

**Е. Н. Громова**

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК  
И СИСТЕМ**

**Текст лекций**

**Санкт-Петербург  
2022**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики  
Кафедра промышленной теплоэнергетики**

# **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ**

Текст лекций для студентов всех форм обучения  
по направлению подготовки  
13.03.01 — Теплоэнергетика и теплотехника

Составитель Е. Н. Громова

Санкт-Петербург  
2022

Утверждено  
на заседании кафедры ПТЭ  
13.09.2022 г., протокол № 1

Рецензенты:  
Э. Р. Зверева, А. Н. Назарова

Текст лекций соответствует программам и учебным планам дисциплины «Энергосбережение и энергоэффективность теплоэнергетических установок и систем» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника. Издание охватывает весь объем материалов по дисциплине. Предназначено для самостоятельной работы студентов.

Текст лекций предназначен для бакалавров очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД  
в качестве текста лекций

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 16.12.2022 г. Рег. № 5128/22

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛЕКЦИЯ 1. Тенденции и вызовы развития мировой энергетики и энергетики РФ.....	4
ЛЕКЦИЯ 2. Первичные и вторичные топливно-энергетические ресурсы..	10
ЛЕКЦИЯ 3. Технологии производства газообразного и жидкого топлива из органических отходов.....	26
ЛЕКЦИЯ 4. Зеленые сертификаты: мировой опыт и планы в России.....	33
ЛЕКЦИЯ 5. Технологии управления парниковыми газами.....	39
ЛЕКЦИЯ 6. Способы улавливания, утилизации и хранения парниковых газов.....	46
ЛЕКЦИЯ 7. Инвестиционные «углеродные» проекты.....	52
ЛЕКЦИЯ 8. Основные меры государственной политики РФ в области энергоэффективности.....	58
ЛЕКЦИЯ 9. Энергосбережение в ЖКХ.....	64
ЛЕКЦИЯ 10. Энергоаудит.....	74
ЛЕКЦИЯ 11. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению ISO 50001.....	77
ГЛОССАРИЙ.....	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	88

## ЛЕКЦИЯ 1

### Тенденции и вызовы развития мировой энергетики и энергетики РФ

Рост мирового энергопотребления неразрывно связан с изменением численности населения и темпами экономического роста в различных регионах мира. Наиболее существенное увеличение энергопотребления в ближайшее время ожидается в Азиатско-Тихоокеанском регионе, прежде всего в Индии и Китае.

Предполагается, что темпы роста мировой экономики (около 3 %) будут существенно опережать темпы роста энергопотребления (1–1,2 % в год).

Также сохранится тенденция к сближению вклада основных энергетических ресурсов в мировой топливно-энергетический баланс (снижение доли нефти и угля, увеличение доли газа и неуглеродной энергии в структуре мирового потребления первичной энергии). В конечном потреблении вырастет доля электрической энергии.

Мировые энергетические рынки, конъюнктура которых долгое время обеспечивала динамичное развитие энергетики и экономики Российской Федерации, характеризуются нестабильностью и высокой неопределенностью, вовлечены в процессы глубокой трансформации, которые в перспективе способны существенно изменить облик мировой энергетики и сформировать новые вызовы ее развитию.

Вызовы развитию мировой энергетики указаны в Доктрине энергетической безопасности (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216). Основной *стратегической задачей*, согласно этому документу, является активное внедрение энергосберегающих мероприятий во всех отраслях и повышение энергетической эффективности топливно-энергетического комплекса.

В *комплекс ключевых мер*, обеспечивающих решение задачи развития энергосбережения и повышения энергоэффективности, входят:

- совершенствование нормативно-правовой базы, включая введение запрета на производство и использование энергетически неэффективных техники, оборудования, зданий, технологических процессов. А также совершенствование нормативно-правовой базы рынка энергосервисных услуг;
- налоговое и неналоговое стимулирование использования организациями ТЭК наилучших доступных технологий, включая разработку и применение соответствующих справочников и реестров таких технологий в целях технического и экологического регулирования, а также приобретения энергоэффективного оборудования;
- использование средств бюджетов различных уровней, внебюджетных средств, средств институтов развития, организация льготного заемного финансирования проектов в области энергоэффективности и энергосбережения (включая компенсацию процентной ставки по соответствующим кредитам);

- обновление существующих и внедрение новых систем энергоменеджмента в соответствии с требованиями стандарта ISO 50001:2018;
- обмен опытом и распространение лучших практик энергосбережения и повышения энергетической эффективности в отраслях ТЭК.

Важным следствием политики энергосбережения станет также существенное сдерживание роста эмиссии парниковых газов и сокращение предприятиями ТЭК вредных выбросов в окружающую среду.

**Показателями** решения задачи развития энергосбережения и повышения энергоэффективности в отраслях ТЭК являются:

1. Коэффициент полезного использования попутного нефтяного газа:

2018 год – 85,1 %;

к 2024 году – 90 %;

к 2035 году – 95 %;

2. Снижение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на собственные технологические нужды магистрального транспорта газа, процент к базовому уровню:

к 2024 году – 12 %;

к 2035 году – 17 %;

3. Удельный расход топлива на отпуск электрической энергии:

2018 год – 309,8 г у.т./кВт·ч;

к 2024 году – 285,4 г у.т./кВт·ч;

к 2035 году – 255,6 г у.т./кВт·ч;

4. Снижение удельного потребления электрической энергии на транспортировку нефти (нефтепродуктов) в сопоставимых условиях, процент к базовому уровню:

к 2024 году – 1,2 %;

к 2035 году – 3,3 %.

### **Оценка состояния и тенденций развития энергетики Российской Федерации**

Объемы добычи и производства энергетических ресурсов из добытого сырья, производство топлива и электрической энергии в Российской Федерации устойчиво превышают внутреннее потребление по нефти – более чем в 1,9 раза, газу – в 1,5 раза, углю – в 1,8 раза, дизельному топливу – в 2,6 раза, автомобильному бензину – в 1,1 раза.

Российская Федерация входит в число мировых лидеров по запасам углеводородного сырья, объемам производства и экспорта энергетических ресурсов, а также по развитию, использованию и экспорту технологий атомной энергетики.

Среди крупнейших экономик мира топливно-энергетический баланс Российской Федерации является одним из самых экологически чистых (низкоуглеродных) – более трети генерации электрической энергии приходится

на атомную энергетику, гидроэнергетику и другие возобновляемые источники энергии, около половины – на природный газ.

Энергетическая инфраструктура Российской Федерации, основу которой составляют Единая энергетическая система России, Единая система газоснабжения, система магистральных трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов, является одной из самых протяженных в мире и функционирует в различных природно-климатических условиях – от арктической до субтропической зоны.

