях многофакторного градиента внешних воздействий (выбросов). Собственно задача нормирования антропогенных воздействий сведена к нахождению границ области сохранения упругой устойчивости экосистемы в гиперпространстве n лимитирующих факторов. Формализация

условий сохранения упругой устойчивости экосистем представляется [120] в анализе семейства изоблических гиперповерхностей:

$$\frac{f}{f_0} = \sum_{i=0}^n (x_i)^{Z_i} \quad (4.7)$$

где f и $-f_0$ значение биотических показателей оценивающих состояние экосистемы при внешних воздействиях и фоновых условиях соответственно, $X_i, i = 1, 2, \dots, n$ - нормированные значения факторов антропогенного воздействия,

Z_i - параметры регрессивной модели, определяющие нелинейность взаимодействия, оценки которых находятся градиентными методами оптимизации. Границы области сохранения упругой устойчивости экосистемы, а соответственно и проекции гиперповерхности, определяются из условия области сохранения упругой устойчивости экосистемы $f/f_0 = 1$. Тогда отклонение экосистемы от области упругой устойчивости определяется посредством показателя:

$$Y = I / \sum_{i=0}^n (x_i)^{Z_i} \quad (4.8)$$

Который близок к 1 для фоновых условий. Таким образом, универсальный безразмерный показатель Y выражает кратность превышения устойчивости экосистемы под многофакторным воздействием.

При этом осталось [118] неопределенным «совмещение» областей упругой устойчивости для различных функций f .

Несмотря на [120] учет вероятностного распределения интенсивности техногенных факторов предлагается [118] использование более «изошренного аппарата современной математики нейросетевого моделирования, уравнений обобщенных нелинейных полиномов, потенциальных функций и т.д.

Однако, та или иная формализация внешнего воздействия на биологические системы предполагает формулировку целевой функции. Поэтому актуально адекватное представление целевой функции или функций (многомодальное представление) биологических систем и биосферы в целом. Такой подход позволит моделировать и анализировать устойчивость биологических систем.

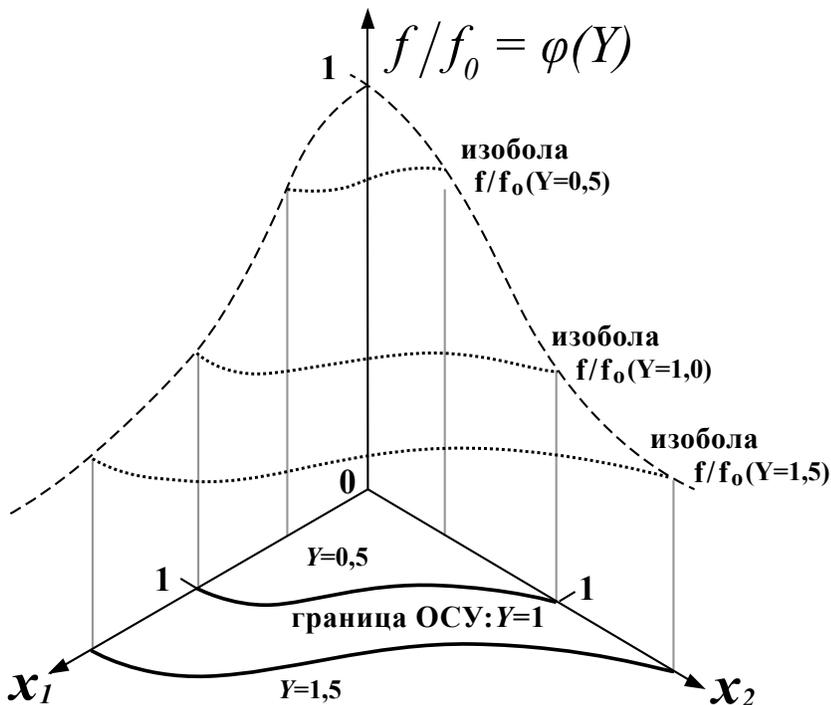


Рис. 4.6. Двухфакторное воздействие на экосистему.
Граница ОСУ - области сохранения упругой
устойчивости экосистемы;

ИТОГИ 4 ГЛАВЫ

Биосфера представляется как открытая саморегулирующаяся система, обладающая устойчивым динамическим равновесием на основе гомеостаза. Поэтому выбросы в биосферу влияют на ее устойчивость. Расширенный принцип Ле Шателье – Брауна позволяет прогнозировать воздействия выбросов на развитие биосферы представляемой как саморегулирующейся системы.

Российская биота с учетом доли «океанической» составляющей полностью поглощает антропогенные выбросы CO_2 . Поэтому, глобальное влияние антропогенных выбросов CO_2 , несмотря на их ангажированность для РФ, неактуально. Актуально локальное поддержание оптимального уровня углекислоты на конкретных территориях.

Загрязнение оксидами азота результат превышения антропогенного поступления азота в биосферу над его естественным оборотом. Оксиды азота в атмосфере образуют не только токсичные вещества, но и фотохимический смог и кислотные осадки. Конверсия оксидов азота, вовлекая органические загрязнители образуют более токсичные вещества. Разрушительное действие NO_2 усиливается в присутствии диоксида серы. Оксиды азота повреждая мембраны клеток, нарушают респираторные функции, развивая эмфизем легких и астму. Оксид азота, действуя на центральную нервную систему, переводит оксигемоглобин крови в метгемоглобин.

Антропогенная эмиссия оксидов серы в атмосферу более чем на 30% превышает природный фон. Оксиды серы взаимодействуя с капельной влагой атмосферы формируют серную кислоту H_2SO_4 . Серная кислота, реагируя с аммиаком или катионами металлов образует сульфаты аммония, натрия, кальция, магния и др. и вызывает кислотные дожди, сопровождающиеся поступлением тяжёлых металлов в гидросферу и литосферу, а следовательно, и в биосистемы.

Общее действие SO_2 заключается в нарушении углеводного и белкового обмена; угнетении окислительных процессов в головном мозге, печени, селезенке, мышцах; торможении окислительного дезаминирования аминокислот и окисления пировиноградной кислоты. Диоксид серы разрушает витамин B_1 и С и т. п. и

полностью уничтожает витамин B_{12} в организме. SO_2 способствует образованию метгемоглобина; увеличивает выделение с мочой копропорфирина и бисульфитсвязанных соединений; вызывает изменения в эндокринных органах, костной ткани; нарушает генеративную функцию; эмбриотоксическое (репродуктивность) действие.

Диоксид серы в атмосфере Земли существенно ослабляет влияние парниковых газов на рост температуры атмосферы.

Выбросы стойких органических веществ (СОЗ) в биосферу, как ксенобиотиков представлены: полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) и полигалогенированными гетероциклическими соединениями: полихлордибензодиоксинов (ПХДД) и полихлордибензофуранов (ПХДФ), а также металлоорганикой (алкильные производные свинца и пр.). СОЗ, как ксенобиотики по отношению к биосфере выступают в роли экотоксикантов.

ПАУ инициируют: иммуноксичность, генотоксичность, биоаккумуляцию и репродуктивную токсичность.

Диоксины как глобальные экотоксиканты обладают мощным мутагенным, иммунодепрессантным, канцерогенным, тератогенным и эмбриотоксическим действием. Токсичность диоксинов заключается в их способности встраиваться в рецепторы живых организмов и подавлять или изменять их жизненные функции. Высокая экотоксичность диоксинов и родственных им соединений невозможна нормированием ПДК.

Выбросы физических полей (механические и электромагнитные), перенося энергию загрязняют биосферу. Возникновение резонансных явлений приводит к резкому изменению энергобаланса элементов биосферы и как следствие протекающих в них процессах. И как любое внешнее воздействие энергия генерируемых сопутствующих физических полей нарушает равновесие биосферы в соответствии с принципом Ле Шателье.

Механические поля в основном представлены шумом. Наиболее опасные низкочастотные шумы распространяются без особого затухания на значительные расстояния (инфразвук на тыс. км) загрязняя биосферу. Особо опасен диапазон от 6 до 9 Гц. Шум нарушает регуляции центральной нервной системы до морфологически обозначенных дегенеративных деструктивных процессов в разных органах и тканях, окислительные и

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

восстановительные процессы изменяя деятельность мозга (общая слабость, утомляемость, раздражительность, ослабление памяти и др.). Нарушения обменных процессов изменяет циркуляцию крови и приводит к возникновению заболеваний сердечно-сосудистой системы. Шум обладает кумулятивным воздействием: акустические раздражения, накапливаясь в организме, угнетают нервную систему. Шум усиливает действие экотоксикантов на биосферу и ускоряет развитие отравлений.

Выброс сопутствующей энергии электромагнитным излучением происходит в характерных частотных диапазонах.

Тепловое загрязнение – результат конвективного и радиационного теплообмена биосферы с антропогенными источниками тепловой энергией. Антропогенные выбросы тепла в биосферу приводят к изменению термодинамики как атмосферы и гидросферы, так и верхних слоев литосферы. Тепловое загрязнение верхних слоев литосферы территорий агломераций осуществляет преимущественно инженерная инфраструктура. Рост температуры увеличивает скорости химических реакций воздействия химических веществ и биосферы интенсифицируя токсические процессы, нарушая метаболизм и функциональное состояние нервной системы. Тепловое загрязнение нарушает биоценоз экосистемы и приводит к микробиологическому загрязнению, эвтрофикации и другим крайне неблагоприятным процессам. Последствия этих нарушений приводят к отравлению людей и животных и даже гибели биоценоза экосистемы.

Глобально тепловое загрязнение приводит к смещению устойчивого равновесия и во всех механических, тепловых, химических и электрических процессах в биосфере, обеспечивающих биоценозы.

Созданная видом *Homo sapiens* обособленная среда обитания генерирует в биосферу антропогенное электромагнитное излучение. Современные технологические процессы и оборудование антропогенного преобразования УСЭ генерируют в биосферу сопутствующие электромагнитные излучения в широком низкочастотном диапазоне $10 - 3 \cdot 10^4$ Гц. Максимальное электромагнитное излучение в агломерациях приводит к глобальным и местным геофизическим аномалиям. Антропогенные электромагнитные низкочастотные излучения близки по параметрам к природным электромагнитным полям Земли. Поэтому низкочастотные

электромагнитные излучения наиболее масштабный вид загрязнений, имеющий глобальные неблагоприятные последствия для живых организмов и человека.

Воздействие электрических полей на клеточные мембраны, выражаются в электропорации приводя к изменению ионного состава, нарушающего окислительные процессы в митохондриях; электрослиянию (цитопласт и кариопласт) между собой нескольких живых клеток; электрофореза леток; электротрансфекция-проникновение в клетки чужеродной ДНК; электроактивация мембранных белков и т. п. Сверхнизкочастотные электромагнитные излучения высвобождают свободные радикалы, действуя на ДНК и РНК, вызывая отдаленные последствия, вплоть до вырождения генотипа и развитием онкологии.

Электромагнитное излучение промышленной частоты вызывает нарушение функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой системы. При этом наблюдается повышенная утомляемость, снижение точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце, сопровождающихся сердцебиением и аритмией, и т. п. Отмечается накопление воздействий низкочастотных электромагнитных излучений.

Радиационное загрязнение – результат превышения естественного уровня ионизирующих излучений. Ионизирующая радиация, разрывает химические связи молекул биологических систем, вызывая важные их необратимые изменения.

При определенной поглощенной дозе облучения ионизирующих излучений любой живой объект погибает.

Последствия облучения могут проявиться непосредственно у самого облученного (соматические эффекты) или у его потомства (генетические эффекты). Соматические эффекты выражаются: локальными лучевыми повреждениями, лучевой болезнью, лейкозами, опухолями органов, сокращением продолжительности жизни. Генетические эффекты – результат мутаций (наследственных изменений) и других нарушений в половых клеточных структурах, определяющих наследственность. *Генетические эффекты не имеют дозового порога.* Можно предположить последующую адаптацию биологических систем к радиационным энергопотокам.

Предполагается, что нормирование допустимых нагрузок обеспечивает устойчивость биосферы и ее биологических систем.

Сформирован комплекс показателей ПДК (предельно допустимой концентрации), ПДУ (предельно допустимых уровней), ПД (предельных доз) и т.п. Комбинированное воздействие на уровне нормативов учитывается аддитивным моделированием (на основе суммирования). Однако аддитивные взаимодействия факторов довольно редки, поэтому адекватность такого подхода сомнительна.

Альтернатива – оценки упругой устойчивости экосистем в условиях многофакторного градиента внешних воздействий (выбросов). Собственно задача нормирования антропогенных воздействий сводится к нахождению границ области сохранения упругой устойчивости экосистемы в гиперпространстве n лимитирующих факторов. Такая оценка внешнего воздействия на биологические системы предполагает формулировку целевой функции. Поэтому актуально адекватное представление целевой функции или функций (многомодальное представление) биологических систем и биосферы в целом. Такой подход позволит моделировать и анализировать устойчивость биологических систем.

ГЛАВА 5

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИЯ

Практически любые природные факторы, инициируемые первичной энергией нашей планеты, представляют потенциальные энергоисточники: солнце, ветер, атмосферное электричество, движения воды, геотермальные, биоэнергетика и т.п. Альтернативные энергоисточники уже прочно завоевали определенную нишу в секторе локальной распределённой энергогенерации малой мощности.

По самым оптимистичным оценкам, вклад возобновляемых источников в энергогенерацию наиболее технологически развитых стран, несмотря на многолетние усилия и многомиллиардные затраты (без гидроэнергетики), не превышает 2-3%, а в глобальное производство первичной энергии не превышает 3%.

Призрачность обеспечения энергопотребления развитых стран за счет возобновляемых источников энергии довольно просто обоснована российским академиком П.Л. Капицей [45] низкой плотностью потока первичной энергии.

Максимальный поток солнечного излучения на уровне моря, на экваторе примерно 1000 Вт/м^2 . Форма Земли, и специфика ее вращения определяет поток первичной энергии на поверхности в среднем около 200 Вт/м^2 , что эквивалентно $4,8 \text{ кВтч/м}^2$ в сутки. При этом, наблюдаются резкие различия по широте, с одной стороны, и по сезону – с другой. С увеличением широты резко нарастает разница между приходом солнечной радиации в месяцы с наибольшим и наименьшим поступлением солнечной энергии.

Реально в умеренных широтах, с использованием крайне сложного и дорогостоящего оборудования при практически предельном для современных условий КПД преобразования солнечной энергии в 30%, можно получить мощность не более 90 Вт/м^2 . И это без учёта суточного и годового непостоянства

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

производимой энергии, а соответственно, необходимости дорогостоящих систем аккумуляции энергии.

Теоретический (валовый, природный) потенциал энергии на возобновляемых источниках в мире и в России, оцениваемый по данным и сходным методикам, оценивается в огромные величины, на несколько порядков превосходящие потребности человечества в энергии (приложение № 20), хотя точный и достаточно корректный его расчёт затруднителен.

Определяющей является и низкая рентабельность (практически убыточность), поддерживаемая за счет дотаций и преференций. Так, EROEI (приложение № 2) фотоэлектрических источников 4-10, солнечный коллектор менее 1,6, ветроэнергетики 6-18, биоэтанол около 1,8.

Волюнтаризм в продвижении возобновляемых источников энергогенерации [110], оформившийся в фетиш «зеленой энергетики», не замедлил проявиться. Несмотря на глобальную тенденцию насыщения экономически обоснованного рынка данных технологий [105], их дальнейшее распространение привело к фатальным последствиям. Объективна оценка провала зеленой энергетики [177]: «Wintertime wind and solar energy “between 0 and 2 or 3 percent – that is de facto zero,” says German power distribution professor» (Prof. Schwarz). В мире, который на 100% полагался бы на зелёную энергию, это означало бы 100%-е отсутствие энергии в домах.

Даже самые смелые прогнозы Департамента энергетики США развития мировой энергогенерации, возобновляемым источникам отводят достаточно скромную роль, всего лишь около 6% процентов к 2040 г.

Практически все потоки возобновляемой энергии обусловлены адсорбцией первичной энергии планеты. В этой связи, суммирование их теоретических потенциалов некорректно (поскольку гипотетическое изъятие солнечной энергии приводит к уменьшению всех остальных потоков). Поэтому общий теоретический потенциал, отнесенный ко всем возобновляемым источникам энергии (кроме эндогенных), условно эквивалентен потенциалу доминирующей первичной энергии излучения Солнца в корреляции с энергией космических объектов. Исходя из этого качественная оценка теоретического потенциала возобновляемой энергии ограничена энергией излучения Солнца.

5.1. Солнечная энергетика

Технический потенциал солнечной энергии определяется, исходя из следующих допущений [12, 92]:

- Солнечные тепловые установки потенциально могут занимать не более 0,8% площади в каждом субъекте Российской Федерации; солнечные фотоэлектрические установки – не более 1%;
- КПД солнечных тепловых установок – 0,7, фотоэлектрических – 0,15. Исходя из этого, технический потенциал солнечной энергии составил 0,0015 от валового потенциала, или примерно в 700 раз ниже. Применительно к РФ эта величина составляет 25700 ТВтч в год, что в 25 раз выше всего производства и потребления электроэнергии в России в настоящее время.

Показателен пример преобразования солнечной энергии – КПД реальных фотохимических преобразователей не более 25%. КПД преобразования солнечной энергии сельскохозяйственными культурами около 5-7% (например, кукурузой). КПД фотоэлементов: на основе кристаллического кремний – 11-15%, аморфного кремния (a-Si) – 6-8%, на основе селена, меди, индия и галлия (CIS), (CIGS) – 11%, кадмия и теллура (CdTe) – 9%, на основе органических соединений 5-7%;

Существенны экологические издержки преобразования солнечной энергии. Корректные расчеты показали, что совокупные экологически опасные выбросы в течение всего жизненного цикла солнечной панели, т. е. при изготовлении, эксплуатации и полной утилизации отслуживших компонентов, солнечная энергетика не менее опасна, чем тепловая. Поэтому [4] «...когда благополучный западный обыватель, устанавливая на крыше своего дома солнечные панели, убежден, что он вносит этим личный вклад в «дело защиты окружающей среды и сохранения глобального климата», он глубоко ошибается. Возможно, вблизи его местообитания станет немного чище. Но для планеты в целом гораздо предпочтительнее, чтобы он подключился к ближайшей угольной ТЭЦ».

Определяющей является и низкая рентабельность (практически убыточность), поддерживаемая за счет дотаций и преференций. Фатальна зависимость солнечной энергетика от метеоусловий (влажности, температуры, осадки и т. п.).

Значение EROEI (приложение № 2) солнечной энергетика оценивается 0,82-1,9.

5.2. Ветроэнергетика

Неравномерная абсорбция первичной энергии атмосферой посредством конвекции и фазовых переходов жидкостей, в совокупности с кинематикой орбитального движения и вращения Земли формируют: ветры, циклоны и т.п. Частичное рассеивание «энергии ветров» порождает в водной поверхности волны, а в мелкодисперсных поверхностях «песчаные» бури.