Для энергетики Российской Федерации в полной мере актуальны вызовы, стоящие перед мировой энергетикой, в то время как угрозы имеют специфику, определяемую следующими общими для ТЭК **проблемами**:

- замедление темпов роста мировой экономики, изменение структуры потребления и снижение спроса на продукцию ТЭК, перепроизводство углеводородных энергетических ресурсов и, как следствие, сохранение цен на них на низком уровне;

- недостаточный для инновационного развития текущий и перспективный объем спроса на внутреннем рынке на основные виды продукции российского топливно-энергетического комплекса, обостряющий зависимость от объема спроса и конъюнктуры мировых рынков традиционных энергетических ресурсов;

- критическая зависимость организаций ТЭК от импорта технологий, оборудования, материалов, услуг и программного обеспечения по ряду наиболее перспективных направлений развития энергетики;

- дефицит инвестиционных ресурсов, в том числе вследствие сдерживания роста тарифов в сфере энергетики, ограничения возможности привлечения организациями ТЭК долгосрочного финансирования со стороны иностранных инвесторов и слабого развития венчурного кредитования;

- сохранение наряду с рыночными отношениями нерыночных отношений и обременений в сфере конечного потребления продукции и услуг отраслей ТЭК, в том числе наличие перекрестного субсидирования;

- высокая неопределенность и непредсказуемость внешних условий и факторов, влияющих на развитие энергетики, включая условия и факторы культуры, социальных изменений, международных отношений, научных открытий и технических изобретений;

- вызовы пространственному развитию, указанные в Стратегии пространственного развития;

- «большие вызовы» научно-технологическому развитию, указанные в Стратегии научно-технологического развития, в частности, качественное изменение характера глобальных и локальных энергетических систем, рост значимости энерговооруженности экономики и наращивания объема выработки и сохранения энергии, ее передачи и эффективного использования.

Прирост запасов энергоресурсов с 2018 года – базового года в

Энергетической стратегии России (далее приводится сравнение значений показателей базового года в настоящей Стратегии с уровнем 2018 года) составил:

- жидких углеводородов (нефть и конденсат) по категории АВ1С1 – 7,1 млрд тонн,
- газа (свободный газ и газ газовых шапок) по категории АВ1С1 – 8,1 трлн куб. метров,
- угля – 2,2 млрд. тонн,
- урана – 337,7 тыс. тонн.

### **Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р)**

При разработке Стратегии учитывалась принципиальная связь развития энергетики и обеспечения национальной безопасности. Направления развития энергетики согласованы с основными направлениями деятельности по обеспечению энергетической безопасности РФ.

Неотъемлемой частью Стратегии являются указанные в Доктрине энергетической безопасности вызовы, угрозы и риски в области энергетической безопасности, а также другие положения.

Для оценки предлагаемых мер и перспектив развития энергетики с учетом факторов неопределенности и вариативности развития энергетических рынков сформированы 2 прогнозных сценария, определяющие нижнюю и верхнюю границу значений целевых показателей и возможных изменений параметров топливно-энергетического баланса, в диапазоне которых топливно-энергетический комплекс Российской Федерации в целом гарантированно сохраняет устойчивость. При этом нижняя граница гарантирует выполнение требований энергетической безопасности, определенных Доктриной энергетической безопасности.

Период реализации Стратегии с учетом существующего механизма стратегического планирования разделен на 2 этапа (I этап – до 2024 года, II этап – 2025–2035 годы). В качестве года для установления базового уровня показателей и параметров выбран 2018 год (далее – базовый год).

Целью развития энергетики Российской Федерации является, с одной стороны, максимальное содействие социально-экономическому развитию страны, а с другой стороны, – укрепление и сохранение позиций России в мировой энергетике, как минимум, на период до 2035 года.

Для достижения поставленной цели потребуются ускоренный переход (**модернизационный рывок**) к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике, способной адекватно ответить на вызовы и угрозы в своей сфере и преодолеть имеющиеся проблемы. *Характеристики* указанного рывка включают:

- структурную диверсификацию, в рамках которой углеродная энергетика

дополнится неуглеродной, централизованное энергоснабжение – децентрализованным, экспорт энергетических ресурсов – экспортом российских технологий, оборудования и услуг в сфере энергетики, расширится спектр применений электрической энергии, сжиженного природного газа и газомоторного топлива;

- цифровую трансформацию и интеллектуализацию отраслей ТЭК, в результате которых новое качество приобретут все процессы в сфере энергетики, новые права и возможности получают потребители продукции и услуг топливно-энергетического комплекса;

- оптимизацию географического размещения энергетической инфраструктуры, в рамках которой в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и в Арктической зоне России будут сформированы новые нефтегазовые минерально-сырьевые центры, нефтегазохимические комплексы, расширится инфраструктура транспортировки энергетических ресурсов, Российская Федерация станет ведущим игроком на рынках Азиатско-Тихоокеанского региона;

- уменьшение негативного воздействия отраслей топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и адаптацию их к изменениям климата, в результате чего наша страна внесет существенный вклад в переход к низкоуглеродному развитию мировой экономики, в международные усилия по сохранению окружающей среды и противодействию изменениям климата.

**Приоритетами** государственной энергетической политики Российской Федерации являются:

- гарантированное обеспечение энергетической безопасности страны в целом и на уровне субъектов РФ, в особенности расположенных на геостратегических территориях;

- первоочередное удовлетворение внутреннего спроса на продукцию и услуги в сфере энергетики;

  - переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике;

  - рациональное природопользование и энергетическая эффективность оборудования и производств;

  - повышение результативности и эффективности всех уровней управления в отраслях топливно-энергетического комплекса;

  - максимальное использование преимуществ централизованных систем энергоснабжения.

Некоторые показатели реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года

Показатель	Значение показателя		
	2018 год (базовый уровень)	2024 год	2035 год
Объем добычи нефти и газового конденсата, млн тонн	555,9	555 - 560	490 - 555
Объем производства сжиженного природного газа, млн тонн	18,9	46 - 65	80 - 140
Объем потребления метана на транспорте, млрд м <sup>3</sup>	0,68	2,7	10 - 13
Объем поставок российского угля на внутренний рынок, млн тонн	181	174 - 192	170 - 196
Доля сырья (сжиженные углеводородные газы, этан, нефтя), направляемого на нефтегазохимию, %	23,1	30	35
Уровень потерь электрической энергии в электрических сетях (не более), %	10,6	9,8	7,3
Экспорт водорода, млн тонн	-	0,2	2
Доля атомных электростанций поколения «3+» и модернизированных действующих энергоблоков атомных электростанций с продленным сроком эксплуатации, %	13	26	40
Доля выработки электрической энергии теплоэлектростанциями по теплофикационному циклу, %	30,4	33	40
Удельный расход топлива при производстве тепловой энергии, кг/Гкал	169,2	164,2	159,3
Удельный расход топлива на отпуск электрической энергии, т. у.т./кВт·ч	309,8	285,4	255,6
Соотношение общего объема выбросов парниковых газов в текущем году с объемом указанных выбросов в 1990 году (не более), %	50,7 (2017 год)	70 - 75	70 - 75

## ЛЕКЦИЯ 2

### Первичные и вторичные топливно-энергетические ресурсы

**Топливо-энергетические ресурсы** – совокупность различных видов продукции добычи топливно-энергетических полезных ископаемых, производства нефтепродуктов, электроэнергии и тепловой энергии, которые необходимы для обеспечения производственного процесса промышленных предприятий.

Основные виды энергетических ресурсов представлены на схеме, изображенной на рис. 1.

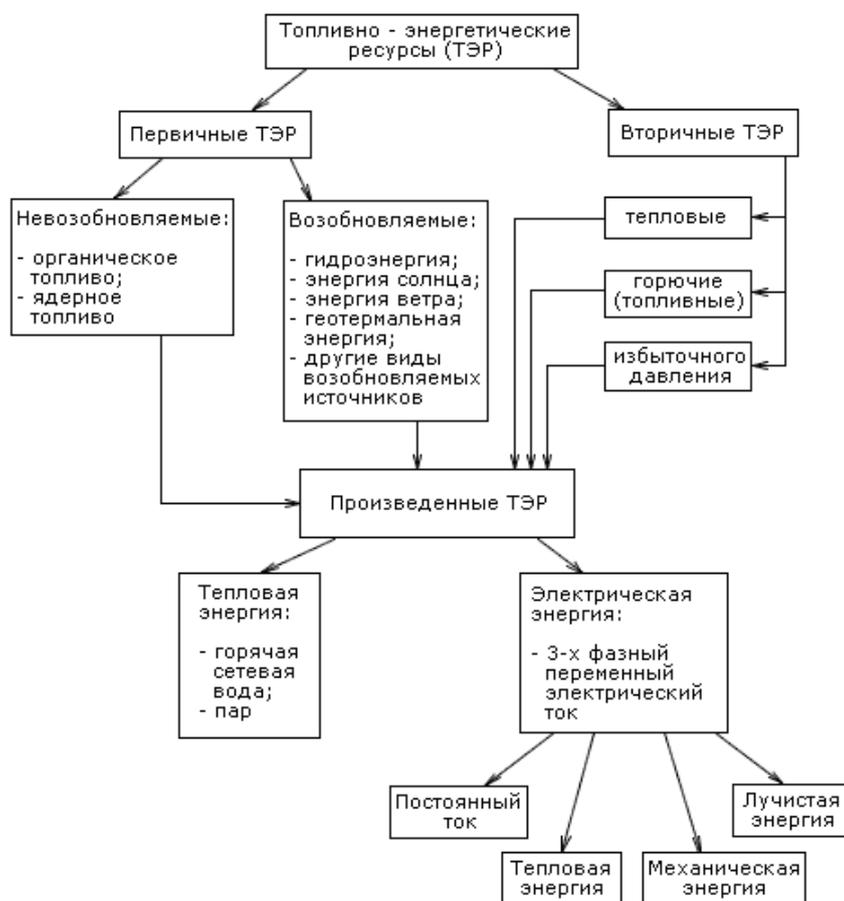


Рис. 1. Виды топливно-энергетических ресурсов

Топливо-энергетические ресурсы делятся на первичные и вторичные.

К **первичным энергетическим ресурсам** относят те ресурсы, которые получают непосредственно из природных источников для последующего преобразования в различные виды энергии либо для непосредственного использования. Как правило, первичные ресурсы должны быть извлечены и подготовлены к дальнейшему использованию. Первичные ресурсы подразделяют на возобновляемые и невозобновляемые.

**Невозобновляемые ТЭР** – это естественно образовавшиеся и накопившиеся в недрах планеты запасы веществ, способные при определенных условиях высвободить заключенную в них энергию. К ним относятся ископаемые виды топлива и продукты их переработки: каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть, природный и попутный газ. Особыми видами невозобновляемых энергетических ресурсов являются расщепляющиеся (радиоактивные) вещества.

**Возобновляемые ТЭР** – это энергоресурсы постоянно существующих природных процессов на планете. Характерной особенностью ВИЭ является их неистощаемость либо способность восстанавливать свой потенциал за короткое время – в пределах срока жизни одного поколения людей. Чаще всего к ним относят энергию солнечного излучения, ветра, потоков воды и т. д.

**Вторичные топливно-энергетические ресурсы (ВТЭР)** – энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других агрегатов.

Рациональное использование вторичных энергетических ресурсов является одним из крупнейших резервов экономии топлива, способствующим снижению топливо- и энергоемкости промышленной продукции. ВТЭР могут использоваться непосредственно без изменения вида энергоносителя для удовлетворения потребности в топливе и теплоте или с изменением энергоносителя путем выработки теплоты, электроэнергии, холода или механической работы в утилизационных установках.

ВТЭР можно разделить на 3 группы:

1. Тепловые ВТЭР (любые теплоносители, имеющие температуру выше температуры окружающей среды, способные передать тепло для последующего использования: горячие газы и жидкости, являющиеся промежуточными или сбросными в данном технологическом процессе).

2. Горючие (или топливные) ВТЭР (отходы, содержащие углеродные и углеводородные включения: доменный газ, городской мусор, органические отработанные растворители и т. д.).

3. ВТЭР избыточного давления (газы и жидкости под давлением, которое можно использовать перед сбросом в окружающую среду).

4. Энергетический потенциал ВТЭР реализуется в различных утилизационных установках (котлы-утилизаторы, теплообменники, печи, турбины и т. д.).

Наибольшими тепловыми вторичными энергетическими ресурсами располагают предприятия черной и цветной металлургии, химической, нефтехимической промышленности, производства строительных материалов, газовой промышленности, тяжелого машиностроения и некоторых других

отраслей народного хозяйства. В этих отраслях широко используется теплота высокого, среднего и низкого потенциалов.

В зависимости от видов и параметров рабочих тел различают четыре основных направления использования ВТЭР:

- топливное (непосредственное использование горючих компонентов в качестве топлива);

- тепловое (использование теплоты, получаемой непосредственно в качестве вторичных энергетических ресурсов, или теплоты или холода, вырабатываемых за счет вторичных энергетических ресурсов в утилизационных установках или в абсорбционных холодильных установках);

- силовое (использование механической или электрической энергии, вырабатываемой в утилизационных установках (станциях);

- комбинированное (использование теплоты, электрической или механической энергии, одновременно вырабатываемых за счет ВЭР).

Современный этап развития техники характеризуется активной разработкой и широким использованием достаточно надежных типов оборудования для утилизации тепловых ВЭР. Тем не менее, при создании такой техники возникают объективные трудности, связанные в основном с различными ограничениями в транспортировке теплоты, выработанной за счет средне- и низкопотенциальных ВЭР, и необходимостью ее использования вблизи мест образования тепловых отходов. В то же время промышленные отходы в виде средне- и низкопотенциальных ВЭР поистине огромны (сбросная горячая вода, нагретые продуктовые потоки, уходящие газы средней температуры, вторичный и отработанный пар, конденсат и т. д.).

Как показывает отечественная и мировая практика, наиболее полное и экономически эффективное использование средне- и низкопотенциальных ВЭР промышленного производства осуществимо в первую очередь с помощью тепловых насосов, термокомпрессоров и трансформаторов теплоты.

Применение **теплонасосных установок** и трансформаторов для утилизации тепловых ВЭР и других местных низкотемпературных источников теплоты позволяет на 20–60 % снизить расходы топлива. За рубежом в настоящее время уже работает несколько миллионов теплонасосных отопительных систем. Эти системы используют не только тепловые отходы производства, но и теплоту окружающего воздуха, грунта, воды рек, озер и других водоемов, сточных вод и коммунальных стоков и др. Теплонасосные установки и термотрансформаторы за счет использования теплоты низкопотенциальных источников могут снабжать теплотой нужного потенциала и такие производственно-технологические агрегаты, как моечные машины, сушильные установки, выварочные ванны, устройства для подогрева и регенерации масел, системы очистки, обмывки и сушки подвижного состава на транспорте, системы разогрева смерзшихся грузов и удаления их остатков из вагонов и цистерн и др. Следовательно, теплонасосные установки, или термотрансформаторы, могут заменить такие традиционно

используемые генераторы среднетемпературной теплоты, как малоэкономичные паровые или водогрейные котлы, а также бойлерные или калориферные системы, питающиеся от местных либо центральных котельных.