Внутренняя энергия всей атмосферы [17] оценивается в $8,6 \cdot 10^{23}$ Дж, потенциальная в $3,6 \cdot 10^{23}$ Дж, а кинетическая – на два порядка меньше: 10^{21} Дж, (менее 1% потенциальной энергии). Суммарная мощность этого источника энергии оценивается примерно в 2700 ТВт, причем в приповерхностном слое атмосферы толщиной 100 м сосредоточено лишь 25% указанного количества. Запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты.

Энергетический потенциал ветра на Земле по [12] различным оценкам 170 триллионов кВт·ч в год. Это дает возможность выработки ветроустановками энергии в количестве $1,18 \cdot 10^{13}$ кВт·ч в год.

Технический потенциал ветровой энергии оценивается [12] основе следующих допущений:

- Использование энергии целесообразно в районах со среднегодовыми скоростями ветра не менее 5 м/сек;
- Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) ветроустановки составляет 20%;
- Используются ветроустановки большой мощности – от 100 до 2000 кВт;
- Высота захватываемого приземного слоя H – 150 метров;
- При обтекании воздушными потоками препятствия («воздушной плотины») высотой H возмущенный поток полностью восстанавливается на расстоянии $20H$ после препятствия (в данном случае – 3000 м).

Исходя из этих допущений [12] «устанавливается, что максимально полное использование энергии ветра осуществляется ветроэнергетической системой «воздушных плотин» высотой H , ориентированных перпендикулярно направлению ветра и стоящих друг от друга на расстоянии $20H$, так что полная ветровая энергия, захватываемая установками по площади территории S , м²/год

представляет валовый потенциал территории W_s , Втч/м³год, который при удельной энергии ветра E_v , кВтч/м²год, равен:

$$W_s = E_v \cdot \frac{S}{20} = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 t_i \quad (5.1)$$

Где: ρ - плотность воздуха, кг/м³; $T = 8700$ – число часов в году; S – площадь территории (м²); v_i – среднемноголетняя скорость ветра в диапазоне i , м/сек; t_i – вероятность нахождения скорости в диапазоне i ».

В России [12] общая площадь, возможного размещения ветроустановок оценивается около 2% всей территории страны.

Оценки энергопотенциала ветроэнергетики [12] дают величину в 100 раз меньше валового потенциала, или около 7000 ТВтч, что примерно в 7 раз выше всего производства электроэнергии в России.

Ветроэнергетика, отбирая часть кинетической энергии атмосферы, приводит к (особенно при масштабном использовании) изменению термодинамики процессов в атмосфере. В результате это влияет [145] на локальные и даже глобальные климатические условия. Снижение средней скорости ветров делает климат региона более континентальным. Медленно движущиеся воздушные массы сильнее нагреваются летом и охлаждаются зимой, что способствует изменению влажности. Вероятно изменение «розы ветров» в находящих рядом агломерациях и усиление загрязнения воздуха.

Современные инженерные решения ветроэнергетики негативно воздействуют на биосферу. Генерируя интенсивный инфразвук, угнетающе влияют на людей и биоту. Нарушают естественную миграцию биоты.

Капитальные затраты (стоимость 1 кВт установленной мощности ~ \$1000) и эксплуатационные расходы на ветроэнергетику значительны. Ветроэнергетика занимает намного большую площадь, чем ГЭС, ТЭС или АЭС такой же мощности.

Фатальна зависимость ветроэнергетики от метеоусловий (скорости ветра, влажности, температуры и т. п.).

Значение EROEI (приложение № 2) ветроэнергетики оценивается 18.

5.3. Гидроэнергетика

На долю гидроэнергетики сейчас приходится почти 7% мирового производства энергии примерно 5% мирового потенциала гидроэнергетики реализуется на ГЭС малой мощности. Принципиальными препятствиями на пути использования оставшегося мирового потенциала гидроэнергетики являются: усугубляющаяся деградация биосферы и рост потенциала социальных конфликтов из-за водного ресурса. Увеличение потребности в воде для различных нужд не только ограничивает развитие гидроэнергетики, но и сокращает доступный объем гидроресурса.

Исходные данные для расчёта валового гидроэнергетического потенциала – расход воды через поперечное сечение водотока в единицу времени (m^3/c) и падение водотока (м) на данном участке.

Валовый гидроэнергетический потенциал данного участка водотока (N_i) может быть рассчитан по формуле [27]:

$$N_i = g \cdot ((Q_{ni} + Q_{ki}) / 2) \cdot H_i \quad (5.2)$$

где: g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; Q_{ni} – расход воды в начале участка, m^3/c ; Q_{ki} – расход воды в конце участка, m^3/c ; H_i – падение реки на данном участке, м. Общий валовый гидроэнергетический потенциал территории определяется как сумма потенциалов отдельных участков водотоков.

Технический потенциал гидроэнергетики определяется как технически осваиваемая часть валового потенциала и оценивается [70] для малых рек РФ 40,77-51,7 млн. кВт или 357,1-452,9 млрд. кВтч. В соответствии с этими оценками, технический потенциал малых рек России равен 35%-45% всей электроэнергии, производимой в России.

Современный гидроэнергетический комплекс России составляют 102 гидроэлектростанции мощностью свыше 100 МВт. Общая установленная мощность гидроагрегатов на ГЭС в России составляет примерно 45 млн кВт (5-е место в мире), при этом в общем объеме производства электроэнергии в России доля ГЭС не превышает 21%.

Эксплуатация приливных электростанций [66] считается экономически целесообразной в районах с приливными колебаниями уровня моря не менее 4 м, которых не так уж и много. Главный же недостаток приливных электростанций в том, что они

строятся только на берегу морей и океанов, и к тому же развивают не очень большую мощность, да и приливы бывают всего лишь два раза в сутки. Так же, как и с ГЭС, с ними связаны серьезные экологические проблемы. Они нарушают нормальный обмен соленой и пресной воды и тем самым – условия жизни морской флоры и фауны. Влияют они и на климат, поскольку меняют энергетический потенциал морских вод, их скорость и территорию перемещения.

Значение EROEI (приложение № 2) гидроэнергетики (без учета инфраструктурных затрат) оценивается >100 (11-267).

5.4. Атомная энергетика

На долю атомной энергогенерации приходится 4,4% вырабатываемой в мире первичной энергии. С учетом всей производственной цепочки от добычи сырья и до производства электроэнергии атомная энергетика производит в сто раз меньше CO₂ и практически не наносит экологического ущерба окружающей среде. Таким образом, она уже сейчас позволяет сократить глобальную эмиссию CO₂ на 8% (около 0,6 Гт углерода в год).

Основа атомной энергетики ископаемый природный ресурс – изотоп урана с массой ²³⁵U. Его содержание в природном уране составляет всего не более 0,7%, время истощения его запасов оценивается менее 50 лет.

Превращение в ядерное топливо из основного изотопа урана ²³⁸U, повысит степень использования природного урана до 80 раз посредством крайне дорогостоящих и сложных реакторов-размножителей (бридеры). Однако и это не делает атомную энергетику долговременным надежным источником энергии для социума.

Перспективы атомной энергетики ограничивает ее катастрофическая потенциальная опасность и (приложение № 2) низкий EROIE 5-15. Поэтому тезис о безопасности и дешевизне атомной энергии и ее долгосрочных перспективах представляется крайне сомнительным.

Энергогенерация на основе термоядерного синтеза, по различным оценкам, в обозримом будущем вряд ли будет технологически реализована. А пагубное тепловое влияние на биосферу любых видов атомной энергогенерации ровно такое же, как от ТЭС и АЭС.

5.5. Водородная энергетика

Водород доминирует во Вселенной (93%) и один из самых распространенных элементов на Земле – 15,52%. Однако, водородная энергогенерация пока является примером необоснованных экологических ожиданий. Более того, водород не является первичным энергоресурсом, а лишь один из возможных вторичных энергоносителей.

До 90-95% водорода промышленно производится за счет паровой конверсии природного газа. Метан смешивается с водяным паром при температуре 700–1000 °С с под давлением в присутствии катализатора.

Оставшийся объем водорода приходится на конверсии угля: пропускание паров воды над раскалённым углем при температуре около 1000 °С.

Получение водорода электролизом воды при современном технологическом уровне этого процесса абсолютно нерентабельно и в промышленных масштабах практически не применяется.

Разрабатывается производство водорода из воды при помощи сплава алюминия с галлием. Водород могут производить [153] биопродуценты содержащие гидрогеназу*, например, группа зелёных водорослей [172] *Chlamydomonas reinhardtii* из морской воды, или канализационных стоков.

Однако полная энергетическая эффективность водорода значительно ниже других источников энергии, а полная эмиссия вредных веществ в атмосферу с учетом процессов его получения – значительно выше.

Надежды на создание уникальных катализаторов и высокопроизводительных биологических продуцентов, выделяющих водород в промышленных объёмах, пока так же не оправдываются.

Некоторый оптимизм внушают разработки в логике предложенной автором модели [112] преобразования вещества нанодеструкцией.

Так, созданная в Пенсильванском университете «микробная электролизная ячейка на обратном электродиализе» (microbial

* Гидрогеназа (водород: ферредоксин — оксидоредуктаза, КФ 1.12.1.1.) — фермент, использующий молекулярный водород для восстановления различных соединений. Все гидрогеназы катализируют обратимое поглощение H₂.

reverse-electrodialysis electrolysis cell – MREC), в виде сэндвича из пяти пар отсеков с солёной и пресной водой, и электродов. В область анода помещены бактерии, способные в ходе метаболических реакций (окисления ацетатов) выдавать электроны во внешнюю среду. Опыт показал [172], что производительность аппарата MREC до $1,6 \text{ м}^3 \text{ H}_2$ на 1 м^3 анолита в сутки при расходе морской и речной воды в количестве от 0,1 до 0,8 мл/мин. КПД составил до 64%, насосные затраты оказались равны 1% от вырабатываемой (в виде водорода) энергии.

Есть надежды на преобразование возобновляемых сероводородных ресурсов нанодеструкцией [112], например, в замкнутых водоёмах – Чёрного моря, Каспия и др. Процесс может быть представлен:



При разложении сероводорода (5.3) и последующем сжигании водорода (5.4) получается 14-кратный энергетический выигрыш.

Оценка ежегодной энергогенерации Чёрного моря составляет порядка 1000 млрд кВт·ч, что соизмеримо с производством электроэнергии в России за 2019 г. - 1080,6 млрд кВт·ч.

Однако этот проект не имеет глобального природного ресурса. Таким образом, проект промышленного использования сероводорода, как энергоносителя, носит региональный характер.

По-видимому, в настоящее время водородное топливо может способствовать только локальному снижению эмиссии вредных выбросов, например, в крупных городских агломерациях.

5.6. Эндогенная геотермальная энергия

Космологические представления о солнечной системе и экспериментальные исследования геохимического строения [93, 123, 165, 169] нашей планеты предполагают формирование ее геотермальной энергии:

- остаточной энергией приращения массы Земли, гравитационным притяжением материи при ее формировании;
- охлаждением и дифференциацией литосферы, уплотнением мантии, приливным трением и т.д. (около 10 ТВт);

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

- распадом радиоактивных изотопов ^{40}K , ^{238}U , ^{234}U и ^{232}Th (около 24 ТВт [135]), причем «...темп теплового излучения радиоактивных атомов уменьшается с глубиной более быстро, чем это мы наблюдаем в верхней части земной коры. Это указывает, что количество радиоактивных атомов с глубиной уменьшается» [23];

- термоядерными реакциями внутри планеты [93], (предположительно в среде гидридов железа, никеля, магния и кремния) туннелированием по механизмам Б. Я. Зельдовича и Ванг Хонг-Цханга [93]. Характерным свойством плазменных потоков (шнуров) является нестабильность в пространстве и во времени, приводящая, в частности, к флуктуациям магнитного поля планеты.

Поскольку магнитное поле Земли эндогенно и генерируется внутри планеты [93], энергия для его поддержания является неотъемлемой составляющей полной внутренней энергии Земли и оценивается приближенно в 85 ТВт. В оценке общего потока геотермальной энергии существует большая неопределённость.

Многочисленные исследования показали, что перенос геотермальной энергии в литосфере определяет не столько ее теплопроводность, сколько конвективные газоводородные потоки в мантии [93]. Естественно, эти процессы поддерживаются генерацией геотермальной энергии внутри планеты.

Наиболее вероятно, что водородно-флюидные потоки, возникающие внутри планеты, являются [93] источником эндогенной геотермальной энергии Земли, которая многократно превосходит суммарную энергию радиоактивного распада. Эти потоки, перенося к поверхности литосферы наибольшее количество геотермальной энергии, способствуют формированию плюмов вязкого и твёрдого вещества. Восходящие водородно-флюидные потоки [59, 93] вымывают углерод из глубинных геосфер, перемещая его в верхние слои литосферы. Такая тенденция приводит к концентрации углерода в осадочных породах водных бассейнов, в результате чего, вероятно, формируются разнообразные соединения – от карбонатных толщ до скопления угля и углеводородов.

Поток геотермальной энергии к поверхности литосферы преимущественно определяется составом горных пород, их физическим состоянием и теплопроводностью, плотностью теплового потока, близостью к интрузиям и другими факторами.

Обычно геотермический градиент колеблется от 0,5-1 до 20°C и в среднем составляет около 3°C на 100 метров.

Поток геотермальной энергии из недр Земли оценивается [93, 123] 45 ± 1 ТВт. Плотность потока геотермальной энергии при этом составляет 0,03-0,05 Вт/м², или примерно 350 Вт·ч/м² в год (в 10 000 раз меньше плотности солнечного излучения). Таким образом, геотермальная энергия более чем на три порядка меньше, чем энергия, получаемая Землёй от Солнца, поэтому предполагается, что она не оказывает прямого воздействия на климат нашей планеты. Однако [59, 129] (приложение № 21), на дне океанов (как и на суше – вулканы), имеются локальные очаги тепловыделения (например, в срединных океанических хребтах). В этих местах температура воды в океане существенно выше и тем самым влияет на общую циркуляцию и изменение характера морских течений, что неизбежно отражается на климатических параметрах.

Запасы геотермальной энергии [127] оцениваются как «практически неисчерпаемые»: при остывании ядра на 1°C выделится $2 \cdot 10^{20}$ кВтч энергии, что в 10000 раз больше, чем содержится во всем разведанном ископаемом топливе, и в миллионы раз больше годового энергопотребления человечества. По различным оценкам температура ядра превышает 6000°C, а скорость остывания оценивается в 300-500 °C за миллиард лет.

5.7. Энергогенерация на основе нанодеструкции

Направленная непрерывная самоорганизация вещества в рамках социума определяется концентрируемой им энергией. Основу процесса концентрации энергии составляет энергогенерация на основе вовлекаемых социумом УСЭ. Реализация энергии химических связей доминирующего энергоресурса УСЭ экзотермическим окислением сопровождается (рис. 2.2) выбросами. Антропогенные выбросы современной энергогенерации на основе УСЭ, образуемые продуктами реакций и (рис. 2.4) инертных (балластных) веществ поступают в биосферу.

Практически весь объем растущих выбросов, сопутствующих энергогенерации, депонируется в биосфере. Непосредственно в биосферу системно сбрасываются и различные газообразные, жидкие и мелкодисперсные отходы. Снижение их локальной

концентрации путем рассеяния дымовыми трубами или разбавлением на станциях нейтрализации и т.п. никак не влияет на общий объем воздействия на биосферу. Наряду с материальными отходами непосредственно в биосферу депонируются и различные энергетические выбросы, например, тепловые потери.

Выбросы энергогенерации как многокомпонентные динамические полсистемы воздействуют на все элементы биосферы. Превышение пределов устойчивости биосферы под воздействием выбросов приводит к ее деградации.

Несмотря на определение ООН ещё в 1992 г. рециклинга отходов «генеральным направлением развития социума» актуальность антропогенного воздействия на биосферу пока только усиливается.

Гетерогенный характер УСЭ (включая ТКО) при преобразовании их вещества обуславливают разнообразные реакции вторичного синтеза, приводящие к образованию вредных выбросов (включая СО₂). Это и является фундаментальным препятствием экобезопасной энергогенерации.

Вероятно, единственная возможность экобезопасной энергогенерации реализуется [109, 108, 116] в «модели нанодеструкции Шаповалова» (рис.5.1) удостоенной еще в 2009 г международной награды: *«деструкция вещества отходов на наноразмерные частицы и формирование из них вещества товарного продукта»*.

Представленная модель реализует преобразование вещества, включая отходы, в соответствии с задаваемыми требованиями. Независимо от методов и способов осуществления преобразования исходных веществ в вещества заданных продуктов, первоисточник в инициации – активированные наноразмерные частицы. Исходя из этого, логично определить данное преобразование по начальному процессу деструкции вещества образующего наночастицы «нанодеструкцией» – изменение вещества перегруппировкой наночастиц.

Принципиально возможное физическое преобразование вещества отходов представлено в приложении № 22.

Номенклатура производимых товарных продуктов в соответствии с данной моделью может содержать следующие фракции:

- углеводородная (от синтетической нефти и газа до моторных топлив и химических продуктов);

- углеродная (от синтетического угля до углеродных наноструктурированных материалов);
- металлическая (от металлолома до наноструктурированных металлических структур);
- минеральная (от шлаков до наноструктурированных минералов, волокон);
- биологическая (от гумуса до биоактивных веществ);
- галоидная (от товарных галодных соединений до чистых элементов)
- водная (от технической до дистиллированной воды);
- энергетическая (от активированных наночастиц до энергоносителей).

Принципиально, деструкция любого вещества может быть, осуществлена до составных химических элементов с последующей их сепарацией.

Товарный продукт в виде энергетической фракции представляют [108] активированные наночастицы типа $\{C_nH_m\}$ и $\{C\}$ с повышенной реакционной способностью, определяемой свободной энергией Гиббса. Энергопотенциал наночастиц может быть реализован непосредственно, либо преобразован в разнообразные УСЭ.

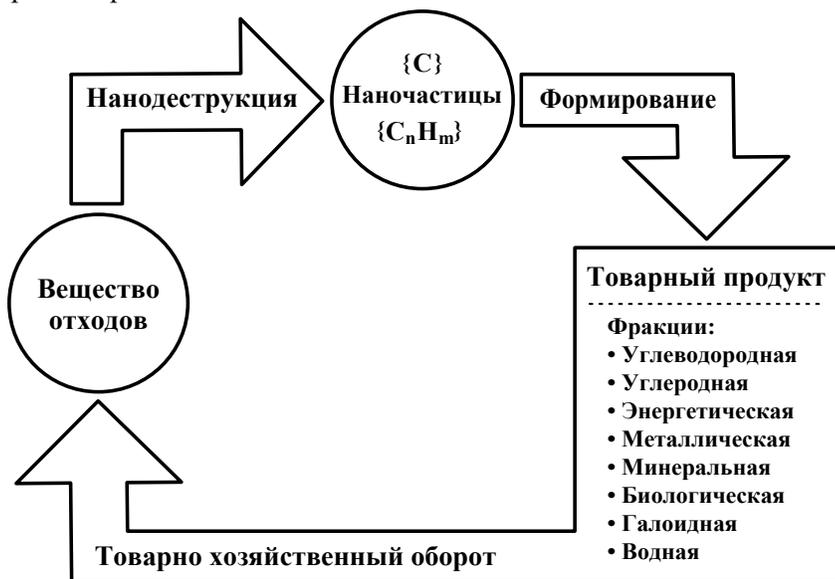


Рис. 5.1. Рециклинг нанодеструкцией

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Нанодеструкция со скоростью подъема температуры 10^3 - 10^5 град/с. обеспечивает [20] разложение практически одного соединения и исключает вторичный синтез. По сравнению с другими температурными методами переработки отходов [20], нанодеструкция единственно экобезопасна.

Данный подход предполагает разнообразные вариации УСЭ, то есть обладает универсальностью.

При таком подходе иные очертания (рис. 5.2) приобретает энергогенерация на основе экзотермического окисления УСЭ обеспечивающая экобезопасность.

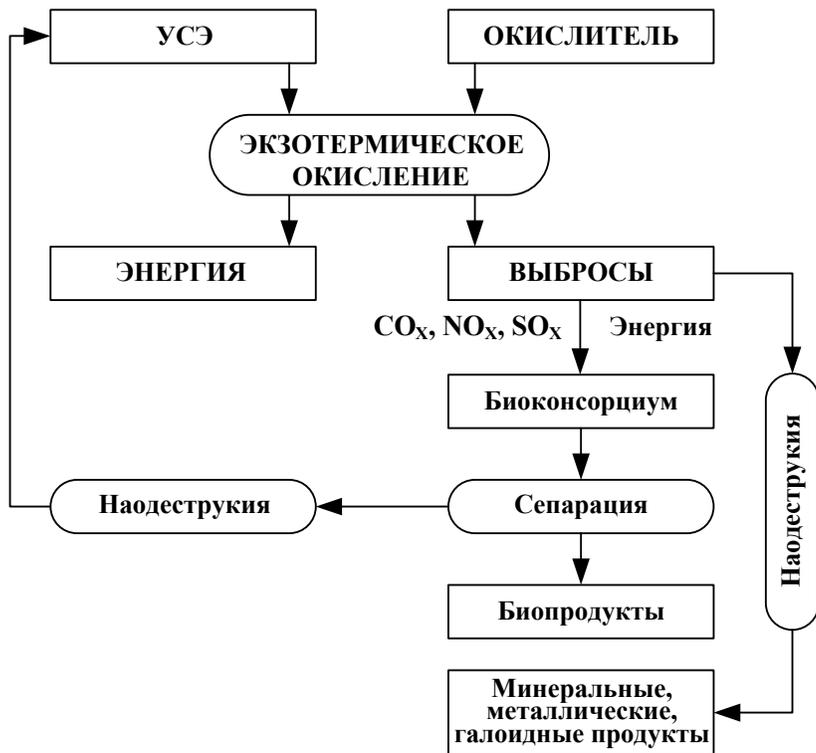


Рис. 5.2. Концептуальная схема энергогенерации экзотермическим окислением УСЭ на основе нанодеструкции

Способность биопродуктов трансформировать различные внешние воздействия (химические соединения, энергия и т.п.) на биосферу одна из фундаментальных основ (рис. 1.2) биогеохи-

мических циклов. В ходе самоорганизации биосистем, при структурном постоянстве строения клетки, достигнуто поразительное разнообразие клеточных форм, адаптированных к разнообразным трансформациям вещества на наноразмерном уровне. Фактически, клеточные формы с инженерной точки зрения представляют собой заводы по трансформации (по заданной программе) веществ на наноразмерном уровне. Объединение различных, наиболее эффективных в отношении выбросов биопродуцентов в биоконсорциум, позволяет оптимизировать трансформацию выбросов, сопутствующих энергогенерации на основе УСЭ нанодеструкцией в заданные продукты.

Трансформация образующегося при экзотермическом окислении УСЭ CO_2 нанодеструкцией [111, 112, 116] в товарный продукт может быть реализована, например (рис. 5.2) посредством биопродуцентов.

Так, усреднённое получение 1 т биомассы микроводорослей требует 1,5-2 т углекислого газа, ~ 0,5 т оксидов азота, ~ 0,14 т оксидов серы и других элементов. Состав образующейся биомассы определяется штаммами продуцентов и позволяет выделить высоколиквидные товарные продукты: ~ 10-20% биоактивных продуктов (провитамин - β -каротин), антиоксидант (астаксантин, жирные кислоты и т. п.). Остатки биомассы могут быть преобразованы в УСЭ и возвращены в (рис. 5.2) энергогенерацию экзотермическим окислением.

Состав биоконсорциума могут составить и археи. Уникально разнообразие химических реакций метаболизма в клетках архей, а также источников энергии. Эти реакции [166] классифицируются по группам питания в зависимости от источников энергии и углерода (таблица 5.1).

Метаболизм некоторых архей нетрадиционен и позволяет получать энергию – из неорганических соединений (таблица 1.2.), таких как сера или аммиак (литотрофы). К ним относятся нитрифицирующие археи [166], метаногены и анаэробные метаноокислители. В этих реакциях одно соединение отдаёт электроны другому (окислительно-восстановительные реакции), а выделяющаяся при этом энергия служит для осуществления различных клеточных процессов.

Типы питания архей			
Тип питания	Источник энергии	Источник углерода	Примеры
Фототрофы	Энергия $E(h\nu)$	Органические соединения	<i>Halobacteria</i>
Литотрофы	Неорганика	Органические соединения или фиксация углерода	<i>Ferroglobus</i> , <i>Methanobacteria</i> , <i>Pyrolobus</i>
Органотрофы	Органика	Органические соединения или фиксация углерода	<i>Pyrococcus</i> , <i>Sulfolobus</i> , <i>Methanosarcinales</i>

Археи фототрофы [159] используют электромагнитную энергию, в частности солнечный свет, но не образуют кислород в процессе фотосинтеза.

Некоторые эвриархеоты являются метаногенами. Биохимическая реакция этих организмов представляет собой окисление водорода с использованием углекислого газа в качестве акцептора электронов.

Археи используют и углекислый газ как источник углерода являясь автотрофами. Фиксация углерода осуществляется за счёт энергии, получаемой из неорганических соединений.

Все [126] известные виды архей не обладают фотосинтезом. Источники энергии, которые используют археи, чрезвычайно разнообразны [159], начиная от окисления аммиака до окисления сероводорода или элементарной серы. При этом в качестве акцепторов электронов используется [159] кислород или ионы металлов.

Фототрофные археи используют солнечный свет для получения химической энергии в виде АТФ.

Обнаруженные в районе Чернобыля и на борту МКС колонии [139] *Hormoconis resinae*, *Aspergillus versicolor* и *Cladosporium sphaerospermum* питаются радиацией, осуществляя радио-синтез, конвертирующий гамма-лучи в химическую энергию. Обнаруженные в 2003 г. *Thermococcus gammatolerans* выдерживают дозы до 30 000 Гр без потери жизнеспособности. Исследованиями установлены «съедаемые» дозы от 500 до 1000 Грэй в 200 раз выше допустимых для человека.

Безусловно формирование биоконсорциума посредством использования биокатализаторов в виде иммобилизованных микроорганизмов и ферментных препаратов, позволяет [52] получать целевые продукты в результате разнообразных многостадийных биохимических превращений исходных выбросов.

Интенсивные разработки биопродукторов ведут практически все ведущие энергетические и биологические компании. Компания Solazyme (USA) с Department of Biological Sciences and Biotechnology, Tsinghua University, PR China получили гетеротрофные штаммы микроводорослей, способные в темноте к усиленному синтезу липидов. По их данным *Chlorella protothecoides* (гетеротрофный штамм) образует до 54,7% липидов против 14,57%, образуемых автотрофным штаммом. Фирма SequesCO (США) сообщила, что использует не связанные с фотосинтезом биологические субстанции, способные продуцировать органическую массу, без освещения, со скоростью роста массы в 10 раз выше, чем у микроводорослей. Представленные результаты в разы, а по отдельным параметрам в десятки раз, повышают эффективность рассмотренных продуцентов.

Оставшаяся часть выбросов (рис. 5.2), посредством нанодеструкции, трансформируется в товарные продукты по соответствующим фракциям.

Таким образом, (рис. 5.2) возможно преобразование нанодеструкцией выбросов в товарные продукты. Более того углеродосодержащую составляющую выбросов можно вернуть в процесс энергогенерации как УСЭ. В конечном итоге представляется концептуальная возможность реализации экобезопасной энергогенерации на основе экзотермического окисления УСЭ.

5.8. Распределенная энергогенерация

Трансформация и концентрация энергии в рамках социума определяет динамику *направленной непрерывной самоорганизации вещества*, как единственной формы его существования.

Многочисленные оценки [72] динамики потребления энергии социумом (рис. 5.3.А) фиксировали постоянный рост ее потребления. Экспоненциальной динамике роста социума (рис. 5.3.Б) соответствовал и динамичный рост потребления энергии на индивидуума. Однако динамичный рост потребления

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

энергии на индивида в последние годы (рис. 5.3.Б) практически стабилизировался и исчез.

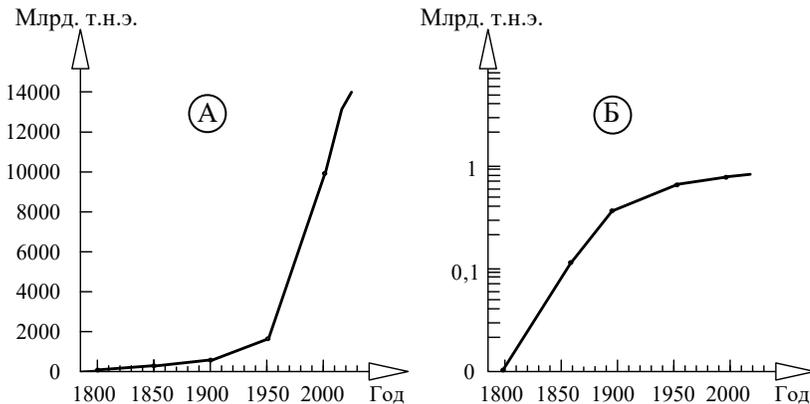


Рис. 5.3. Динамика мирового потребления энергии социумом (А) и индивидом (Б):

Исчезновение динамики роста трансформации энергии в расчете на индивида, вероятно, определяет тенденцию к стагнации социума. Снижение темпов прироста социума приведет к концу этого века [72] к прекращению его экспоненциального роста и снижению потребления энергии индивидом. Из чего следует, что уменьшение трансформации материи и энергии приводит к снижению динамики *направленной непрерывной самоорганизации вещества* в рамках социума. А поскольку это единственная форма существования социума, то и к его деградации.

Очевиден вопрос: существуют ли естественные ограничения процесса *направленной непрерывной самоорганизации вещества* в рамках социума или этот процесс безграничен.

С большой вероятностью динамика биологической *направленной непрерывной самоорганизации* вещества [134] глобально не зависит от социума. Следовательно, стагнация социума обусловлена антропогенными причинами: ограничением ресурсов, в первую очередь энергией и ее трансформацией в социуме посредством идеологем и структурных форм.

В настоящее время, рамки доминирующей рыночной парадигмы, монополизация энергоресурсов и энергогенерации, определяют их потребление социумом. Исходя из этого необхо-

димая динамика развития энергогенерации и энергоносителей в социуме входит в противоречие с извлечением из этого процесса прибыли монополиями. Таким образом, структурные формы социума, ограничивая доступность ресурсов в рамках рыночной парадигмы, формируют естественный конфликтный потенциал [32]. В итоге современные структурные формы социума не только препятствуют *направленной непрерывной самоорганизации вещества* в его рамках, но и приводят к его стагнации и глобальной дестабилизации [32, 53, 122] на грани катастрофы.

Это актуализирует появление структурных форм, отвечающих динамике процесса *направленной непрерывной самоорганизации вещества* в рамках социума.

В противовес монополизации [163] *естественно* возникновение автономных (независимых) энергоисточников, позволяющих им легко масштабироваться и самостоятельно коммутироваться между собой. Возникающая система самостоятельно организуется (самоорганизуется) в соответствии с энергопотоками социума, отвечающими процессу *направленной непрерывной самоорганизации вещества* в его рамках.

Включение в единую сеть разнообразных энергоисточников разной производительности нивелирует различия их параметров. Единая сеть объединяет территориально удаленные локальные сети и их кластеры. Отказ (сбой) отдельных энергоисточников или коммуникаций исключает прекращение работы системы. Коммутация не критична к спонтанности и может происходить в разном порядке (недетерминизм). Сеть формируется на принципах распределенного реестра (блокчейна), обеспечивающих независимость энергоисточников.

Поэтому естественное развитие распределенной энергогенерации [10, 160] демонополизует энергогенерацию за счет *быстрого роста распределенных автономных источников энергогенерации*. Эта тенденция органически включает и трансформации энергии любых природных факторов: излучения солнца, ветра, атмосферного электричества, движения воды, геотермальных процессов и т.п. Самоорганизация распределенной энергогенерации позволяет оптимально использовать разнообразные энергоресурсы в рамках социума.

Преимущества [10, 108, 160] распределенной автономной энергогенерации: небольшие капитальные затраты, быстрый ввод

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

в эксплуатацию, сравнительно простое обслуживание и экобезопасность. Отсутствие затрат на инфраструктуру и ее эксплуатацию: нет линий электропередач, подстанций, теплосетей и т.п. Близость энергогенерации и потребителей исключает инфраструктурные потери и повышает надежность энергообеспечения.

Несмотря на разнообразие энергоносителей, доминируют ископаемые УСЭ обладая наибольшим значениями EROEI.

Выбор УСЭ для энергогенерации определяют многочисленные факторы: способ экзотермического окисления, физико-механические свойства УСЭ, логистические параметры, экономические показатели и социально-политические. Автономная энергогенерация в первую очередь ориентирована на доступность местных УСЭ (растительные, торф и т.п.). Тенденция [108, 160] *стабилизации и сублимации энергопотенциала* местных УСЭ в разы повышает эффективность и экобезопасность энергогенерации, приводя к замене традиционных котельных и газообразных топлив.

Не умаляя значение традиционных УСЭ, местные энергоэффективные УСЭ, являются основой развития автономной энергогенерации. Однако, способствуя демонополизации, местные УСЭ в большей или меньшей степени несут «родовую печать» монополизации. Тем не менее, энергогенерация на основе местных энергоносителей приводит к *изменению баланса потребляемых энергоносителей демонополизировав энергогенерацию.*

Но и это далеко не все: существование и развитие социума обусловлено непрерывной трансформацией более 140 млн. (Chemical Abstracts Service, CAS на 2018 г.) доминирующих углеродосодержащих веществ. Теряющие свою целесообразность (экономическую, социальную и т.п.) углеродосодержащие вещества переходя в категорию отходы обладают [108, 109] энергопотенциалом.

Реализации энергопотенциала антропогенных отходов препятствует их фундаментальная системная многокомпонентность и физико-химическая неоднородность, приводящая к спонтанному вторичному синтезу. Экобезопасная энергогенерация на основе антропогенных отходов реализуется [20, 107, 109, 116] в соответствии с (рис. 5.1) моделью нанодеструкции.

В частности, природа твердых коммунальных отходов (ТКО) определяет их как *естественный локальный (местный) энергоноситель*, избавленный от «родовой печати» монополизации.

Сегодня энергопотенциал ТКО индивидуума [109] обеспечивает его бытовое энергопотребление и, соответственно, энергобезопасность, повышая в итоге устойчивость и экобезопасность (рис. 5.2) социума.

Но и это далеко не все. Оценка (рис. 1.3) EROI энергоресурса ТКО (1.1) превосходит необходимую границу эффективности не менее 15:1 для социума. Исходя из этого, энергоресурс ТКО обладает необходимым избытком энергии. Поэтому энергопотенциал только ТКО является необходимой и надежной базой не только для поддерживать современного уровня социума, но и для его развития.

Таким образом, совокупность местных УСЭ обеспечивает *демонополизацию энергогенерации*, как минимум, на бытовом уровне (до 60% первичного производства энергии).

Существующая [10] тенденция в социуме быстрого роста распределенных автономных источников энергогенерации приводит к демополизации энергогенерации. Венцом настоящей тенденции [160] является энергогенерация на основе нанодеструкции отходов, не только *изменяющая баланс потребляемых энергоносителей*, но и естественным образом *обеспечивающая независимое бытовое энергопотребление индивида в социуме*. В результате в социуме на уровне индивида образуется энерго-независимая саморегулируемая энергогенерация, являющаяся основой энергообеспеченности социума.

За счет минимизации противоречий между ресурсами и притязаниями на них, естественно *снижение конфликтного потенциала в социуме*. Более того, такой подход приводит [109] к *соответствующим изменениям инфраструктур социума, то есть его трансформации в новые формы*.

В итоге концепцию энергогенерации развития социума представляет: *«распределенная самоорганизуемая энергогенерация социума на основе автономной саморегулируемости и энергонезависимости индивида»*.

5.8.1. Инженерные решения энергогенерации на основе нанодеструкции

Проведённые теоретические, конструкторские, исследовательские [104, 106] работы и соответственно найденные [56, 113, 114, 115, 173] инженерные решения дают основания для успешного решения вопросов реализации нанодеструкцией энергопотенциала углеродосодержащих отходов, включая ТКО.

Рассмотрим варианты реализации энергогенерации на основе нанодеструкции различными известными инженерными решениями.

Паротурбинными генераторами (ТЭС), где химическая энергия энергетической фракции (2.1, 2.2) преобразуется в паровом котле в энергию водяного пара, приводящего в движение паровую турбину, соединенную с индукционным генератором. Механическая энергия вращения турбины преобразуется индукционным генератором в электрическую энергию.

КПД паровых турбин не превышает 40-45%. Однако, использование сопутствующей тепловой энергии по схемам когенерации или тригенерации повышает общий КПД процесса до 90%. В качестве преимущества отмечают возможность создания паровой турбины с частотой вращения, равной частоте вращения генератора. Это исключает трансмиссию и позволяет соединить их непосредственно друг с другом. Паровые турбины обладают равномерным ходом, что важно для получения постоянной частоты электрического тока.

Для адаптации ТЭС к предлагаемому энергоносителю необходимо создание соответствующей горелки парового котла.

Газотурбинными генераторами (ГТУ), где в камере сгорания под высоким давлением воздуха химическая энергия энергетической фракции (2.1, 2.2) преобразуется в кинетическую энергию газа, который с высокой скоростью поступает на рабочее колесо турбины и вращает его. Кинетическая энергия вращения, как правило, через редуктор, приводит в действие компрессор и индукционный электрический генератор.

С вхождением в широкую практику мощных полупроводниковых преобразователей напряжения (инверторов) и бесколлекторных генераторов большой мощности на постоянных магнитах стало оправданным создание ГТУ на мощность от нескольких

киловатт, обозначаемых термином «микротурбины». В такой установке отсутствует редуктор, а частота вращения турбины, в определённых пределах (до 50%) может изменяться в соответствии с изменением нагрузки и др. Соответствие вырабатываемого тока промышленным требованиям обеспечивается инвертором. Единственная движущаяся деталь, объединяющая колёса турбины, компрессора и ротор генератора – вал.