Тепловые насосы, работающие на низко- и среднетемпературных тепловых ВЭР, применяются также для выработки холода, который необходим как в нефтеперерабатывающей промышленности, в химических и нефтехимических производствах, так и для кондиционирования воздуха в промышленных и жилых помещениях в летний период.

В целом следует отметить, что для установок утилизации тепловых ВЭР характерно энергокомбинирование, т. е. комплексность в решении проблемы использования различных источников теплоты.

Низкопотенциальные тепловые отходы (отработанный и вторичный пар, теплый влажный воздух, конденсат и другие виды ВЭР) удобнее и экономичнее улавливать и преобразовывать с помощью термохимических трансформаторов. Однако такие установки, несмотря на относительно высокий КПД, распространения не получили. Они сложны в производстве, громоздки, и для их изготовления требуется высококачественная легированная сталь.

Самый доступный источник низкопотенциальной теплоты – окружающая среда, атмосферный воздух, естественные водоемы, геотермальные воды и т. п. Кроме того, огромный резерв теплоты содержит оборотная и повторно используемая вода систем охлаждения машин и рабочих тел в различных технологических процессах. Такая вода имеет температуру 20–40 °С, что не позволяет использовать ее теплоту непосредственно в тепловом цикле. Выделение же ее в атмосферу (в масштабах страны до 4 млрд ГДж в год) наносит природе большой урон из-за теплового загрязнения биосферы. Таким образом, утилизация таких источников теплоты низкого потенциала – вопрос не только экономии первичных источников энергии (топлива), но и решение задачи охраны окружающей среды. Решение таких вопросов станет возможным в результате замены градирен и других охладителей оборотной воды испарителями тепловых насосов и термотрансформаторов.

Для отопления жилых и производственных помещений в зимний период экономически целесообразны тепловые насосы, работающие по парожидкостной схеме.

Уровень внедрения теплонасосных установок в России невелик. Низкопотенциальные ВЭР либо используются очень мало, либо вообще не находят еще должного применения. Между тем такие тепловые отходы образуются практически во всех отраслях промышленности, на всех предприятиях. Только использование теплоты охлаждающей воды позволит в масштабах страны ежегодно экономить до 50 млн т. топлива (условного). Это в 2,5 раза превышает экономию, достигаемую от комбинированной выработки энергии на ТЭЦ, и в 5 раз – экономию за счет различных усовершенствований в области производства электроэнергии.

Следовательно, для этого необходимо определить зоны концентрации тепловых выбросов предприятий, провести качественный анализ состава ВЭР и разработать карту тепловых выбросов. Все это позволит не только правильно оценить эффективность использования тепловой энергии потребителями, но и подобрать наиболее рациональную схему возвращения ВЭР в цикл.

Незаслуженно мало внимания уделяется двигателю Стирлинга (ДС). Это двигатель внешнего сгорания, имеющий простую конструкцию и способный работать практически от любого источника энергии. Рабочим телом в таких двигателях являются газы типа водорода или гелия. Сегодня он привлекает много внимания в связи с изучением возможности его использованием в системах автономного энергообеспечения. Пока он не получил широкого распространения. Но в качестве примера применения двигателей Стирлинга можно привести недавно запущенную в эксплуатацию демонстрационную ТЭЦ на древесине в Австрии мощностью 35 МВт (эл) и КПД 20 %. Это небольшой КПД, но в этих же условиях КПД паросилового цикла раза в 2 меньше.

Практическое применение получили три схемы (модификации) ДС, обозначаемые греческими буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и показанные на рис. 2.

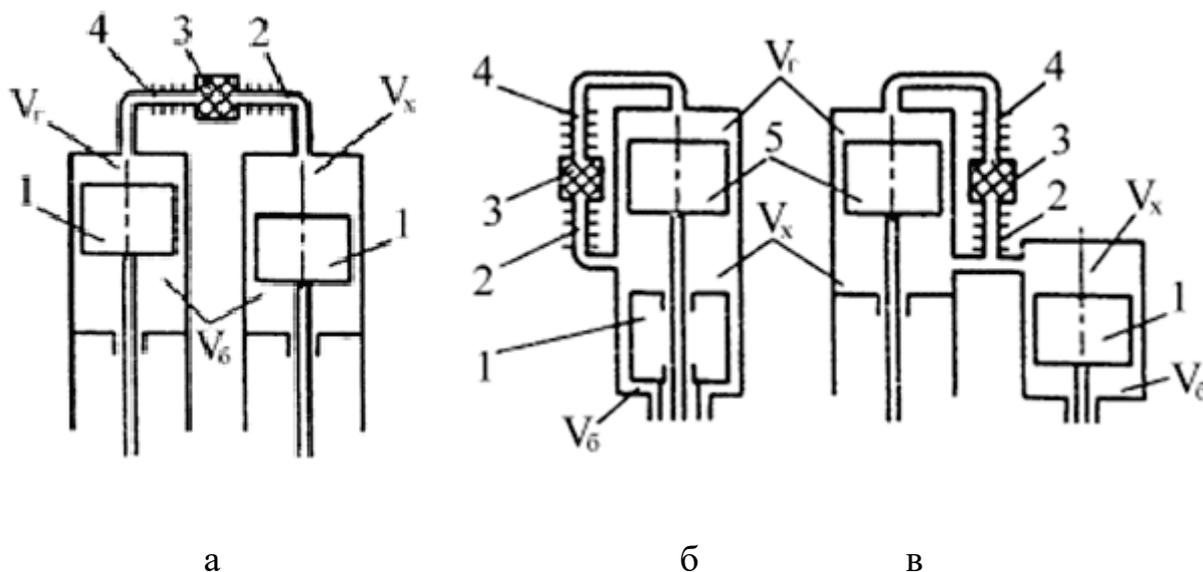


Рис. 2. Принципиальные схемы двигателей Стирлинга простого действия:  
 а –  $\alpha$ -модификация; б –  $\beta$ -модификация; в –  $\gamma$ -модификация;  
 $V_g$ ,  $V_x$  и  $V_b$  – объёмы полостей: горячей, холодной и буферной

Основными элементами ДС на этих схемах являются рабочий и вытеснительный поршни 1 и 5, нагреватель 4, регенератор 3 и холодильник 2. В двигателях  $\beta$ -модификации рабочий и вытеснительный (далее называемый просто «вытеснителем») поршни размещены в одном цилиндре, а в модификациях  $\alpha$  и  $\gamma$  – в двух отдельных цилиндрах, причём в схеме  $\alpha$  оба поршня являются и рабочими, и вытеснительными. Горячая и холодная полости ДС, имеющие переменные объёмы, сообщаются между собой через соединённые

последовательно полости нагревателя, регенератора и холодильника, имеющие неизменные объемы.

Движение поршней и вытеснителей синхронизируется с помощью механизмов, преобразующих возвратно-поступательное движение поршней во вращательное движение вала ДС или наоборот. При перемещении вытеснителя РТ только перемещается из горячей полости в холодную или наоборот, поэтому полный объем РТ в ДС не изменяется. При перемещении рабочего поршня полный объем РТ изменяется – происходит его сжатие или расширение.

В модификациях  $\beta$  и  $\gamma$  при перемещении поршня к верхней мертвой точке происходит сжатие РТ во всех полостях ДС, и давление повышается. Одновременно с этим вытеснитель перемещается в сторону холодной полости, и основная масса РТ перетекает через холодильник, регенератор и нагреватель в горячую полость.