КПД газовых турбин 23-33%. Использование когенерации или тригенерации так же доводит общий КПД процесса до 90%. ГТУ отличаются высокой маневренностью и пригодны для обеспечения пиковых нагрузок в энергопотреблении.

Для адаптации ГТУ к рассматриваемому энергоносителю необходимо изменить конструкцию камеры сгорания.

Магнитогидродинамическим (МГД) генератором, где энергетическая фракция (2.1, 2.2) преобразуется в плазму с одновременным введением легкоионизируемой присадки (например, K_2CO_3). Кинетическая энергия электропроводящего потока плазмы, движущаяся в поперечном магнитном поле большой напряженности, преобразуется в электроэнергию постоянного тока (эффект Холла). Генерируемая электрическая мощность пропорциональна проводимости рабочего тела, квадрату его скорости и квадрату напряжённости магнитного поля. При необходимости постоянный ток преобразуется инвертором в соответствии требованиям потребителя.

Считаются перспективными МГД-генераторы закрытого цикла с жидкометаллическим рабочим телом (Li - K) с электропроводностью в 10000 раз больше, чем у плазмы, и работающим при более низких температурах. Разрабатываются также МГД-генераторы с двухфазным рабочим телом. В этом случае в канале МГД-генератора движется двухфазный поток с равномерно распределёнными по сечению жидкой и газовой фазами (натрий-гелий, натрий-аргон), обладающий высокой электропроводностью. Основные рабочие параметры МГД-генераторов: начальная температура рабочего тела 1500-3000°C; скорость потока рабочего тела сверхзвуковая 1000-2000 м/с. Отсутствие движущихся деталей в МГД-генераторах обуславливает их высокую надёжность. Низкая материалоемкость и незначительные габариты на единицу генерируемой мощности так же являются их отличительной особенностью.

МГД генераторы обладают высоким КПД до 45%. МГД-генераторы отличаются высокой маневренностью т.е. адаптацией к внешним нагрузкам. Созданы и эксплуатируются МГД - генераторы от нескольких Вт до 50 МВт.

Высокую эффективность показала комбинация магнито-гидродинамической ступени с котельным агрегатом. В этом случае горячие газы, прошедшие через МГД-генератор используются для парообразования в ТЭС. Общий КПД таких электрогенераторов достигает 65%.

Для адаптации МГД-генераторов к рассматриваемому энергоносителю необходимо изменение конструкции плазмотрона.

Электрохимическим генератором (ЭХГ), где происходит прямое преобразование энергии наночастиц $\{C_n H_m\}$ и $\{C\}$ в электричество. Электрическая энергия образуется в топливных элементах (ТЭ) ЭХГ благодаря химическим реакциям (ионного обмена) между восстановителем (топливо) и окислителем, которые непрерывно поступают к электродам. Электроды ТЭ при работе не расходуются, на катоде восстанавливается окислитель, на аноде окисляется восстановитель. Для ускорения процессов окисления и восстановления применяют каталитические активные электроды с высокоразвитой поверхностью. Ионным проводником в ТЭ служат либо водные растворы щелочей и кислот, либо расплавленные или твердые электролиты.

В настоящее время разработаны и эксплуатируются ЭХГ использующие природные углеводороды и уголь. Пока их непосредственное использование в ТЭ невозможно, так как скорость их анодного окисления недостаточна для протекания процесса. Поэтому они предварительно подвергаются переработке с целью получения водорода или смеси водорода с другими газами. Продукты переработки углеводородов и/или угля подаются в среднетемпературный или высокотемпературный ЭХГ-генератор. Среднетемпературный ЭХГ имеет воздушно-водородный ТЭ с фосфорнокислым электролитом, работающий при 200°C. В высокотемпературных ЭХГ применяются ТЭ либо с расплавленным, либо с твердым электролитом. Расплавленный электролит состоит из смеси карбонатов натрия, лития и калия. Элемент с таким электролитом работает при 600-700°C. Твердым электролитом ТЭ служит смесь диоксида циркония ZrO_2 и триоксида иттрия Y_2O_3 . Элементы работают при 1000°C.

ЭХГ на углеводородах представляет собой совокупность батарей ТЭ, образующих анодную и катодную камеры с устройствами подачи реагентов и устройства отвода продуктов реакции и тепла, блока аппаратов для обработки углеводородов и инвертора, преобразующего постоянный ток в соответствие требованиям потребителя.

Созданы и испытаны установки мощностью от нескольких Вт до 11 МВт, работающие на природных углеводородах. Характерной особенностью ЭХГ - генераторов является отсутствие движущихся частей и очень высокая надёжность. Отличительной особенностью ЭХГ является уникальная маневренность т.е. выходные параметры ЭХГ могут фактически соответствовать динамике внешней нагрузки.

Теоретический КПД электрохимического процесса преобразования химической энергии угля в электрическую энергию, определённый В. Нернстом в 1983 г. составил 99,75%. Современные ЭХГ обладают уникально высоким КПД доходящим до 65%. Кроме электроэнергии ЭХГ производят теплоту, которая, может быть, использована для генерации пара или для генерации электроэнергии в паровых или газовых турбинах. При этом суммарный КПД таких установок с учетом теплофикации достигает 90%.

Следует особо отметить, что (рис. 5.2) энергетическая фракция ТКО в виде активированных наночастиц типа $\{C_nH_m\}$ и $\{C\}$ является идеальным топливом для ЭХГ.

Рассмотренные варианты реализации процесса на основе различных инженерных решений не содержат экономический анализ. Однако приведённые инженерные решения являются основой современной энергетики и соответственно являются условно постоянной величиной в анализе и не влияют на выводы. Необходимые же инженерные решения для их адаптации незначительны и не окажут заметного влияния на их себестоимость. Более того, как было показано [106, 112], проекты на основе нанодеструкции отходов в товарные продукты обладают высокой экономической эффективностью.

5.8.2. Трансформация социума распределенной энергогенерацией

Распределенная самоорганизуемая энергогенерация система на основе энергонезависимости и саморегулируемости индивида неизбежно приводит к трансформации социума в соответствии с новыми энергопотоками.

Антропогенное вовлечение энергопотенциала углеродосодержащих отходов, включая ТКОБ обеспечивает полностью независимое бытовое энергопотребление индивида в социуме. Наряду с традиционными энергоисточниками, энергопотенциал производимых индивидом углеродосодержащих отходов на бытовом уровне является определяющим.

Вовлечение энергопотенциала отходов (включая ТКО) индивидом в свое энергообеспечение пропорционально влияет как на его функционирование, так и на его динамику. Увеличение отходов приводит к увеличению энергопотенциала у индивида и, соответственно, к увеличению его энергопотребления. Росту отходов противодействует рост энергопотребления индивида, то есть образуется обратная связь. Возникающая отрицательная обратная связь обеспечивает устойчивость индивида, как саморегулируемой ячейки социума. Это минимизирует влияние флуктуаций внешних параметров на индивида.

Следующий уровень самоорганизации социума на основе распределенной энергогенерации представляет коммутация в единую сеть разнообразных энергоисточников. Коммутация энергоисточников в сеть на основе принципов «блокчейна» обеспечивает их независимость и исключает прекращение работы системы.

Очевидно, что источники углеродосодержащих отходов естественным образом распределены в социуме и, соответственно, распределено право собственности на них. Более того, это справедливо и не оспоримо на уровне элементарной ячейки социума – индивидуума. Поэтому построение распределённой системы энергогенерации естественным образом разрушает монополизацию современной энергогенерации.

Демонополизация энергогенерации так же естественным образом снижает конфликтный потенциал в социуме. Конфликтный потенциал в социуме снижается как в отношении утилизации

отходов (ТКО), так и в притязаниях на энергоресурсы. В результате исчезает диктат условий энергопотребления и происходит деидеологизация энергогенерации. Таким образом, снимается одно из антропогенных ограничений развития социума.

Вероятно и сокращение потребности в традиционных энергоносителях (уголь, нефть, торф и т.п.). Сокращение их добычи соответственно сокращает и негативные воздействия на биосферу.

Минимизируется негативное влияния на биосферу углеродосодержащих отходов (включая ТКО) благодаря возврату управления над ними.

Локализация процессов энергогенерации приводит к естественным кардинальным изменениям материальных и энергетических потоков в социуме.

Исходя из этого распределенная система энергогенерации соответственно изменяет инфраструктуры социума, трансформируя его в новые формы. Это в свою очередь приводит и к изменениям правовой базы социума. Фиксируются фундаментальные изменения прав собственности и инфраструктур в энергогенерации, энергопотреблении и обороте углеродосодержащих веществ.

В свою очередь распределенная система энергогенерации кардинально минимизирует перевод энергогенерации в область различных спекуляций и политических манипуляций. Соответственно снижается и соблазнительность этого инструмента конкуренции и международного давления, то есть манипуляций в социуме. Поэтому распределенная система энергогенерации неизбежно и кардинально снижает международный конфликтный потенциал, уводя социум от катастрофы.

ИТОГИ 5 ГЛАВЫ

Природные факторы, инициируемые первичной энергией нашей планеты, представляют потенциальные энергоисточники: солнце, ветер, атмосферное электричество, движения воды, геотермальные, биоэнергетика и т.п. Практически все потоки энергии, адсорбирующие солнечную энергию, возобновляемы. Поэтому общий теоретический потенциал, отнесенный ко всем возобновляемым источникам энергии, условно приравнивается к потенциалу солнечной энергии.

Реализация социумом технического потенциала солнечной энергии на современном уровне крайне неэффективна (практически убыточна) и поддерживается за счет дотаций и преференций. Фатальна зависимость солнечной энергетика от метеоусловий (влажности, температуры, осадки и т. п.).

EROEI солнечной энергетика оценивается 0,82-1,9.

Неравномерная абсорбция первичной энергии атмосферой конвекцией и фазовыми переходами жидкостей, в совокупности с кинематикой орбитального движения и вращения Земли формируют: ветры, циклоны и т.п. Частично «энергия ветров» рассеивается водной поверхностью (волны) и мелкодисперсными поверхностями («песчаные» бури). Ветроэнергетика, отбирает кинетическую энергию атмосферы. Это естественно изменяет термодинамику процессов в атмосфере и изменяет локальные и даже глобальные климатические условия. Фатальна зависимость ветроэнергетика от метеоусловий (скорости ветра, влажности, температуры, осадки и т. п.).

Оценка технического потенциала ветроэнергетика примерно в 7 раз выше всего производства электроэнергии в России. В РФ площадь, возможного размещения ветроустановок оценивается около 2% всей территории страны. EROEI ветроэнергетика оценивается 18.

Использованию оставшегося мирового потенциала гидроэнергетика препятствуют деградация биосферы и рост потенциала социальных конфликтов из-за водного ресурса, что сокращает доступный объем гидроресурса. Технический потенциал гидроэнергетика определяется как технически осваиваемая часть валового потенциала. Технический потенциал малых рек России

оценивается около 35%-45% всей производимой электроэнергии РФ. Целесообразность приливной энергогенерации крайне ограничена территориально и деградацией биосферы. EROEI гидроэнергетики, без учета инфраструктурных затрат, оценивается 11-267.

Основа атомной энергетики ископаемый природный ресурс – изотоп урана с массой ^{235}U . Его содержание в природном уране составляет всего не более 0,7%, время истощения его запасов оценивается в менее, чем 50 лет. Превращение в ядерное топливо и основного изотопа урана ^{238}U , повысит степень использования природного урана до 80 раз посредством крайне дорогостоящих и сложных реакторов-размножителей (бридеры). Однако и это не делает атомную энергетику долговременным надежным источником энергии для социума. Энергогенерация на основе термоядерного синтеза в обозримом будущем вряд ли будет реализована. А пагубное тепловое влияние на биосферу любых видов атомной энергогенерации ровно такое же, как от ТЭС и АЭС. Перспективы атомной энергетики ограничивает ее катастрофическая потенциальная опасность и низкий EROIE 5-15.

Водород не является первичным энергоресурсом и пока неэффективен. До 95% водорода производится паровой конверсией природного газа. Получение водорода электролизом воды абсолютно нерентабельно и в промышленных масштабах не применяется. Полная энергетическая эффективность водорода значительно ниже других источников энергии, а полная эмиссия вредных веществ в атмосферу с учетом процессов его получения – значительно выше.

Водород могут производить биопродуценты содержащие гидрогеназу. Есть надежды на преобразование возобновляемых сероводородных ресурсов нанодеструкцией, например, в замкнутых водоёмах Чёрного моря, Каспия и др., и на перспективы «микробной электролизной ячейки на обратном электродиализе» (microbial reverse-electrodialysis electrolysis cell – MREC).

В настоящее время, водородное топливо может способствовать локальному снижению эмиссии вредных выбросов, например, в крупных городских агломерациях.

Наиболее вероятно, подавляющая часть эндогенной геотермальной энергии нашей планеты генерируется внутри планеты термоядерными реакциями туннелирования по механизмам

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

Б.Я. Зельдовича и Ванг Хонг-Цханга. Запасы геотермальной энергии оцениваются как «практически неисчерпаемые».

Концептуально представляется возможность реализации нанодеструкцией экобезопасной энергогенерации на основе экзотермического окисления УСЭ.

Найденные инженерные решения дают основания для успешного решения вопросов реализации нанодеструкцией энергopotенциала углеродосодержащих отходов, включая ТКО.

На основании этого предложена концепция *«распределенной самоорганизующейся энергогенерации социума на основе автономной саморегулируемости и энергонезависимости индивида»*.

Распределенная самоорганизующаяся энергогенерация на основе энергонезависимости и саморегулируемости индивида неизбежно приводит к трансформации социума в новые формы в соответствии с новыми энергопотоками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трансформация первичной энергии эндогенным веществом Земли цепной самоорганизацией формирует устойчивые пространственно-временные формы. Именно эти процессы сформировали все элементы геосферы и биосферы, включая биологический вид *Homo sapiens*. Трансформация энергии социализированным видом *Homo sapiens* в рамках социума выделилась в цепной процесс *непрерывной самоорганизации вещества с собственным направлением*.

Процессы самоорганизации в рамках социума трансформируют энергию, генерируемую на основе вовлекаемых ресурсов. Концентрация генерируемой энергии интенсифицирует цепные процессы направленной непрерывной самоорганизации в социуме. Таким образом, формы и развитие социума определяет энергогенерация.

Развитие социума возможно исключительно при энергогенерации с очень высоким $EROI > 100$, либо очень большим количеством источников с $EROI$ не менее 15:1. Как показывает анализ, энергоресурсы нашей планеты далеко не освоены. Однако волюнтаризм в их использовании приводит, в том числе и к катастрофическим последствиям. Это актуализирует рациональность использования энергоресурсов. При таком подходе в обозримом будущем цепному процессу непрерывной самоорганизации вещества с собственным направлением в рамках социума энергетический голод не грозит.

Не секрет, что в рамках рыночной парадигмы вопиюще растет конфликтное противоречие между энергоресурсами и притязаниями на них. В итоге этот конфликтный потенциал приводит не только к стагнации и деградации, но и к глобальной дестабилизации социума на грани катастрофы. Из чего следует, что даже *наличие* более чем достаточных *энергоресурсов*

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

не обеспечивает существование и развитие социума. Исходя из этого логично следует главное необходимое и достаточное условие существования социума: *доступность энергоресурсов и соответственно энергогенерации индивиду*. Поэтому необходима объективная оценка энергоресурсов на их доступность. Что может быть реализовано разработкой показателя аналогичного EROI.

Но и это еще не всё. Безопасность энергоресурса и энергогенерации на его основе в равной степени актуальна для существования социума и биосферы. Безопасность энергоресурса и энергогенерации обусловлена как их негативным влиянием на социум и биосферу, так и их надежностью. В результате возникает необходимость создания и объективного показателя безопасности энергоресурса и энергогенерации для социума и биосферы.

Таким образом, энергогенерация характеризуется как минимум тремя необходимыми показателями, соответственно определяющими уровень ее востребованности социумом: «Энерго-эффективность», «Доступность», «Безопасность». Поэтому формализация данных показателей в виде единой функциональной зависимости позволит с помощью современного математического аппарата определить как оптимальный баланс энергоресурсов, так и соответственно значения эффективности энергогенерации в конкретных условиях.

Оценка и прогнозирование эффективности реальной энергогенерации, осуществима дедукцией как следствие из конечного множества аксиом (эмпирических закономерностей, гипотез, идеализаций, упрощений и т.п.). Формализация эффективности энергогенерации математическим моделированием устанавливает связи между различными ее объектами, природа которых определяется принадлежностью к определенным алгебраическим системам и/или пространствам. Пространство, задаваемое множеством объектов в виде элементов или точек (функциями, геометрическими фигурами, физическими состояниями и т.п.), отношения между которыми вводятся аксиоматически, могут определять геометрию пространств энергогенерации в социуме.

Количественные параметрические оценки эффективности энергогенерации оптимизируют решение научных и инженерных задач энергогенерации. В конечном же итоге такой подход позволит формировать наиболее эффективную энергогенерацию не только в конкретных условиях, но и в конкретных промежутках времени.

Распределенная энергогенерация есть не что иное как перераспределение энергопотоков в пользу *независимой* энергогенерации индивида. Исходя из этого логично предположить, что и цепной процесс непрерывной самоорганизации вещества в социуме с собственным направлением существенно *смещается в сторону индивида*. Но в таком случае следующий логичный шаг предполагает формирование устойчивых пространственно-временных формы на уровне индивида. Таким образом, независимая энергогенерация индивида, интегрированная с современными технологиями, естественным образом предполагает и трансформацию им вещества, для начала в утилитарных бытовых формах.

Современные технологические решения и оборудование обозначили устойчивую тенденцию резкой минимизации участия в производстве индивида. Индивид физически не может производить продукт точнее, быстрее и разнообразнее оборудования с ЧПУ и тем более собирать молекулы. Это нивелирует зависимость производств от их объемов, смещая их эффективность в сторону индивидуальности, то есть большей вариативности преобразования вещества.

Характерным трендом этих процессов является смещение «центра тяжести» производств в информационную и интеллектуальную области (программирование, дизайн и т.п.) с резкого сокращения прямых производственных трудозатрат. Собственно эта тенденция ускоряет целенаправленную трансформацию энергии и вещества в социуме, перенося процесс в менее инерционную область его бытия.

Стремительный технологический прорыв 3D аддитивной (послойного наращивания и синтеза объектов) печати происходит во всех производственных областях: машиностроении, строительстве, легкой, пищевой и медицинской промышленности и др. Это позволяет оптимизировать трансформацию разнообразных энергопотоков в пространстве соответствующим оптимальным распределением вещества в пространстве. Современные инженерные решения реализуются 3D «наносборкой» молекул, включая 3D-биопринтинг объёмных биологических конструкций на клеточной основе послойной генерацией трёхмерных структур биологических тканей (включая молекулярную самосборку).

В то же время, модель нанодеструкции (рис. 5.1), позволяет

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

«разбирать» вещество на наночастицы (энергетически более целесообразно) и молекулы, а затем собирать из них заданный продукт.

Собственно, нет никаких принципиальных препятствий реализации индивидом на бытовом уровне целевого преобразование вещества на основе собственной независимой энергогенерации. Образный пример: разложили устаревшую обувь и напечатали инновационную персональную (например, по некоей программе). Из этого следует, что распределенная независимая энергогенерация на основе индивида перераспределяя энергопоток существенно смещает и процессы формирования устойчивых форм вещества на его уровень.

Минимизация участия в производстве индивида и дальнейшая физическая невозможность его участия в наноразмерном производстве исключает его из процесса формирования экономических эквивалентов. Из этого следует, что большая часть социума отстраняется от обладания и распределения экономических эквивалентов. Соответственно и производство лишается поступлений экономических эквивалентов (обеспеченной реализации), определяющих его существование.

Нетрудно видеть, что это разрушает обмен в социуме экономическими эквивалентами, то есть нивелирует основу рыночной парадигмы.

Таким образом, рыночная парадигма с большой вероятностью завершается с реализацией концепций экобезопасной и распределенной энергогенерации в социуме. Это, в свою очередь приводит к неминуемым тектоническим изменениям в социуме и трансформации «фактор справедливости» Р. Хьюсмана и Дж. Хэтфилда отражением новых закономерностей энергобалансов.

Естественен вопрос, насколько достоверен рассмотренный сценарий. Безусловно необходимо более фундаментальное, более детальное и глубокое исследование выявленных тенденций в самоорганизации социума. И самое главное, прогнозирование результатов этих тектонических трансформаций социума в новые формы позволит согласовывать с ними регуляторные антропогенные воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапов Н.Б. Езда на биотопливе // Изобретатель и рационализатор. – 2011. - № 2. – С.17-18.
2. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб, 1999. – 628 с.
3. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: анализ и оценка. М.: ИКЦ «Академкнига». – 2005. – 118 с.
4. Арутюнов В. С. Нефть XXI. Мифы и реальность альтернативной энергетики. М.: «Алгоритм», 2016. – 208 с.
5. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микрокристаллическая целлюлоза: структура, свойства, получение и области применения (обзор)// Химия растительного сырья. – 2013. – №3. – С.33-41.
6. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа. – 1991. – 376 с.
7. Байбуз В.Ф., Гладышев Г.П., Зацман В.Ю. и др. Образование бенз(а)пирена в котельных установках. Экологические проблемы малой энергетики// препринт №3 – 408. – М.: Объединённый ИВТАН. – 1997. – 62 с.
8. Барабой В.А., Киричинский Б.Р. Ядерные излучения и жизнь. М.: Наука, 1972.– 232 с.
9. Басова Е.М., Иванов В.М. Современное состояние ВЭЖХ ПАУ // Вестник московского университета. – 2011. – Серия 2., Химия. Т. 52. – №3. – С. 163-174.
10. Батенин В.М., Зайченко В.М., Леонтьев А.И., Чернявский А.А. Концепция развития распределенной энергетики в России// Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2017. – № 1. – С. 3-18.
11. Бах А.Н. Собрание трудов по химии и биохимии: сборник научных трудов / отв. ред. Опарин А.И., Фрумкин А.Н.; Акад. наук СССР. – М.: АН СССР, 1950. – 647 с.

12. Безруких П.П., Дегтярев В.В., Елистратов В.В., Панцхава Е.С., Петров Э.С., Пузаков В.Н., Сидоренко Г.И., Тарнижевский Б.В., Шпак А.А., Ямпольский А.А. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. Показатели по территориям. Москва: ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с.
13. Беляев А.Ф. О горении взрывчатых веществ // Журнал физической химии. — 1938. — Т. 12, № 1. — 93-99 с.
14. Беляев С.В., Давыдков Г.А. Проблемы и перспективы применения газомоторных топлив на транспорте // Resources and Technology. – 2010. Т. 8. – № 8. – 13-16 с.
15. Беляков В.П. Криогенная техника и технология. М.: Энергоиздат, 1982. – 272 с.
16. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. / отв. ред. Замаев К.И. – АН СССР, Сиб. отд-ние, ин-т катализа. М.: Наука, 1988. – 303 с.
17. Борисенков Е.П. Состояние и современные проблемы энергетики атмосферных процессов // Проблемы современной гидрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат. – 1977. – С. 123-144.
18. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. М.: Химия, 1980. – 296 с.
19. Вайнштейн Э.Ф. Переработка биомассы и бедных органических полезных ископаемых высокоскоростным пиролизом// Вестник научно-технического развития «ВНТР». Национальная Технологическая Группа. – 2007.– №1. – С. 4-11.
20. Вайнштейн Э.Ф., Шаповалов А.Б. Высокоскоростной пиролиз как метод получения наноразмерных частиц // Экология промышленного производства. – 2010. – № 3. – С.47-50.
21. Васильев А.В. Шум как фактор экологического риска в условиях урбанизированных территорий// NOISE Theory and Practice. – 2015. Т.1.– № 2.– 27-40 с.
22. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. – 520 с.
23. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Гос. науч.-техн. горно-геол.-нефт. изд-во, 1934. – 380 с.
24. Вернигорова В.Н., Макридин Н.И., Соколова Ю.А., Максимова И.Н. Химия загрязняющих веществ и экология: монография. – М.: Издательство «Палеотип», 2005. – 240 с.

25. Вихров С.П., Холомина Т.А., Гривенная Н.В. Взаимодействие естественных и искусственных полей и излучений с биологическими объектами. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 308 с.
26. Власов А.Д., Мурин Б.П. Единицы физических величин в науке и технике. М.: Энегатоиздат, 1990. – 176с.
27. Вознесенский А.Н. Энергетические ресурсы СССР. М.: «Наука», 1967. – С.598.
28. Воробьев А.Е., Чекушина Е.В., Разоренов Ю.И. Экспертная оценка современных мировых запасов аквальных залежей газогидратов// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2012 (6). – 104-106 с.
29. Гембицкий Е.В., Богданов Н.А., Сафронов В.А. Острые и хронические профессиональные отравления азотной кислотой и окислами азота. – Л.: Медицина, 1974. – С.158.
30. Гесс Г.И. Термохимические исследования. М.: Изд-во АН СССР, 1958. – С.128.
31. Голоскоков А.Н. Критерии сравнения эффективности традиционных и альтернативных энергоресурсов// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011 – № 1 –С. 285-299.
32. Графкина М.В., Свиридова Е.Ю. Риск-анализ электромагнитной безопасности урбанизированных территорий // Экология урбанизированных территорий. – 2019. – № 2. – С. 11-17.
33. Дарендорф Р. Элементы теории социального конфликта// Социологические исследования. РАН. – 1994. – № 5. – С. 142-147.
34. Дворник А.А., Дворник А.М. Радиационная опасность продуктов сгорания горючих компонентов лесных фитоценозов// Экологический вестник. Минск: ЗАО «Оргстрой». –2015.– № 1. – С.31-36.
35. Елекеев М.А., Барвиков А.В., Естемесов З.А. Особенности выбросов углекислого газа и потребление кислорода при сжигании различных видов топлива // Вестн. Казах. нац. техн. ун-та. – 2009. – № 3. – С. 36-39.
36. Зельдович Я.Б. К теории горения порохов и взрывчатых веществ // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1942. – Т. 12, № – С.1498-524.

37. Зельдович Я.Б. К теории распространения детонации в газообразных системах // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1940. – Т. 10, вып. 5. – 542-568 с.
38. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. – М.-Л.: Издательство АН СССР, 1947. – 148 с.
39. Зельдович Я.Б., Франк-Каменецкий Д.А. Теория теплового распространения пламени // Журнал физической химии. – 1938. – Т. 12. – № 1. – С. 100-105.
40. Зельдович Я.Б., Харитон Ю.Б. Кинетика цепного распада урана// ЖЭТФ. – 1940. – Т. 10 (5). – С. 477-482.
41. Зуев В.П., Михайлов В.В. Производство сажи. М.: «Химия», 1956 г. – С.328.
42. Ившин В.П., Полушин Р.В. Диоксины и диоксиноподобные соединения. Пути образования, свойства, способы деструкции. Йошкар-Ола: Изд-во Мар.ГУ, 2005. – 320 с.
43. Изаков М.Н. Самоорганизация и информация на планетах и в экосистемах // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167, № 10. – С. 1087-1094.
44. Ильиных Г.В., Борисов Д.Л., Куликова Ю.В., Коротаев В.Н. Оптико – механическая сортировка отходов: перспективы использования// Твердые бытовые отходы. – 2013. – №10. – С.35-39.
45. Капица П.Л. Энергия и физика. – УФН, 1976. – Т. 118. – № 2. – С. 307-340.
46. Катин В.Д. Обеспечение шумобезопасности горелочных устройств нефтезаводских печей / Справочное пособие / Катин В.Д., Мамот Б.А., Балюк А.А. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2005. – С.56.
47. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. 2-е изд., М., Химия, 1984. – С.512.
48. Кизильштейн Л.Я. Геохимия и термохимия углей. Ростов н/Д: Изд-во Рост, ун-та, 2006. – С.288.
49. Киреев А.В. Краткий курс физической химии. М.: Госхимиздат, 1963. – С.648.
50. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. 5-е изд., пере- раб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1999. – С.352.

51. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. М.: Энергоатомиздат, 1987. – С.144.
52. Крякунова Е.В., Канарский А.В. Применение иммобилизованных микроорганизмов и ферментов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 22. – С.101-105.
53. Куценко С.А. Основы токсикологии. СПб.: Фолиант, 2004 г. – 715 с.
54. Лазарев Г.Е. Экологические аспекты устойчивого развития // Устойчивое развитие: общество, экология, экономика. Материалы XV международной научной конференции; в 2-х ч. / под ред. Семенова А.В., Мальшева Н.Г., Руденко Ю.С. – М.: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2019. Ч.1.– 748с. – С.97-105.
55. Лазарев Г.Е., Шаповалов А.Б. Образование доминирующих выбросов при энергогенерации// Экологические и природоохранные проблемы современного общества и пути их решения. Материалы XIII международной научной конференции; в 2-х ч. / под ред. Семенова А.В., Мальшева Н.Г., Руденко Ю.С. – М.: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2017. Ч.1.– 504с. – С.53-66.
56. Лазарев Г.Е., Шаповалов А.Б., Семенов А.В., Парфенова М.Я./ Устройство для переработки гетерогенных армированных полимерных отходов. Патент № 192978 РФ. МПК C10G 1/10, C10J 3/02. Заявка №2019104335/05 от 15.02.2019. Оpubл. 08.10.2019. Бюл. № 28.
57. Лapidус А.Л., Голубева И.А., Жагфаров Ф.Г. Газохимия. – М: ЦентрЛит-НефтеГаз, 2008. – С. 450.
58. Ларин И.К., Кусков М.Л. Механизмы разрушения стратосферного озона. О цепных процессах в стратосфере// Химическая физика. – 2013, том 32. – № 8. – С. 76-80.
59. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений. – 2001. Т. 43. – № 4. – С. 291-308.
60. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа. М.: Недра, 1989. – С.304.
61. Ломоносов М. В. Труды по физике и химии 1747-1752 гг. М.-Л.: Изд. АН СССР, Т.2. – 1951. – С.728.
62. Марченко М.Е., Пермяков А.Б. Современные системы шумоглушения при сбросах больших потоков пара в атмосферу // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 34-37.

63. Менделеев Д.И. Основы фабрично-заводской промышленности. Вып. 1. Санкт-Петербург: Тип. В. Демакова, 1897. – С.201.
64. Мирошниченко Л.И. Физика Солнца и солнечно-земных связей // Под ред. Панасюка М.И./ – М.: Университетская книга, 2011. – С.174.
65. Михельсон В.А. О нормальной скорости воспламенения гремучих газовых смесей // Собр. соч. М.: Новый агроном. – 1930. – Т. 1. – С.112-132.
66. Некрасов А.В. Энергия океанских приливов. Л.: Гидрометеоздат, 1990. – С.287.
67. Общая органическая химия. /Под ред. Бартона Д. и Оллиса У.Д. Липиды Т.П., углеводы, макромолекулы, биосинтез. /Под ред. Хаслама Е., – Пер. с англ./Под ред. Кочеткова Н.К. – М.: Химия, 1986. – С.736.
68. Одинаев Ф.И., Одинаев Ш.Ф., Шафиев Ш.И., Шутова С.В. Электромагнитные излучения и здоровье человека//Вестник ТГУ, т.20, вып.6. – 2015. – С.1714-1717.
69. Островский В.С., Виргильев В.И. Искусственный графит. – М.: Металлургия, 1986. – С.169.
70. Отчет НИР «Научно-технические основы термической утилизации твёрдых бытовых отходов» (краткий реферат заключительного отчета НИР), КФ ВНИИСтром, 2002. С.9.
71. Панцхава. Е.С. Мир и Россия. Биогаз: теория и практика. – М.: Русайнс, 2014. С.972.
72. Петин В.Г., Белкина С.В. Термодинамические аспекты устойчивости биосферы и глобальные экологические проблемы// Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2012. – Т. 4. – № 1. – С.8-15.
73. Печуркин Н.С. Энергия и жизнь. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. – С.190.
74. Плазменная Гелиогеофизика / Под ред. Зеленского Л.М., Веселовского И.С./ М.: Физматлит, 2008, Т.2. – С.560.
75. Плакиткина Л.С. Плакиткин Ю.А. Дьяченко К.И. Мировые тенденции развития угольной отрасли// Горная промышленность. – 2019. –№1. – С.24-29.
76. Протасов В.Ф., Матвеев А.С. Экология: Термины и понятия. Стандарты, сертификация. Нормативы и показатели. М.:

-
- Финансы и статистика. – 2001. – С.208.
77. Пугачева А.А., Разина Г.Н. Плазмохимическая переработка углеродсодержащих соединений// Успехи в химии и химической технологии. – 2008. –22(6). – С.65-70.
78. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С.224.
79. Росляков П.В. Расчёт образования топливных оксидов азота при сжигании азотосодержащих топлив // Теплоэнергетика. – 1986. – № 1. – С.37-41.
80. Рубин А.Б. Биофизика. Т. 2. Биофизика клеточных процессов. Университет «Книжный дом». – М.: – 2000. – С.467.
81. Русанов А.И., Шульц М.М. О сокращённом принципе Ле Шателье–Брауна // Вестн. ЛГУ. – 1960. Сер. 4. Физика, химия Вып. 1. – С.60-65.
82. Слепян Э.И. Трансформирующие элементы и соединения в биосфере и растениях//В кн.: Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияние на биосферу. Л.: Гидрометеиздат, 1979. – С.54-58.
83. Сарыглар Ч.А., Чысыма Р.Б. Биотехнологических методы переработки углей: направления и перспективы // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 12-1. – С.186-191.
84. Сафарова В. И., Хатмуллина Р.М, Кудашева Ф. Х., Фатьянова А.Д., Шихова Л.К, Китаева М.И., Шайдулина Г.Ф. Загрязнение бенз(а)пиреном объектов окружающей среды на территории республики Башкортостан // Экологическая химия. – 2002.– Том 11.– №1. – С.54-59.
85. Семёнов Н. Н. Тепловая теория горения и взрывов (окончание)// Успехи физических наук. – АН СССР. – 1940. Т. XXIV, вып. 4. – № 8. – С.433-486.
86. Семёнов Н.Н. Тепловая теория горения и взрывов // Успехи физических наук. –АН СССР. – 1940. Т. XXIII, вып. 3. – С.251-292.
87. Семенов Н.Н. Цепные реакции. М.: Наука, 1986. – С.534.
88. Снакин В.В. Путь к устойчивому развитию: мифы и реальность // Век глобализации. –2016. –№ 1-2. – С.83-86.
-

ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

89. Снакин В.В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. –2019. –Т. 41, № 2. – С.148-164.
90. Справочник сланцепереработчика. /Под ред. М.Г. Рудина и Н.Д. Серебрянникова/. – Л.: Химия, 1988. – С.256.
91. Тарко А.М. Устойчивость биосферных процессов и принцип Ле Шателье // Доклады РАН. – 1995. – Т. 343, № 3. – С.393-395.
92. Тарнижевский Б.В. Оценка эффективности применения солнечного теплоснабжения в России // Теплоэнергетика. –1996. – №5. – С. 15-18.
93. Терез Э.И., Терез И.Э. Реакции синтеза – основной источник внутренней энергии Земли // Вестник РАН. – 2015, том 85. – № 3. – С.240-246.
94. Тимофеева С.С., Мингалева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике// Известия Томского политехнического университета. Техника и технологии в энергетике. – 2014.– Т. 325. – № 4. – С. 46-55.
95. Тимофеева С.С., Смирнов Г.И. Роль угля в энергетике XXI века и оценка рисков при его добыче и потреблении // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. – Т. 1. – № 4. – С.92-106.
96. Угрехелидзе Д.Ш. Метаболизм экзогенных алканов и ароматических углеводородов в растениях// Тбилиси, Мецниереба, 1976. – С.223.
97. Установка для получения воздуха, обогащённого кислородом. Патент на полезную модель № 83243 RU. МПК C01B 13/02. / Заявка № 2008147934/22, 2008.12.04 Зуккель В.А., Зуккель И.В. Оpubл. 2009.05.27. Бюл. № 3.
98. Фёдоров Б.Г. Карбонная рента // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журнал. – 2016. – № 3. – С.86-94.
99. Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. – М.: ВО «Наука», 1993. – С.266.
100. Филиппов Ю.В., Вобликов В.А. Озонный щит Земли. М.: Знание, 1980. – С.64.
101. Франк-Каменецкий Д.А. Распределение температур в реакционном сосуде и стационарная теория теплового взрыва // Журнал физической химии. – 1939. – Т. 13, № 6. – С.738-755.
102. Целинский И.В., Шугалей И.В., Лукогорская С.А. Цепные процессы в органической химии и биологии // Российский

-
- Химический Журнал. – 2001. – Т. 45, № 2. – С.35-45.
103. Чернявский С.А. Образование и трансформация первичных и вторичных атмосферных загрязнителей на примере соединений серы и азота, как важная задача мониторинга атмосферного воздуха. // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – №18. “Сибирская академическая книга” (Новосибирск). – С.188-198.
104. Шаповалов А.Б., Кошмаров Ю.А., Вайнштейн Э.Ф., Ломтева О.Г., Билищук Ю.В., Шаповалова Е.Б./ Отчет НИОКР «Исследование экспериментального образца технологического комплекса, перерабатывающего резиносодержащие отходы. Проведение патентных исследований» (заключительный), ООО «ЭкоТехЭнерго», № ГР 01201055055, Инв. № 0220.1054116. – 2010. – С.149.
105. Шаповалов А.Б. К вопросу альтернативной энергогенерации / Экологические и природоохранные проблемы современного общества и пути их решения. Материалы XIII международной научной конференции; в 2-х ч. / под ред. Семенова А.В., Малышева Н.Г., Руденко Ю.С. – М.: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2017. – Ч.1.– 504с. – С.127-134.
106. Шаповалов А.Б. Инновационный рециклинг нанодеструкцией резиносодержащих отходов // Справочник эколога. - 2015. – № 6(30). – С. 87-96.
107. Шаповалов А.Б. К вопросу о роли диоксид углерода и его влиянии на биосферу// Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 3. – С. 78-85.
108. Шаповалов А.Б. К вопросу о углеродосодержащих энергоносителях. / Устойчивое развитие: общество, экология, экономика. Материалы XV международной научной конференции; в 2-х ч. / под ред. Семенова А.В., Малышева Н.Г., Руденко Ю.С. – М.: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2019. – Ч.1.– С.748. – С.195-206.
109. Шаповалов А.Б. Некоторые особенности энергопотребления на основе нанодеструкции углеродосодержащих отходов. / Экологические и природоохранные проблемы современного общества и пути их решения. Мат. XIII межд. научной конф. / Под ред. Семенова А.В., Малышева Н.Г., Руденко Ю.С. – М.: Изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2017. – Ч.1. – С.105-114.
-