Проходя через регенератор и нагреватель, РТ нагревается, поэтому в горячей полости оно имеет высокую температуру, и давление его повышается. Это повышение давления передается во все полости ДС, и под его действием рабочий поршень перемещается к нижней мертвой точке, совершая рабочий ход. В это время вытеснитель перемещается в сторону горячей полости, и основная масса РТ через нагреватель, регенератор и охладитель перетекает в холодную полость. В результате температура основной массы РТ снижается, и давление во всех полостях ДС уменьшается.

Двигатель Стирлинга а-модификации работает аналогично описанному, однако его цикл формируется благодаря движению не одного, а двух рабочих поршней, иногда называемых «горячим» и «холодным». Поскольку средние температуры РТ около этих поршней отличаются в два-три раза, то совершаемые ими работы значительно различаются по величине, и суммарная работа цикла становится положительной. Недостатком а-модификации можно считать повышенные механические потери, создаваемые двумя рабочими поршнями, уплотненными со стороны буферных полостей.

Двигатели Стирлинга заполняют РТ под средним (статическим) давлением, в ряде случаев достигающим 35 МПа. Почти постоянное давление в буферной полости позволяет разгрузить подшипники вала ДС и уплотнения поршней от действия значительных переменных газовых сил.

При движении РТ через регенератор часть теплоты передается или от РТ к теплообменной матрице регенератора, или наоборот, что уменьшает потребность в количестве подводимой извне теплоты для получения одного и того же количества полезной работы, улучшая тем самым экономичность цикла.

В нагревателе к части РТ, соседствующей с объемом горячей полости ДС, непрерывно подводится теплота от внешнего источника. Соответствующему среднему тепловому потоку пропорциональна индикаторная мощность цикла, а, следовательно, и эффективная мощность ДС.

В холодильнике происходит непрерывный отвод не использованной полезно в цикле теплоты от РТ к холодному теплоносителю (причём тепловая нагрузка охладителя непосредственно зависит от совершенства регенератора).

Очень простым устройством, которое применяется для локального нагрева, охлаждения, кондиционирования, осушения газов является так называемая **вихревая трубка** или **трубка Ранка–Хилша** (рис. 3). В этом устройстве происходит разделение воздуха на горячий и холодный с перепадом температур до 100 °С. Устройство представляет собой участок цилиндрической трубки с тангенциальным вводом воздуха под большим давлением (десятки атмосфер). При этом по центру трубки выводят холодный воздух, а по периферии с другого конца трубки – горячий. Такое устройство имеет низкий КПД и характеризуется очень высоким уровнем шума в связи с высокими скоростями воздуха. Но из-за своей простоты и дешевизны широко применяется в технике и сейчас планируется к использованию в комбинированных энергетических установках.

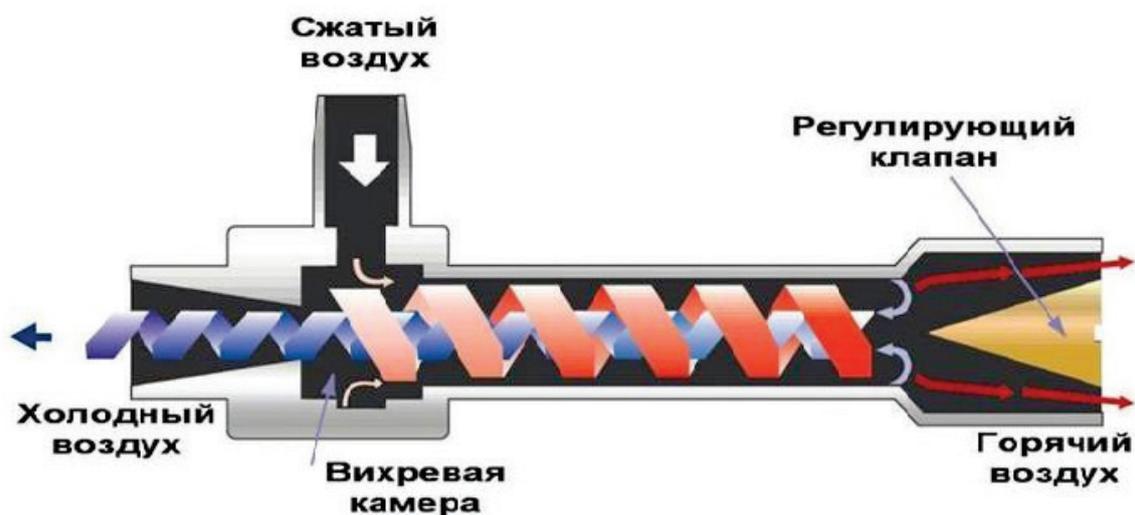


Рис. 3. Вихревой эффект Ранка–Хилша

Что касается термоэлектричества, то оно давно используется в технике и основано на **эффекте Пелтье** (рис. 4). Последний заключается в возникновении термоЭДС в замкнутой цепи из двух разнородных проводников (полупроводников) с разной температурой спаев. Такие системы обладают очень низким КПД (2–3 %), но есть и много достоинств – автономность, компактность, безопасность, бесшумность. Ряд проектов по этому направлению ведется в СО РАН применительно к задачам кондиционирования, нагрева, охлаждения в быту и технике.

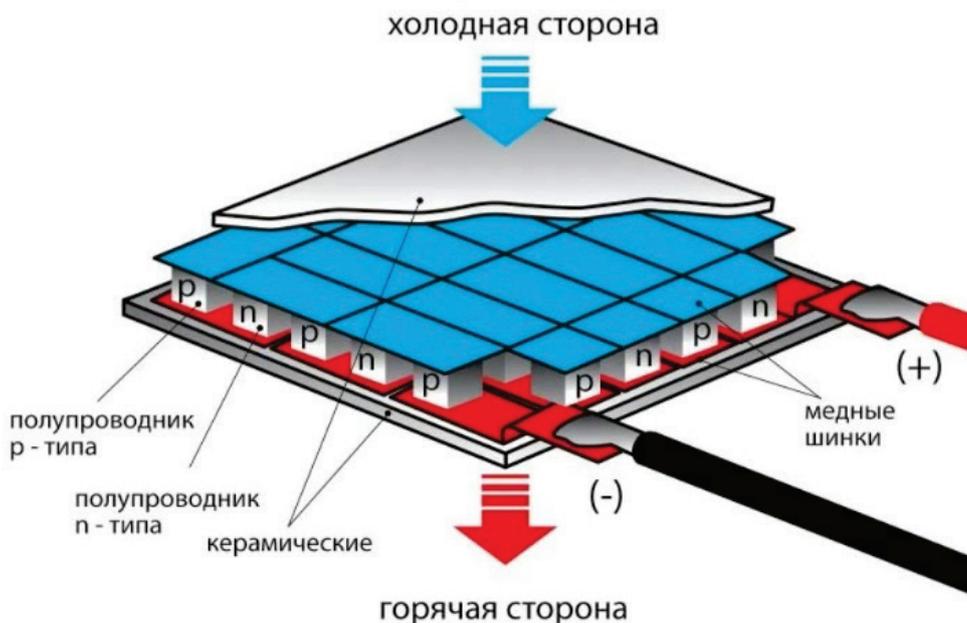


Рис. 4. Принцип работы термоэлектрического модуля Пелтье

**Котлы-утилизаторы** предназначены для снижения температуры продуктов сгорания, получаемых в различных технологических процессах. Отличительной особенностью котлов-утилизаторов, в сравнении с энергетическими, является отсутствие топки для сжигания топлива и получения продуктов сгорания.