110. Шаповалов А.Б. Оценка эффективности энергоресурсов в энергообеспечении социума. / Развитие современного общества: Вызовы и возможности. Материалы XVII международной научной конф. / под ред. Семенова А.В. – М.: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2021. – Ч 1. – С.171-180.
111. Шаповалов А.Б. Предпосылки рециклинга несортированных твёрдых коммунальных отходов (ТКО) в товарные продукты / Устойчивое развитие: общество, экология, экономика. Мат. XV межд. научной конф. / Под ред. Семенова А.В., Малышева Н.Г., Руденко Ю.С. – М.: Изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2019. – Ч.1. – С. 207-216.
112. Шаповалов А.Б. Рециклинг отходов нанодеструкцией в товарные продукты. Справочник эколога. – 2015. – № 3(27). – С. 82-90.
113. Шаповалов А.Б. Установка для переработки отходов. / Патент № 84378 РФ. МПК C10G 1/10. C10J 3/02. Заявка № 2009112857/22 от 08.04.2009. Оpubл. 10.07.2009. Бюл. № 19.
114. Шаповалов А.Б. Установка для переработки резиносодержащих отходов. / Патент № 70659 РФ. МПК C10G 1/10. C10J 3/02. Заявка №2007142728/22 от 21.11.2007. Оpubл. 10.02.2008. Бюл. № 4.
115. Шаповалов А.Б., Семенов А.В., Парфенова М.Я./ Способ и устройство переработки полимерных отходов. Патент на изобретение № 2732911 RU. МПК C10B 53/07, C10J 3/02, C08J 11/00 / Заявка № 2019104358 от 15.02.2019. Опубликовано 24.09.2020. Бюл. № 23.
116. Шаповалов А.Б., Смуров А.В. Экология и нанотехнологии// Жизнь Земли: Междисциплинарный научно-практический журнал МГУ.–2020.– Т. 42, № 1. М.: Издательство Московского университета; МАКС Пресс. – С. 38-45.
117. Шилина А.И., Логинова Н.А., Белов Г.Г., Журавлева А.В. К вопросу о выведении канцерогенных углеводов из атмосферы/ В кн.: Канцерогенные вещества в окружающей среде. / М.: Гидрометеиздат, 1979. – С.22-25.
118. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рецензия на книгу Шуйского В.Ф., Максимовой Т.В. и Петрова Д.С. “Изоболитический метод оценки и нормирования многофакторных

- антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса”. Биология внутренних вод. М.: Наука. – 2006. – № 1. – С. 120-122.
119. Штин С.М. Применение торфа как топлива для малой энергетики. Горная промышленность. – 2011. – №7. – С.82-96.
120. Шуйский В. Ф., Максимова Т. В., Петров Д. С. Изоболический метод оценки и нормирования многофакторных антропогенных воздействий на пресноводные экосистемы по состоянию макрозообентоса. СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2004. – С.304.
121. Юшков И.В. О роли энергетических ресурсов в международных конфликтах будущего // Вестник Московского университета. Серия 12: Политические науки. – 2013. – № 2. – С. 28-37.
122. Янин Е.П. Горючие сланцы и окружающая среда. /Экологические последствия добычи, переработки и использования/. – М.: ИМГРЭ, 2003.–С.86.
123. Anderson Don L. New Theory of the Earth // Cambridge U. Press, New York. – 2007. –Р. 384.
124. ARC. Cancer: causes, occurrence and control. Ed.: Tomatis L. IARC Sci. Publ. – 1990. – № 100. Lyon. – P. 383.
125. Bar-On Y.M., Phillips R., Milo R. The biomass distribution on Earth // Proceedings of the National Academy of Sciences. – June 2018. 115 (25). –P.6506-6511.
126. Bryant D.A., Frigaard N.U. Prokaryotic photosynthesis and phototrophy illuminated // Trends Microbiol.: journal. – 2006. – November (vol. 14, no. 11). – P. 488-496.
127. Connelly JN, Bizzarro M, Krot AN, Nordlund Å, Wielandt D, Ivanova M.A. The absolute chronology and thermal processing of solids in the solar protoplanetary disk. / Science 338 (6107). –2012. – P.651-655.
128. Constans J. Marin Sources of energy. Pergamon Press, 1979.– P.169.
129. Davies H., Davies D. Earth’s surface heat flux / Solid Earth, 1. –2010. –P.5-24.
130. De Serres F. J. Evaluation of tests for mutagenicity as indicators of environmental mutagens and carcinogens/ Ann. N. Y. Acad. Sei. – 1979. –V. 329.–P. 75-84.

131. Dr. Ludwig W. Informativ Medizin // Verlag für Ganzheitsmedizin, Essen. – 2010. – P. 240.
132. EPA. (United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.com>) International Council on Metals and the Environment. Persistence, bioaccumulation and toxicity. Washington: Parametrix Inc., 1995. – P.93.
133. Fenimore C. P. Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames // Symposium (International) on Combustion. Elsevier. – 1971. –V. 13. – № 1. –P. 373-380.
134. Futuyma, D. J. Evolutionary theory. in M. P. Muhlenbein (ed.), Human Evolutionary Biology. Cambridge University Press. – 2010. – P. 3-16.
135. Gando A., Gando Y., Ichimura K. et al. Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements // Nature Geoscience. – 2011. –V.4. –P.647-651.
136. Glarborg P., Jensen A. D., Johnsson J. E. Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired systems // Progress in Energy and Combustion Science. – Elsevier. – 2003. –V. 29. – №. 2. –P. 89-113.
137. Glassman I., Yetter R. A. Combustion (Fourth Edition). Elsevier Inc. – 2008. – P.800.
138. Global carbon budget 2020/ 12(4). – 2020. – P.3269-3340.
139. Graham K. Shunk, Xavier R. Gomez, Nils J. H. Aversch. A Self-Replicating Radiation-Shield for Human Deep-Space Exploration: Radiotrophic Fungi can Attenuate Ionizing Radiation aboard the International Space Station/New research presented at the 2019 Astrobiology Science Conference in Bellevue, Wa.//version posted July 17. – 2020. P.16. BioRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.07.16.205534>
140. Hall C. A. S., Lambert J. G., Balogh S. B. EROI of different fuels and the implications for society. Energy Policy. – 2014. –P.141-152
141. Higman C., Burt M., Gasification. Elsevier Science. – 2008. – P.435.
142. Hoffmann G.R. Mutagenicity testing in environmental toxicology. // Environ. Sci. Technol.– 1982. – V. 16. – № 10.– P. 560-574.
143. Idso C.D., Idso K.E. Forecasting world food supplies: the impact of rising atmospheric CO2 concentration // Technology. 7 (suppl). – 2000. –P. 33-56.

-
144. Jeremie Berthonneau, Amaël Obliger, Pierre-Louis Valdenaire, Olivier Grauby, View ORCID ProfileDaniel Ferry, Damien Chaudanson, Pierre Levitz, Jae Jin Kim, Franz-Josef Ulm, and Roland J.-M. Pellenq. Mesoscale structure, mechanics, and transport properties of source rocks' organic pore networks. // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, National Academy of Sciences. – PNAS December (49) 2018. –P.12365-12370.
 145. Keith D.W., DeCarolis J.F., Denkenberger D.C., Lenschow D.H., Malyshev S.L., Pacala S., Rasch P.J. The influence of large-scale wind power on global climate // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2004. –101, 46. –P. 16115-16120.
 146. Kiehl, J. T., Kevin E. Trenberth K. E. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. // Bulletin of the American Meteorological Society. 78 (2). February – 1997. –P. 197-208.
 147. Korppoo A., Vatansever A. A climate vision for Russia: from rhetoric action// Carnegie endowment for international peace. – August 2012. –P.16.
 148. Lambert J. G., Hall, C. A. S., Balogh S. B., Poisson A., and Gupta A. EROI of global energy resources preliminary status and trends. //Technical report, State University of New York, College of Environmental Science and Forestry. – November 2012. –P.2–41.
 149. Lamoureux N., Desgroux P., El Bakali A., Pauwels J. F. Experimental and numerical study of the role of NCN in prompt-NO formation in low-pressure CH₄-O₂-N₂ and C₂H₂-O₂-N₂ flames // Combustion and Flame. Elsevier. – 2010. –V. 157. – № 10. –P. 1929-1941.
 150. Law C. K. Combustion Physics. Cambridge University Press, 2006. –P.722.
 151. Mallard E., Le Chatelier H. L. Thermal model for flame propagation // Annals of Mines. – 1883. –V. 4. –P. 379.
 152. McLachlan M. Bioaccumulation of hydrophobic chemicals in agricultural food chains // Environ. Sci. Technol. – 1996. – V.30. – P.252-259.
 153. Melis A, Zhang L, Benemann JR, Forestier M, Ghirardi ML, Seibert M. Hydrogen production using hydrogenase-containing

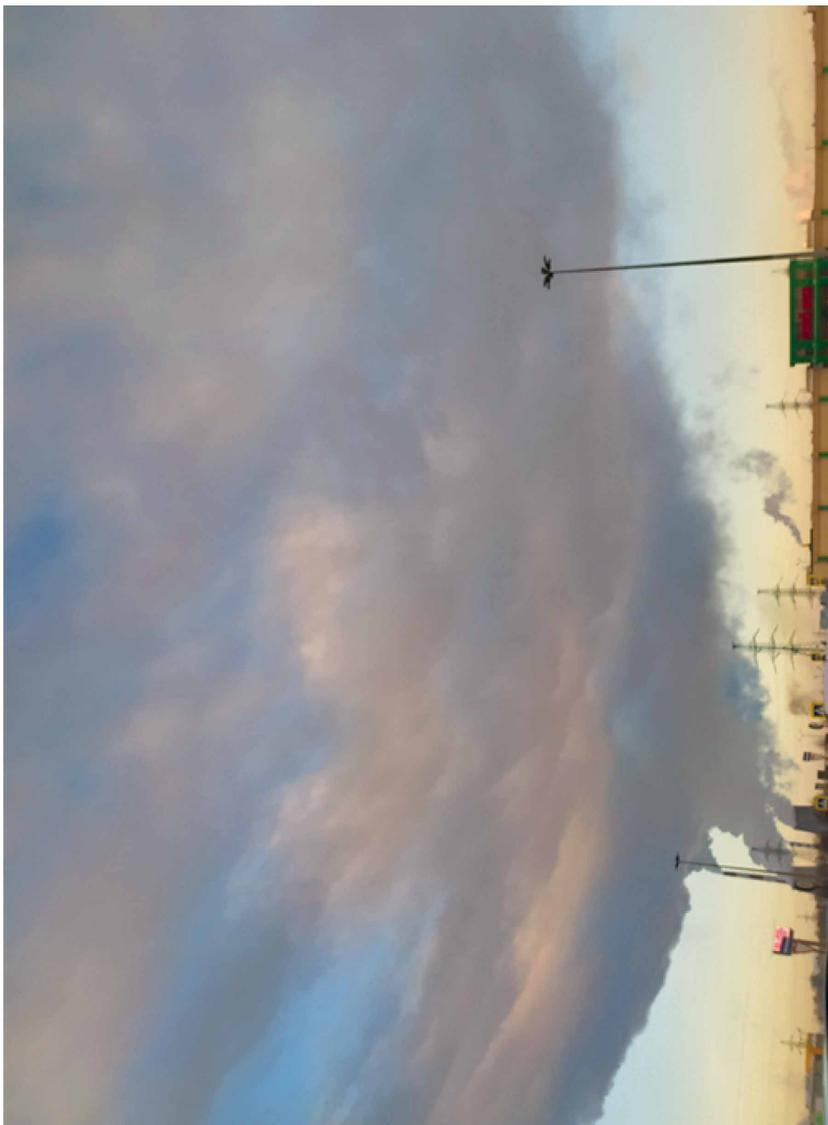
- oxygenic photosynthetic organisms. //United States Patent 6,989,252 B2 (issued 24-Jan-2006).
154. Nordell B. Thermal pollution causes global warming // *Global and Planetary Change* 38. – January 2003. –P. 305-312.
155. Orfeo Fioretos. Historical Institutionalism in International Relations // *International Organization*. – 2011. – V. 65. – № 2. – P. 367-399.
156. Qiao Min, Wang Chunxia, Shengbiao Huang, Wang Donghong, Zijian Wang. Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China // *Environment International*. – 2006.– V. 32.– P 28-33.
157. Reed T. B., Siddhartha G. A. Survey of Biomass Gasification 2001.– 2nd edition. – NREL, 2001.– 180 p.
158. Roberts D. S. On Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the astpmhoere. // *Current Science*. – 25 June 2006. –V. 90. – № 12. – P. 32.
159. Schäfer G., Engelhard M., Müller V. Bioenergetics of the Archaea // *Microbiology and Molecular Biology Reviews: journal*. – American Society for Microbiology. – 1999.–V. 63/ – № 3. — P. 570-620.
160. Shapovalov A.B. (2021) The Conception of Power Generation for Sustainable Social Development. In: Semenov A.V., Sokolov I.A. (eds) Sustainable Development: Society, Ecology, Economy. Earth and Environmental Sciences Library. Springer, Cham.– P.144, – p.3-7.
161. Shapovalov A.B. (2021) The Criterion for the Existence of Ecology as an Area of a Chain Process of Continuous Directed Self-organization. In: Semenov A.V., Sokolov I.A. (eds) Sustainable Development: Society, Ecology, Economy. Earth and Environmental Sciences Library. Springer, Cham.–P. 144, – p. 9-15.
162. Stamler J.S., Smgel D.J., Loscalzo J. Biochemistry of nitric oxide and its redox-activated forms // *Science*. – 1992.– Vol. 258.– P. 1898-1902.
163. Titirici M.-M, Thomas A., Antonietti M. Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO₂ problem? // *New Journal of Chemistry*. – 2007. – Vol. 31. – P. 787-789.

-
164. Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles // *Environmental Pollution*. – 1999. – V 105. – P 67-74.
 165. Turcotte, D. L., Schubert G. *Geodynamics – 2*. – Cambridge, England, UK: Cambridge University Press, 2002. — P. 136-137.
 166. Valentine DL. Adaptations to energy stress dictate the ecology and evolution of the Archaea. // *Nature Rev Microbiol*. – 2007. – V.5 № 4. –P. 316-323.
 167. Varhegyi G., Antal M.J. Kinetics of the thermal decomposition of cellulose, hemicellulose, and sugar cane bagasse // *Energy & Fuel*. – 1989. – V. 3. – P. 329-335.
 168. Vitousek P. M. Beyond global warming: ecology and global change // *Tecology*. – 1994. – № 7. –P. 1861-1876.
 169. Wikstorm E., Tysklind M., Marklund S. Influence of Variation in Combustion Conditions on the Primary Formation of Chlorinated Organic Micropollutants during Municipal Solid Waste Combustion // *Environ. Sci. Technol*. – 1999. – V.33, Iss.23. – P.4263-4269.
 170. WMO Provisional statement on the State of the Global Climate in 2020 // – 14.01.2021 –P. 12.
 171. Wüning J. A., Wüning J. G. Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation // *Progress in Energy and Combustion Science*. – Elsevier, 1997. – V. 23, №. 1. – P. 83-94.
 172. Younggy K., Bruce E. Hydrogen production from inexhaustible supplies of fresh and salt water using microbial reverse-electrodialysis electrolysis cells. // *P Natl Acad Sci USA* 108(39) –August 11.2011. –P.16176-16181.
 173. Шаповалов А.Б. Инсталация за преработка на полимерни отпадъци с нанодеструкция: Заявление България № 111260 за патент за изобретение. МПК В29В 17/02, С08J 11/04, F23G 5/027, С10G 1/10, приоритет от 13.07.2012. Публикации б. 1/2014. Заявител ООД «АЛТЕРНАНО».
 174. URL: <http://www.esf.edu/efb/hall/talks/EROI6a.ppt>
 175. URL: <https://www.zerohedge.com/technology/achtung-baby-its-cold-outside-germanys-green-energy-fail-rescued-coal-and-gas> (дата обращения 06.06.2021)
 176. URL: (<https://www.rusnano.com/about/press-centre/first-person/274650>) (дата обращения 06.06.2021)
-

177. URL: <https://regnum.ru/news/innovatio/2240524.html> (дата обращения 06.06.2021)
178. URL: <https://rg.ru/2019/06/13/chubajjs-predlozhit-vvesti-uglerodnyj-nalog.html> (дата обращения 06.06.2021)
179. URL: <https://gia.ru/20191031/1560421712.html> (дата обращения 06.06.2021)
180. URL: <https://ru.bmstu.wiki/Файл:VUP1.jpg#filelinks> (дата обращения 06.06.2021)
181. URL: <https://www.circularity-gap.world/2020> (дата обращения 06.06.2021)
182. URL: <https://www.gazeta.ru/business/2019/06/13/12412651.shtml?updated> (дата обращения 06.06.2021) (дата обращения 06.06.2021)
183. URL: https://www.berkeley.edu/news/media/releases/2003/12/10_heat.shtml (дата обращения 06.06.2021)
184. URL: https://www.researchgate.net/publication/259678018_Observation_of_Schumann_resonances_in_the_Earth's_ionosphere (дата обращения 06.06.2021)
185. URL: <https://www.rosocosmos.ru/23588/> (дата обращения 06.06.2021)
186. URL: https://zen.yandex.ru/media/zerowaste_ru/a-v-amsterdame-musorosjigatelnyi-zavod-okazalsia-na-grani-bankrotstva-5d3ef0f044742600aeefda05 (дата обращения 06.06.2021)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение № 1.1



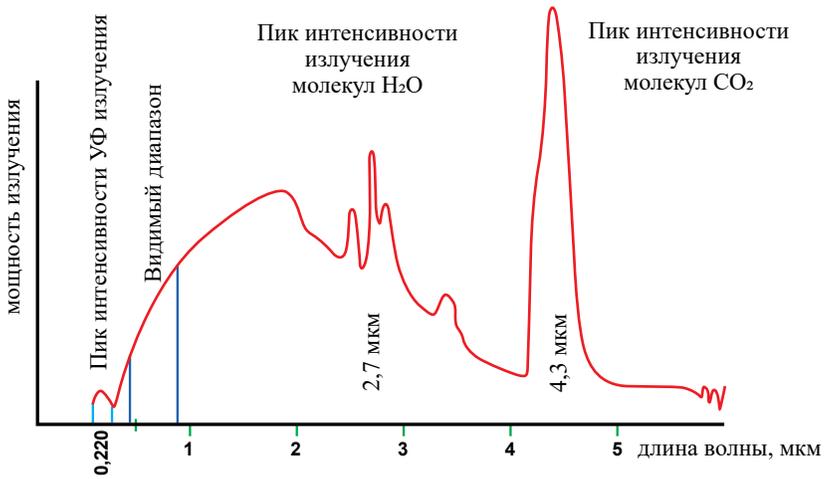
Выбросы в атмосферу 27 ТЭЦ (северная) М.О., установленной тепловой мощностью – 1 876 Гкал/ч с расстояния 7 км.