По схемам и конструкции трубных систем котлы-утилизаторы такие же, как и энергетические котельные установки малой и средней производительности.

Установка котлов-утилизаторов на потоке высокотемпературных газов приносит значительный эффект в отношении экономии топливно-энергетических ресурсов.

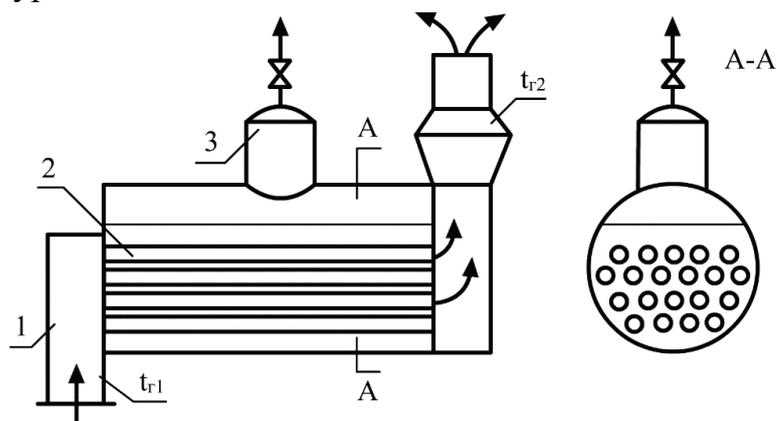


Рис. 5. Схема дымогарного котла-утилизатора:  
 1 – подвод высокотемпературных газов; 2 – дымогарные трубки;  
 3 – сухопарник

На рис. 5. приведена схема дымогарного котла, который состоит из барабана, внутри которого располагаются трубы диаметром 50–60 мм, сухопарника, подводящих и отводящих газоходов.

Дымовые газы в этих котлах проходят внутри труб, а котловая вода располагается между трубами конвективного испарительного пучка. Образующийся пар поступает в сухопарник, где отделяются капельки влаги от паровой фазы и далее направляются потребителю.

Имеются энергетические водогрейные котлы такой же конструкции, но вместо части дымогарных труб установлена жаровая труба, в которой располагается топка для сжигания газообразного или жидкого топлива.

На рис. 6 показан водотрубный котел-утилизатор, в котором котловая вода находится в трубах, а продукты сгорания – в межтрубном пространстве. Благодаря газовым перегородкам поток продуктов сгорания меняет свое направление и обтекает трубные пучки как в продольном, так и в поперечном направлениях.

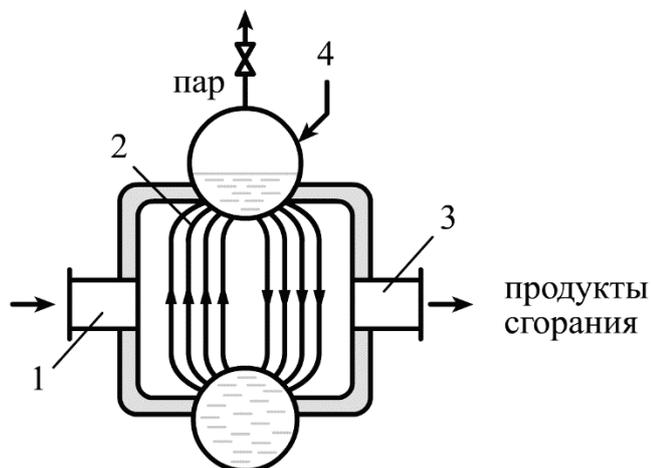


Рис. 6. Водотрубный котёл-утилизатор:

1 – высокотемпературные продукты сгорания; 2 – конвективный испарительный пучок; 3 – отвод газов; 4 – питательная вода

Циркуляция котловой воды осуществляется за счет разности плотностей воды и пароводяной смеси: по левому ряду труб пароводяная смесь поднимается, а по правым рядам труб котловая вода опускается.

На рис. 7 приведена схема котла-утилизатора с принудительной циркуляцией котловой воды в контуре конвективного пучка. Под действием насоса котловая вода забирается из барабана и направляется в конвективный испарительный пучок, где частично испаряется.

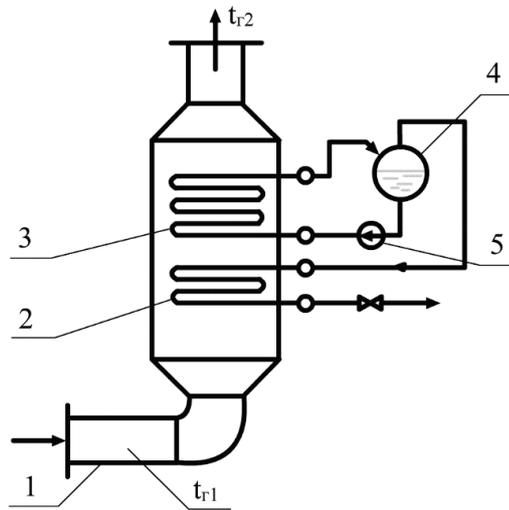


Рис. 7. Схема котла-утилизатора с принудительной циркуляцией:

- 1 – вход высокотемпературных дымовых газов;  
 2 – пароперегреватель; 3 – конвективный испарительный пучок; 4 – барабан; 5 – циркуляционный насос

Такая схема котла-утилизатора с принудительной циркуляцией очень компактна, имеет небольшие габариты, но наличие циркуляционного насоса снижает надежность работы оборудования.

Уравнение теплового баланса для рассмотренных схем котлов-утилизаторов имеет следующий вид

$$V_{\Gamma} c_{\text{пр}} (t_{\Gamma 1} - t_{\Gamma 2}) \varphi = D_{\text{п}} (i'' - i_{\text{пв}}), \text{ кДж/ч}, \quad (1)$$

где  $V_{\Gamma}$  – объемный расход продуктов сгорания через котел-утилизатор,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $c_{\text{пр}}$  – средняя объемная теплоемкость продуктов горения, поступающих в котел-утилизатор,  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t_{\Gamma 1}, t_{\Gamma 2}$  – температуры продуктов сгорания до и после котла,  $^\circ\text{C}$ ;

$\varphi$  – коэффициент тепловых потерь котла-утилизатора;

$i'', i_{\text{пв}}$  – соответственно энтальпии полученного пара и питательной воды,  $\text{кДж}/\text{кг}$ .

Как правило, из уравнения (1) определяют расход вырабатываемого котлом пара за счет утилизации отработавших продуктов сгорания, который равен

$$D_{\text{п}} = \frac{V_{\Gamma} c_{\text{пр}} (t_{\Gamma 1} - t_{\Gamma 2}) \varphi}{i'' - i_{\text{пв}}}, \text{ кг/ч} . \quad (2)$$

Экономию условного топлива можно определить из соотношения

$$B_{\text{уг}} = \frac{D_{\text{п}} (i'' - i_{\text{пв}}) \eta_{\text{ка}}}{29330}, \text{ кг/ч} , \quad (3)$$

где 29330 – теплота сгорания условного топлива,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$\eta_{\text{ка}}$  – КПД котельного агрегата.

Как показывает опыт эксплуатации, котлы-утилизаторы являются надежными, простыми, высокоэффективными энергетическими установками для утилизации высокотемпературных продуктов сгорания и экономии топливно-энергетических ресурсов.

В тепловом балансе котельных установок основной потерей является теплота с уходящими газами, которая составляет 6–10 % от подведенной теплоты с топливом. Температура уходящих газов при этом составляет 120–160 °С при сжигании природного газа. Дальнейшее снижение температуры уходящих газов связано с конденсацией водяных паров на поверхностях нагрева воздухоподогревателя и экономайзера, их коррозией и выходом из строя. По этой причине температуру уходящих газов поддерживают выше на 15–20 °С температуры точки росы.

### «Глубокое» охлаждение уходящих газов

На рис. 8а показана схема «глубокого» охлаждения продуктов сгорания газообразного топлива до температуры 50–70 °С за счет установки за котлом теплофикационного экономайзера. На этих поверхностях нагрева происходит конденсация водяных паров и, следовательно, идут коррозионные процессы, поэтому рекомендуется применять ребристые чугунные трубы Кусинского завода, или коррозионно-стойкие материалы, которые могут находиться в эксплуатации длительное время. Процессы изменения продуктов сгорания приведены на рис. 8б, из которых следует, что экономический эффект в данной схеме достигается за счёт физического охлаждения продуктов сгорания (процесс 1–2) и конденсации водяных паров (процесс 2–3).

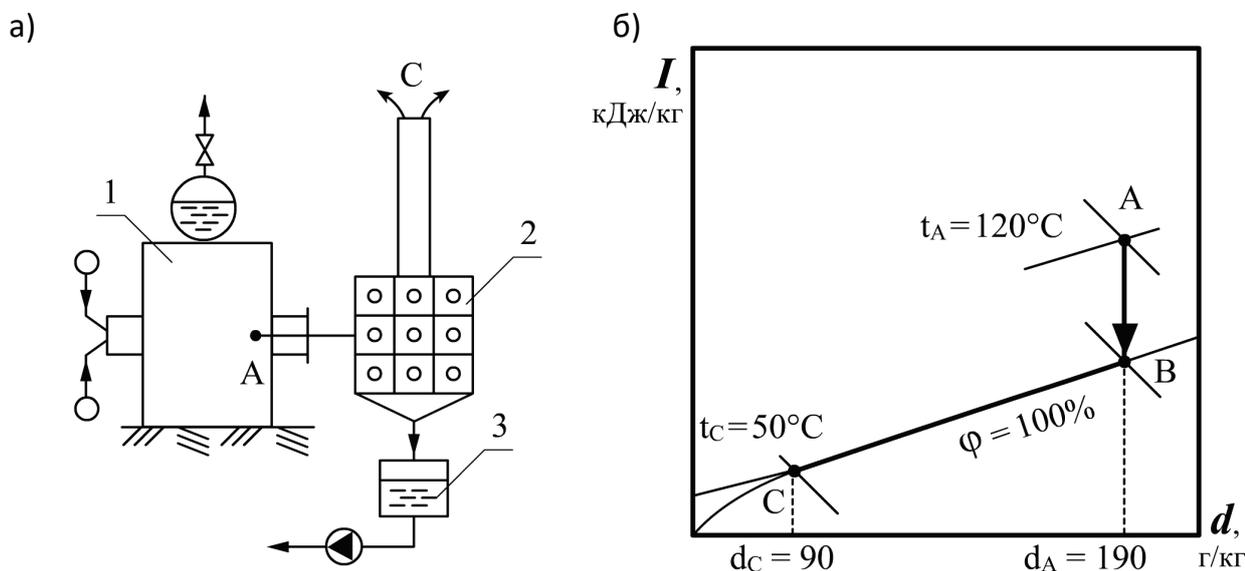


Рис. 8. Схема «глубокого» охлаждения уходящих газов в схеме котельной установки, работающей на естественной тяге (а), и процессы изменения состояния параметров уходящих газов на  $I$ - $d$ -диаграмме (б);  
1 – котёл; 2 – теплофикационный экономайзер; 3 – сборник конденсата

Количество выделяющейся теплоты за счёт физического охлаждения продуктов сгорания до температуры «точки росы» ( $t_B$ ):

$$Q_{A-B} = L_{\text{сг}} (I_A - I_B) = L_{\text{сг}} C_{\text{сг}} (t_A - t_B), \text{ кДж/ч},$$

где  $L_{\text{сг}}$  – массовый расход сухих продуктов сгорания, кг/ч;

$I_A, I_B$  – энтальпии продуктов сгорания соответственно в точках А и В, кДж/кг;

$t_A, t_B$  – температуры продуктов сгорания соответственно в точках А и В, °С;

$C_{\text{сг}}$  – средняя массовая теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(кг·°С).

Количество теплоты, выделяющейся при одновременной конденсации водяных паров и снижении температуры продуктов сгорания в теплофикационном экономайзере, составит

$$Q_{B-C} = L_{\text{сг}} C_{\text{сг}} (t_B - t_C) + \frac{L_{\text{сг}} (d_A - d_C) r}{1000}, \text{ кДж/ч},$$

где  $r$  – теплота парообразования условно постоянная в диапазоне температур от  $t_A$  до  $t_C$ ,  $r = 2500$  кДж/кг.

Энтальпия продуктов сгорания в точках А, В и С рассчитывается по формулам:

- в точке 1:

$$I_1 = c_{\text{сг}} t_1 + d_1 r \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг};$$

- в точке 2:

$$I_2 = c_{\text{сг}} t_2 + d_2 r \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг};$$

- в точке 3:

$$I_3 = c_{\text{сг}} t_3 + d_3 r \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг}.$$

Влагосодержание продуктов сгорания:

- в точке 1:

$$d_A = \frac{L_{\text{H}_2\text{O}}^A}{L_{\text{сг}}} \cdot 10^3, \text{ г/кг};$$

- в точке 3:

$$d_C = \frac{L_{\text{H}_2\text{O}}^C}{L_{\text{сг}}} \cdot 10^3, \text{ г/кг}.$$

Суммарная экономия условного топлива в результате внедрения схемы «глубокого» охлаждения уходящих газов равна

$$B_{\text{ут}} = \frac{L_{\text{сг}} C_{\text{сг}} (t_A - t_C)}{Q_i^r \eta} + \frac{L_{\text{сг}} (d_A - d_C) r}{1000 \cdot Q_i^r \eta}, \text{ кг/ч},$$

где  $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания условного топлива, кДж/кг;

$\eta$  – КПД топки (обычно  $\eta=0,9$ ).

Отличительной особенностью данной схемы является отсутствие дымососа, а также то, что дымовая труба монтируется над экономайзерной

поверхностью, чтобы образующийся конденсат стекал в экономайзер, а затем в сборник конденсата.

Основным требованием к внедрению такой схемы является применение антикоррозионных материалов или покрытий, предупреждающих возникновение коррозии как экономайзерной поверхности, так и дымовой трубы.

Применение схемы «глубокого» охлаждения уходящих газов позволяет увеличить КПД котельной установки на 2 – 3 % .

В существующих схемах котельных агрегатов дымовые газы удаляются с помощью дымососа, поэтому при снижении температуры уходящих газов в дымососе и в дымовой трубе будет происходить конденсация водяных паров, которая приведёт к их разрушению (рис. 9а).