Выбросы оксидов азота в атмосферу 27 ТЭЦ

EROIE для различных первичных энергоисточников

Энергоисточник	Год расчета	EROIE	Источник данных
Нефть и газ	1930	>100	Cleveland, C.J. 2005. Net energy from oil and gas extraction in the United States, 1954–1997. <i>Energy</i> 30: 769–782 p.
Нефть(среднее)	1999	35	Yandle, B., M. Bhattarai & M. Vijayaraghavan. 2004. Environmental kuznets curves: a review of findings, methods, and policy implications. <i>PERC</i> 2:1–38 p.
Природный газ (среднее)	2005	10	Hall, C.A.S. 2008. Reports published on The Oil Drum, http://www.theoil Drum.com/
Уголь	2000	80	Cleveland, C.J. 2005. Net energy from oil and gas extraction in the United States, 1954–1997. <i>Energy</i> 30: 769–782 p.
Атомная энергетика	2008	5-15	Lenzen, M. 2008. Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: a review. <i>Energy Conversion Manage.</i> 49: 2178–2199 p.
Гидроэнергетика	2008	>100	Hall, C.A.S. 2008. Reports published on The Oil Drum. http://www.theoil Drum.com
Ветроэнергетика	2010	18	Kubiszewski, I., C.J. Cleveland & P.K. Endres. 2010. Metaanalysis of net energy return for wind power systems. <i>Renewable Energy</i> 35: 218–225 p.
Гелиоэнергетика (солнечные коллекторы)		1,9	Hall, C.A.S., C.J. Cleveland & R. Kaufmann. 1986. <i>Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process</i> . Wiley. New York.
Кремневые солнечные батареи (средние европейские широты)	2016	0.82	Energy Return on Energy Invested (EROEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation <i>Energy Policy</i> . July 2016. 94:336-344 p.
Этанол (сахарный)		0,8-10	Goldemberg, J. 2007. Ethanol for a sustainable energy future. <i>Science</i> 315: 808–810.
Этанол (кукурузный)		0,8-1,6	Farrell, A.E., R.J. Pelvin, B.T. Turner, et al. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. <i>Science</i> 311: 506–508 p.
Биодизель		1,3	Hall, C.A.S. 2008. Reports published on The Oil Drum. http://www.theoil Drum.com .



Спектр электромагнитного излучения пламени при сгорании УСЭ

По данным: <https://www.nfpol.ru/reviews/IPPHelp/>

Ковалентные связи атомов углерода

Ковалентная связь образуется обобществлением (перекрывтием) электронных облаков изменением формы (внешних) атомных орбиталей.

Атомы углерода образуют три гибридизации (валентное состояние) электронных орбиталей sp^3 , sp^2 , sp , определяющие параметры связи. (таблица 2.1). Основные параметры определяющие связи:

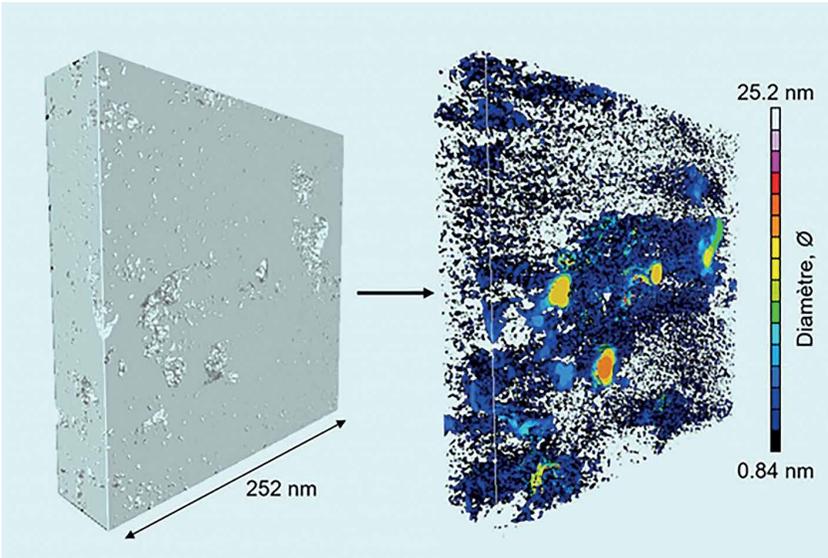
- энергия связи, выделяющаяся при образовании связи или необходимая для разъединения двух связанных атомов, чем больше энергия, тем прочнее связь;
- длина связи, расстояние, между центрами связанных атомов, уменьшающееся со степенью гибридизации, за счет увеличения в гибридной орбитали доли s-орбитали.

Основные параметры ковалентных связей органических соединений

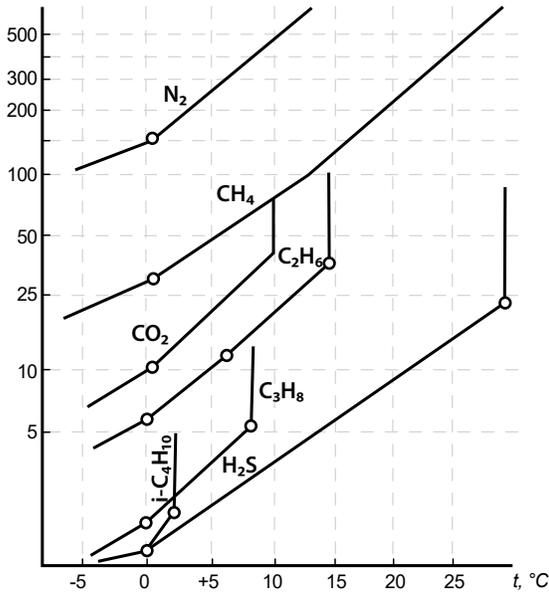
Тип связи	Гибридизация атома углерода	Энергия разрыва связи (кДж/моль)	Длина связи (нм)	Геометрия молекул
C – C	sp^3	348	0,154	Тетраэдрическая
C = C	sp^2	620	0,134	Плоская
C ≡ C	sp	814	0,120	Линейная
C – H	sp^3	414	0,110	
C – H	sp^2	435	0,107	
C – O	sp^3	344	0,143	
C = O	sp^2	708	0,121	
C – F	sp^3	473	0,140	
C – Cl	sp^3	331	0,176	
C – Br	sp^3	277	0,194	
C – I	sp^3	239	0,213	
C – N	sp^3	293	0,147	
C – N	sp^2	598	0,128	
C – S	sp^3	260	0,181	

Источник:

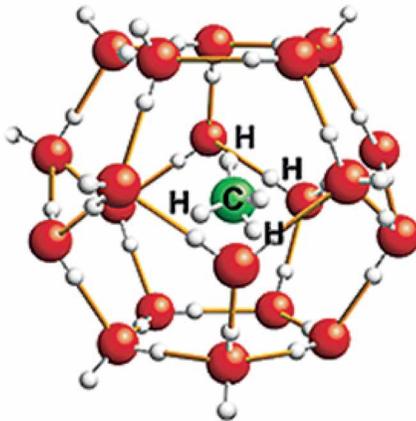
1. Термические константы веществ. Справочник, вып 1-10/ Под ред. В.П. Глушко. VL: ВИНТИ, 1965-1981.
2. Энергии разрыва химических связей: Потенциалы ионизации и сродство к электрону: Справочник / Акад. наук СССР. Ин-т хим. физики; В. И. Веденеев, Л. В. Гурвич, В. Н. Кондратьев и др. - Москва: Изд-во Наука, 1974. 354 с.



Электронная [121] томография образца керогена. Слева: внешний вид образца. Справа: детальное трехмерное изображение внутренней пористой структуры.



Термобарические условия образования газогидратов газов [66]



Строение газового гидрата метана $\text{CH}_4 \times 5,75 \text{H}_2\text{O}$

(<https://asadurrohman.wordpress.com/2016/03/02/gas-hidrat-energi-masa-depan-dunia/>)



Горение гзогидрата метана
(<https://tehnot.com>)

Морфологический состав ТКО [191]

Морфологическая группа	Содержание %
Бумага	24 - 32,3
Пищевые отходы	36,5 – 40,0
Древесина	2,0 – 2,5
Кожи	3,9 – 5,0
Резины	2,0 – 2,3
Пластмасы	7,8 – 8,5
Минералы	11,0 – 12,4
Металлы	3,0 – 3,5

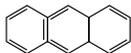
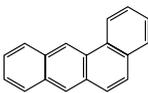
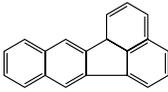
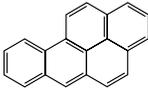
ТКО характеризуются специфическими свойствами:

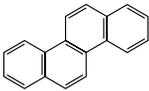
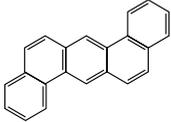
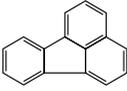
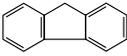
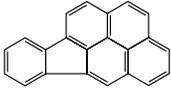
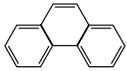
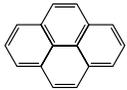
- обширный разброс показателей фракционного состава, от 30...50 мм до 1,5...2,0 м;
- низкая насыпная масса 150...200 кг/м³, в подпрессованном состоянии 400...460 кг/м³;
- пустотность насыпного слоя ТКО 78...83%;
- измельченные ТКО до фракции 50 + 5 мм при свободной насыпной плотности 150...200 кг/м³ характеризуются удельной поверхностью частиц 78 м²/м³ слоя и коэффициентом формы частиц, примерно $\Phi = 0,26$.

Фазовый состав ТКО средней статистической сборки РФ:

- горючая масса, ГМ - 32,6...72,0%;
- неорганика, АС – 16,0...17,4%;
- физическая вода, W_p – 12,0...50,0%.

Канцерогенность и структура некоторых ПАУ

Название ПАУ	Класс по МАИР*	Структура ПАУ	Молекулярный вес
Нафталин	2В		128,2
Аценафтен	3		154,2
Аценафтилен	нет оценки		152,2
Антрацен	3		178,2
Бензо(а)антрацен	2В		228,2
Бензо(б)флуорантен	2В		252,3
Бензо(к)флуорантен	2В		252,3
Бензо(g,h,i)перилен	3		276,3
Бензо(а)пирен	1		252,3

Хризен	2В		228.3
Дибенз(а,һ) антрацен	2А		278.4
Флуорантен	3		202.3
Флуорен	3		166.2
Индено(123сd) пирен	2В		276.3
Фенантрен	3		178.2
Пирен	3		202.3

*Классификация Международного агентства по изучению рака

Категория 1: канцерогенные для человека.

Категория 2А: весьма вероятно канцерогенные для человека.

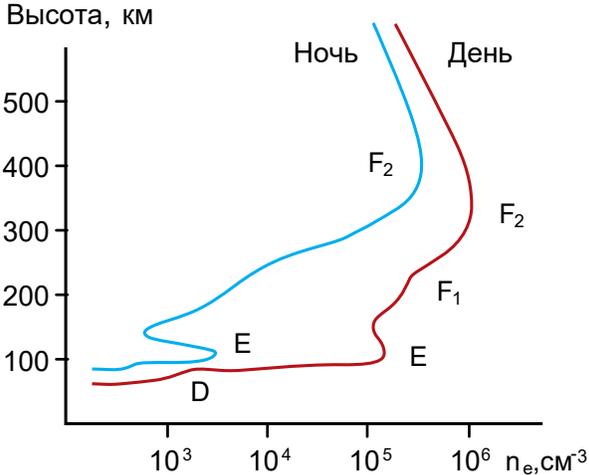
Категория 2В: вероятно, канцерогенные для человека.

Категория 3: не классифицируемые как канцерогенные для человека

(МАИР): http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php

Структура и состав ионосферы

Суточная концентрация электронов n_e в атмосфере от высоты на средних широтах в равноденствие при средней солнечной активности.

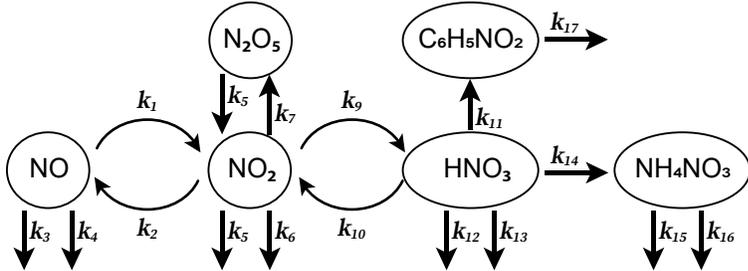


Характеристики основных областей ионосферы

Область ионосферы	Средняя высота максимума км	Температура К	Электронная концентрация $n_e, \text{см}^{-3}$			Эффективный коэффициент рекомбинации $\alpha, \text{см}^3 \text{сек}^{-1}$
			День		Ночь	
			Солнечная активность			
			min	max		
D	70	220	100	200	10	10^{-6}
E	110	270	3×10^5	$1,5 \times 10^5$	3000	10^{-7}
F ₁	180	800-1500	5×10^5	3×10^5	-	3×10^{-8}
F ₂ (зима)	220-280	1000-2000	25×10^5	6×10^5	$\sim 10^5$	2×10^{-10}
F ₂ (лето)	250-320		8×10^5	2×10^5	3×10^5	10^{-10}

Источник: Большая российская энциклопедия
<https://bigenc.ru/> М. Г. Дёминов/ Ионосфера

Процесс формирования вторичных соединений азота в атмосфере

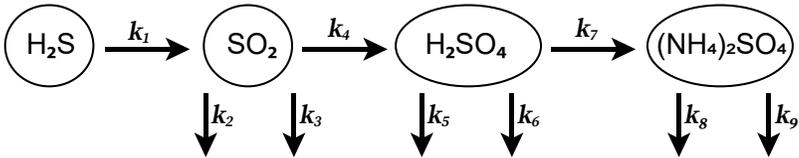


Численные значения констант превращения азотосодержащих соединений [7]

Процесс	Обозначение	$k_i, \text{ч}^{-1}$
Окисление $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$	k_1	0,8
Фотолиз $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}$	k_2	0,01
Вымывание NO в почву	k_3	0,01
Поглощение NO почвой	k_4	0,01
Вымывание NO_2 в почву	k_5	0,01
Поглощение NO_2 почвой	k_6	0,01
Трансформация NO_2 в N_2O_5	k_7	0,023
Разложение N_2O_5 в NO_2	k_8	0,015
Окисление $\text{NO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3$	k_9	0,149
Разложение до NO_2	k_{10}	0,012
Взаимодействие с органикой (бензол)	k_{11}	0,025
Вымывание HNO_3 в почву	k_{12}	0,012
Поглощение HNO_3 почвой	k_{13}	0,02
Нейтрализация $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$	k_{14}	0,01
Вымывание NH_4NO_3 в почву	k_{15}	0,011
Поглощение NH_4NO_3 почвой	k_{16}	0,013
Поглощение нитрита бензола ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$) почвой	k_{17}	0,74

Швыряев И.А. Физико-химические превращения в атмосфере и оценка экологического риска от выбросов промышленных объектов: дис. канд. хим. наук. — М., 2006. — 211 с.

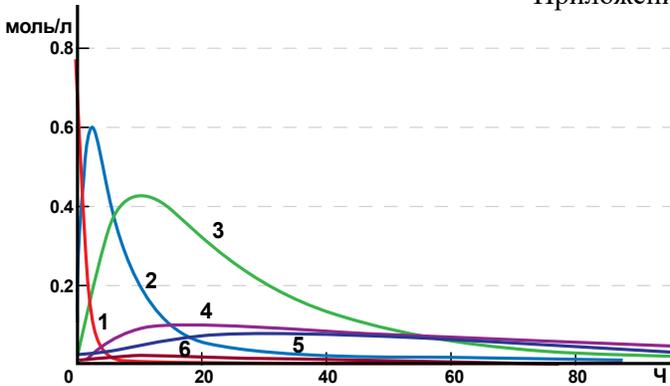
Процесс формирования вторичных соединений серы в атмосфере



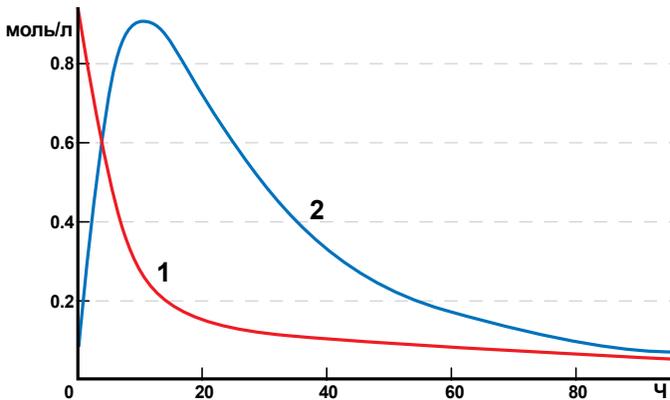
Численные значения констант превращения серосодержащих соединений

Процесс	Обозначение	$k_p, \text{ч}^{-1}$
Трансформация H_2S в SO_2 под внешними факторами	k_1	0,12
Вымывание SO_2 в почву	k_2	0,01
Поглощение SO_2 почвой	k_3	0,015
Окисление $\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$	k_4	0,127
Вымывание H_2SO_4 в почву	k_5	0,012
Поглощение H_2SO_4 почвой	k_6	0,005
Нейтрализация $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	k_7	0,02
Вымывание $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в почву	k_8	0,007
Поглощение $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ почвой	k_9	0,002

Швыряев И.А. Физико-химические превращения в атмосфере и оценка экологического риска от выбросов промышленных объектов: дис. канд. хим. наук. — М., 2006. — 211 с.

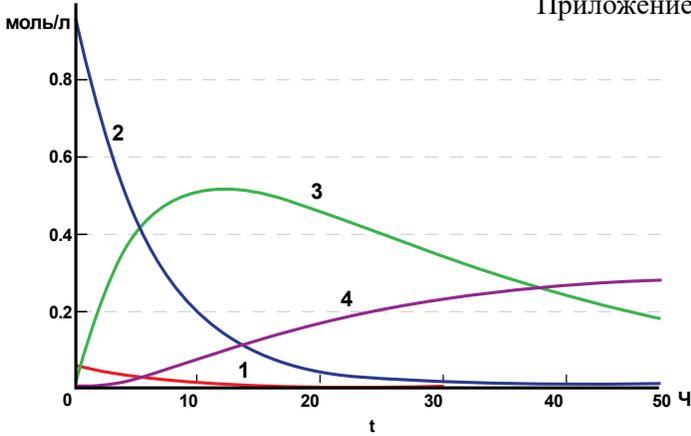


Зависимости мольной доли реагирующих азотосодержащих веществ от времени для каждого элемента: 1 — изменение концентрации монооксида азота; 2 — изменение концентрации диоксида азота; 3 — изменение концентрации частиц аэрозоля азотной кислоты; 4 — изменение концентрации пентаоксида азота; 5 — изменение концентрации азотосодержащего аэрозоля; 6 — изменение концентрации частиц нитрита бензола.



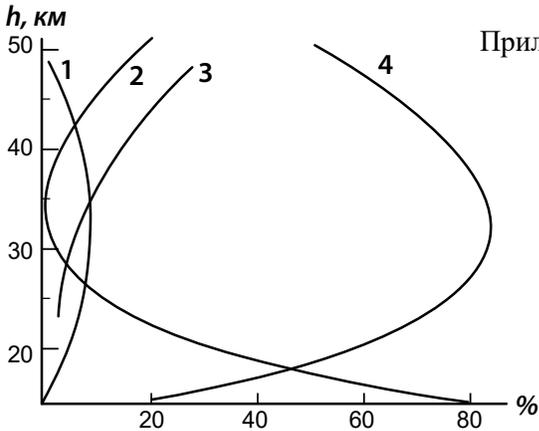
Суммарное сравнение концентраций частиц газообразных веществ и аэрозолей, содержащих азот: 1 — изменение концентрации суммы оксидов азота; 2 — изменение концентрации частиц суммы аэрозольных частиц, содержащих азот.

Чернявский С.А. Образование и трансформация первичных и вторичных атмосферных загрязнителей на примере соединений серы и азота, как важная задача мониторинга атмосферного воздуха. Технические науки – от теории к практике №18. “Сибирская академическая книга” (Новосибирск).2013. 188-198 с.



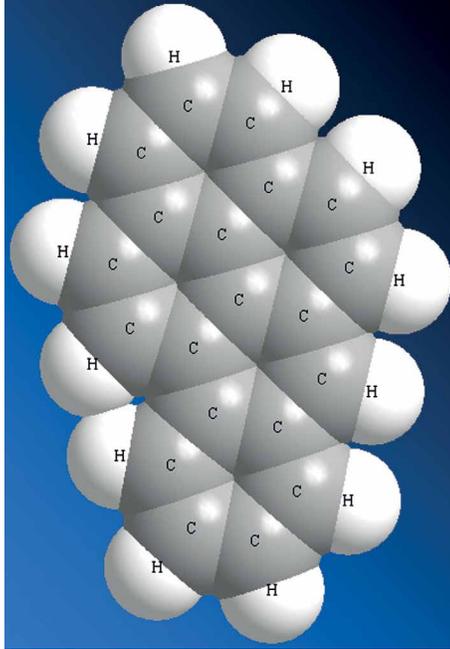
Зависимости мольной концентрации серосодержащих веществ от времени для каждого элемента: 1 — изменение концентрации сероводорода; 2 — изменение концентрации диоксида серы; 3 — изменение концентрации частиц аэрозоля серной кислоты; 4 — изменение концентрации серосодержащего аэрозоля.

Чернявский С.А. Образование и трансформация первичных и вторичных атмосферных загрязнителей на примере соединений серы и азота, как важная задача мониторинга атмосферного воздуха Технические науки – от теории к практике №18. “Сибирская академическая книга” (Новосибирск).2013. 188-198 с.

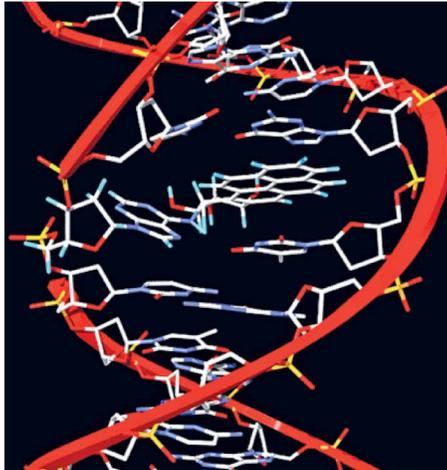


Вклад различных циклов в скорость разложения озона (%):
 1 – галоидный цикл; 2 – водородный; 3 – кислородный; 4 – азотный.

(Филиппов Ю.В., Вобликов В.А. Озонный щит Земли. М.: Знание, 1980. 64 с.)



Бензапирен



Химическая связь бензапирена с нуклеотидами молекул ДНК приводит к тяжёлым видам пороков и уродств.

Источник: <https://en.wikipedia.org/wiki/User:TimVickers>

Период полуразложения (полуэлиминации) ПХДД и ПХДФ
в окружающей среде при среднегодовой температуре +7°C

Конгенер	Период полуразложения		
	в воздухе, дней	в воде, месяцев	в почве и донных осадках, лет
2,3,7,8-ТХДД	8	5	103
1,2,3,7,8-ПеХДД	15	10	114
1,2,3,4,7,8-ГкХДД	31	20	274
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	31	20	63
1,2,3,7,8,9-ГкХДД	31	20	80
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	63	41	103
ОХДД	165	108	148
2,3,7,8-ТХДФ	13	9	63
1,2,3,7,8-ПеХДФ	28	18	51
2,3,4,7,8-ПеХДФ	28	18	63
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	58	38	68
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	58	38	80
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ	58	38	57
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ	58	38	51
1,2,4,6,7,8-ГкХДФ	58	38	57
1,2,3,4,6,8-ГкХДФ	58	38	51
1,2,4,6,8,9-ГкХДФ	58	38	17
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ	133	88	40
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ	133	88	34
1,2,3,4,6,8,9-ГпХДФ	133	88	23
ОХДФ	400	263	29

Источник: Sinkkonen S., Paasivirta J. Degradation half-life times of PCDDs, PCDFs and PCBs for environmental fate modeling // Chemosphere. - 2000. - V.40, Iss.9-11. - P.943-949.

Факторы токсической эквивалентности ВОЗ (ВОЗ-TEF)

Конгенер	Величина ТЭ
1. Дибензо-п-диоксины (ПХДД):	
2,3,7,8-тетрахлордибензодиоксин	1
1,2,3,7,8-пентахлордибензодиоксин	1
1,2,3,4,7,8-гексахлордибензодиоксин	0,1
1,2,3,4,7,8-гексахлордибензодиоксин	0,1
1,2,3,7,8,9-гексахлордибензодиоксин	0,1
1,2,3,4,6,7,8-гептахлордибензодиоксин	0,01
Октахлордибензодиоксин	0,0001
2. Дибензофураны (ПХДФ):	
2,3,7,8-тетрахлордибензофуран	0,1
1,2,3,7,8-пентахлордибензофуран	0,05
2,3,4,7,8-пентахлордибензофуран	0,5
1,2,3,4,7,8-гексахлордибензофуран	0,1
1,2,3,6,7,8-гексахлордибензофуран	0,1
1,2,3,7,8,9-гексахлордибензофуран	0,1
2,3,4,6,7,8-гексахлордибензофуран	0,1
1,2,3,4,6,7,8-гептахлордибензофуран	0,01
1,2,3,4,7,8,9-гептахлордибензофуран	0,01
Октахлордибензофуран	0,0001

Synopsis on dioxins and PCBs /Tuomisto, Jouko; Vartiainen, Terttu; Tuomisto, Jouni T. (2011)

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й – вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й – вещества высокоопасные;
- 3-й – вещества умеренно опасные;
- 4-й – вещества малоопасные.

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей, указанных в таблице:

Наименование показателей	Норма для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15-150	151-5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100-500	501-2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	Менее 500	500-5000	5001-50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300-30	29-3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0-18,0	18,1-54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0-5,0	4,9-2,5	Менее 2,5

Отнесение вредного вещества к классу опасности производят по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

Источник: ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

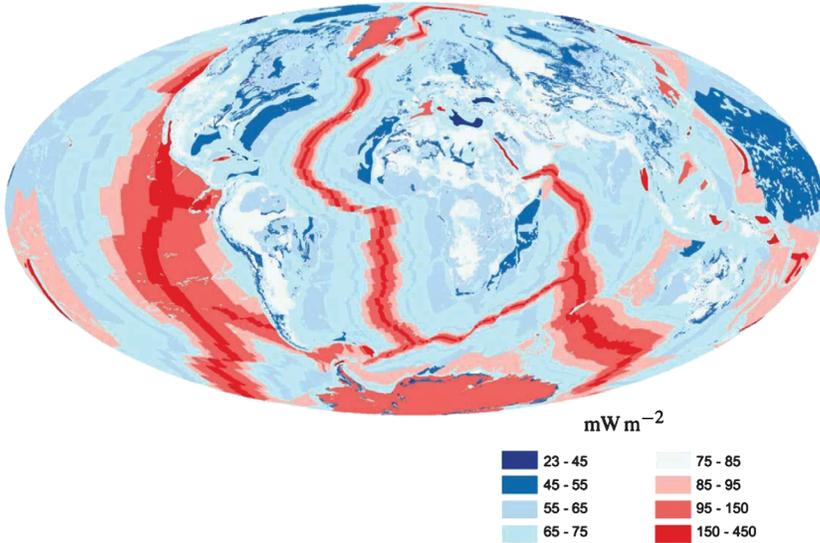
Теоретический потенциал ВИЭ в мире

Вид энергии	Теоретический потенциал, ТВтч (10^{12} Втч)/год	Источник
Солнечная	885 млн	Solar Energy Perspectives. International Energy Agency // URL: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf
Ветровая	170 тыс	Ермоленко Б.В., Ермоленко Г.В., Рыженков М.А. Экологические аспекты ветроэнергетики // «Теплоэнергетика», 2011, № 11.
Геотермальная	278 млрд (или $5,4 \times 10^{21}$ МДж - суммарный объем тепла, содержащийся в земной коре)	Geothermal. World Energy Council. 2013. [электронный ресурс] // URL: http://www.worldenergy.org/wp183content/uploads/2013/09/WER_2013_9_Geothermal.pdf
Гидроэнергия рек	39 тыс.	Norwegian Renewable Energy Partners [Электронный ресурс] // URL: http://www.intpow.com/index.php?id=487&download=1
Океаническая энергия (приливная, волновая, осмотическая)	20-80 тыс.	International Energy Agency // URL: https://www.iea.org/techinitiatives/renewableenergy/ocean/
Биоэнергия	> 800 тыс. (исходя из ежегодного продуцирования биомассой около 10^{11} тонн углерода ежегодно примерно 10^{11} т.у.т.)	Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components // Science. 1998 Jul10;281(5374):237-40.
Мировое потребление энергии	160 тыс. (13,7 млрд. тонн нефтяного эквивалента в 2015)	International Energy Agency. Key World Energy Statistics – 2016. //URL: http://large.stanford.edu/courses/2017/ph241/kwan1/docs/KeyWorld2016.pdf

Теоретический потенциал ВИЭ в России (Безруких П.П. и др. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) // М.: «ИАЦ Энергия», 2007 – 272 с., С.4)

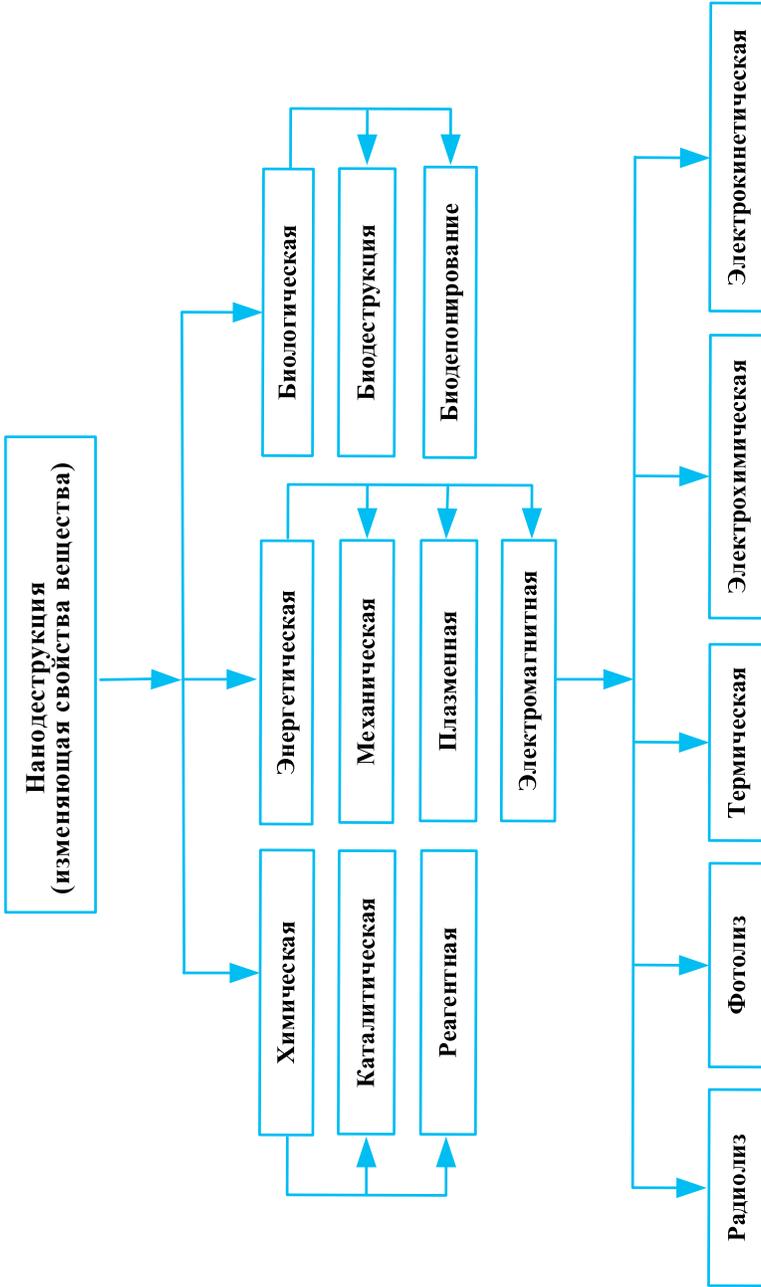
Вид энергии	Теоретический потенциал, ТВтч (10^{12} Втч)/год
Солнечная	18 млн. (2,2 трлн. т.у.т.)
Ветровая	7,2 млн. (886 млрд. т.у.т.)
Малая гидроэнергетика	3,3 тыс. (402 млн. т.у.т.)
Лесная биомасса	3 тыс. (374 млн. т.у.т.)
Геотермальная	10,3 трлн. (1263 трлн. т.у.т.)
Потребление энергии в России	8 тыс. (<1 млрд. т.у.т.)

Карта выхода геотермальной энергии Земли на основании наблюдений спутника «Аqua» [62]



Кольская сверхглубокая (проектная глубина 15 км.) скважина (СГ-3). Геотермический градиент $10^{\circ}\text{C}/\text{км}$ был до трёх километров, а дальше градиент стал увеличиваться таким образом, что на глубине 7 км температура составляла 120°C , 10 км – 180°C , 12 км – 220°C . Предполагается, что на проектной глубине температура должна быть равна $+280^{\circ}\text{C}$. [1]

Наибольший геотермический градиент, равный 150°C на 1 км, зарегистрирован в штате Орегон (США); наименьший – в ЮАР (6°C на 1 км) [1].



Преобразование вещества отходов нанодеструкцией



ШАПОВАЛОВ АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ

Автор, Шаповалов Александр Борисович – воспитанник ФМШ при НГУ (Академгородок, Новосибирск) окончил МВТУ им. Баумана (Москва) и там же аспирантуру по специальностям процессы механической и физико-химической обработки, станки и инструменты, и экспериментальная физика.

Результаты работ Шаповалова в области физики, механики, надёжности, металлообработки, экологии и нанодеструкции опубликованы, защищены патентами и были представлены на различных международных конференциях и выставках.

Созданная и разработанная автором модель рециклинга отходов нанодеструкцией: «деструкция вещества отходов на наноразмерные частицы и формирование из них вещества товарного продукта» удостоена в 2009 г. международной награды.

В резолюции XIII международной научной конференции 2017 г. «Экологические и природоохранные проблемы современного общества и пути их решения» отмечена фундаментальность и высокая эффективность работ Шаповалова. От имени более 200 ученых и специалистов конференция обратилась к Президенту РФ: «Данные технологии являются прорывными, их быстрое освоение позволит занять РФ передовые позиции в экологическом бизнесе (до 10% ВВП) и добиться нового качественного уровня экологической безопасности».

Заслуженным признанием высокой научной, производственной, инженерной квалификаций и авторитета автора является его участие в работе с 2008 г. в экспертном совете Московского Комитета по науке и технологиям (МКНТ).

Автор учувствовал в разработке, техническом перевооружении, создании и руководстве различными производствами и предприятиями как в СССР, РФ, так и за рубежом. Разрабатывал и ставил на производство новые виды изделий, инструмента, оснастки и оборудования.

В рамках СЭВ учувствовал в развитии сотрудничества и кооперации предприятий станкоинструментальной промышленности.

Shapovalov, Alexander Borisovich.

Fundamentals of energy generation : Monograph /
A. B. Shapovalov. – Moscow : MAKS Press, 2021. – 224 p.

ISBN 978-5-317-06647-5

The monograph is devoted to energy generation, which determines the development and forms of society. The formation and influence of energy generation on the biosphere and society are considered. An eco-safe energy generation based on nanodestruction is conceptually presented. The concept of “distributed self-organized energy generation of society on the basis of autonomous self-regulation and energy independence of the individual” is proposed. The inevitability of the transformation of society into forms corresponding to new energy flows is noted.

The material introduces the fundamental problems of modern energy generation and reveals the potential to overcome them.

The work is addressed both to the bodies planning and administering the development of society and energy generation, and to environmental organizations. The monograph is intended for researchers and teachers, researchers and engineers, business leaders, postgraduates and students, as well as a wide range of interested persons.

The material of the monograph assumes familiarity with the basic foundations of scientific ideas. However, deep knowledge is not required and consideration of formalized representations is minimized.

Key words: energy generation, biosphere, society, energy, carbonaceous energy carriers, energy generation emissions

Научное издание
Шаповалов Александр Борисович
ОСНОВЫ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ
Монография

Издательство «МАКС Пресс»
Главный редактор: *Е. М. Бугачева*

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 05.07.2021 г.
Формат 60х90 1/16. Усл.печ.л. 14,0.
Тираж 300 (1–50) экз. Заказ 108.

Издательство ООО “МАКС Пресс”.
Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.
11Г11-1 Москва, Ленинские горы,
МГУ им. М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, 527 к.
Тел. 8495 939-3890/91. Тел./Факс 8495 939-3891.

Отпечатано в типографии Издательского дома «Победа».
г. Москва, ул. Косыгина, д.5, стр. 1.