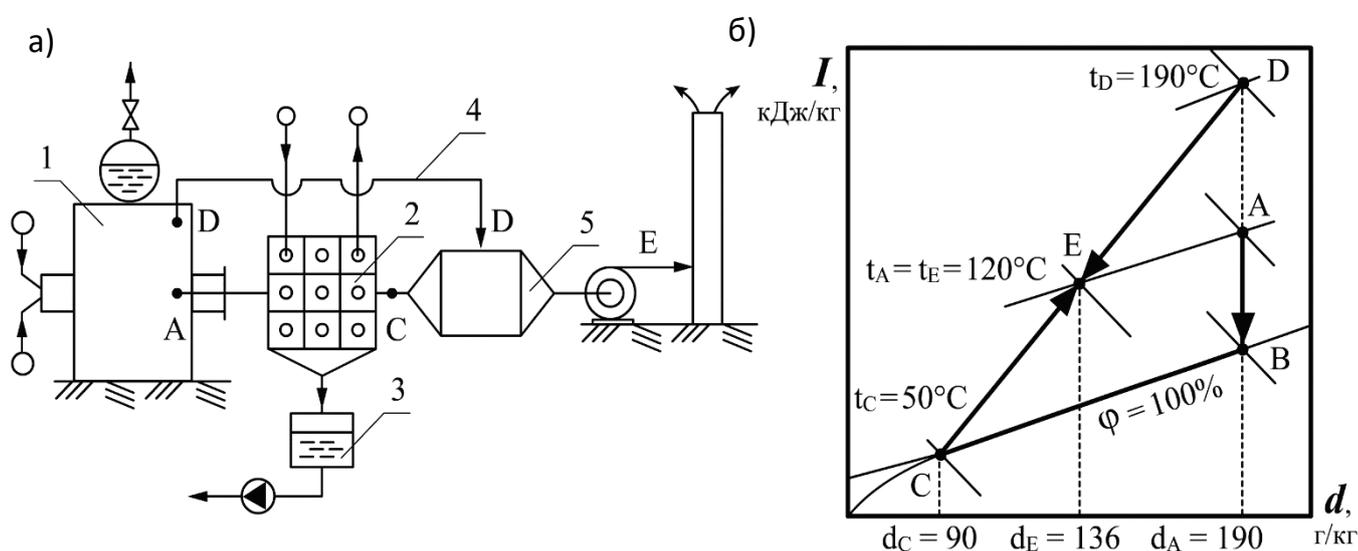


Рис. 9. Схема «глубокого» охлаждения уходящих газов с применением камеры смешения (а), а также процессы изменения продуктов сгорания на  $I$ - $d$ -диаграмме (б):

1 – котёл; 2 – теплофикационный экономайзер; 3 – сборник конденсата; 4 – байпасный газоход; 5 – камера смешения; А, В, С, D – параметры среды в соответствующих точках

Для предотвращения конденсации водяных паров в дымососе, газоходе «дымосос – дымовая труба» и в самой дымовой трубе предлагается устанавливать за теплофикационным экономайзером камеру смешения, в которую необходимо подавать высокотемпературные газы для получения, после смешения, температуры продуктов сгорания выше температуры точки росы и с этими параметрами направлять продукты сгорания в дымосос и дымовую трубу.

На рис. 9б показаны процессы изменения параметров газов в приведенной схеме. Дымовые газы с параметрами в точке А сначала охлаждаются в теплофикационном экономайзере до температуры точки росы (процесс А-В), затем происходит конденсация водяных паров с одновременным охлаждением газов (процесс В-С). Далее происходит процесс смешения отработавших и высокотемпературных газов (процесс Д-Е-С) в таком соотношении, чтобы получить начальную температуру (точка Е).

Экономический эффект в таких схемах достигается только за счёт конденсации водяных паров.

Количество теплоты, полученное при охлаждении продуктов сгорания  $Q_{A-C} = L_{ст} (I_A - I_C)$ , необходимо вернуть при нагревании смеси в камере смешения.

В промышленной энергетике имеются примеры разработки контактных газовых подогревателей для утилизации теплоты уходящих газов с целью повышения эффективности использования топлива и повышения КПД котельного агрегата.

### **Утилизация теплоты уходящих газов в контактном теплообменнике с активированными насадками (КТАН) и высокотемпературном подогревателе**

Контактный газовый подогреватель представляет собой камеру прямоугольного сечения, в которой происходит нагревание воды при непосредственном соприкосновении ее с горячими дымовыми газами в слое насадки. В качестве насадки используются керамические кольца Рашига размером  $50 \times 50 \times 3$ . Насадка уложена в два слоя на двух решетках. Нижний слой высотой 900 мм состоит из правильно уложенных, верхний – из беспорядочно уложенных колец (рис. 10).

Поступающая для подогрева химически очищенная вода распределяется по сечению с помощью параллельно установленных труб с отверстиями, обеспечивая подогрев воды от 20 до 50 °С.

Однако такая схема подогрева питательной воды имеет существенные недостатки, заключающиеся в насыщении продуктов сгорания водяными парами и их конденсацией в дымососе и трубе, дополнительной очистке питательной воды от растворённых газов.

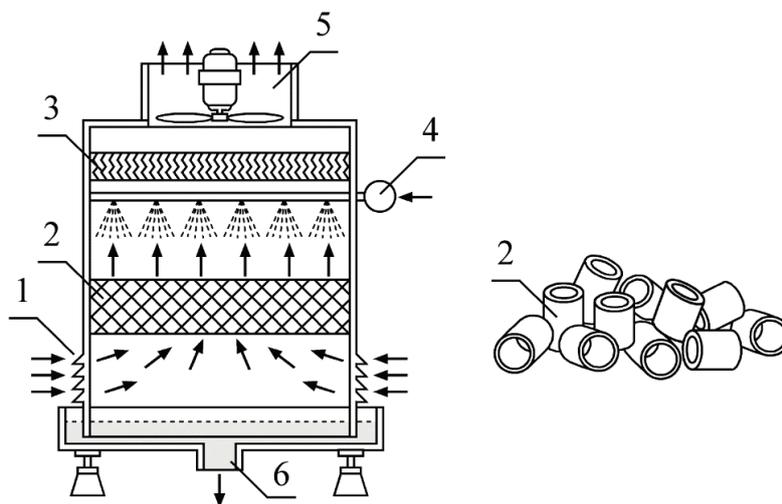


Рис. 10. Контактный теплообменник с активированной насадкой (КТАН):  
 1 – вход дымовых газов; 2 – первый слой насадки; 3 – второй слой насадки;  
 4 – орошающая вода; 5 – отвод газов; 6 – отвод тёплой воды

Уравнение теплового баланса контактного газового подогревателя имеет вид

$$Q_6 = L_{\Gamma} c_{\Gamma} (t_{\Gamma 1} - t_{\Gamma 2}) \varphi = L_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в} 2} - t_{\text{в} 1}),$$

где  $L_{\Gamma}$ ,  $L_{\text{в}}$  – массовые расходы дымовых газов и воды, кг/ч;

$t_{\Gamma 1}$ ,  $t_{\Gamma 2}$  – температуры газов на входе и выходе, °С;

$t_{\text{в} 2}$ ,  $t_{\text{в} 1}$  – температуры воды на входе и выходе, °С ;

$\varphi$  – коэффициент тепловых потерь.

Утилизация теплоты отработавших высокотемпературных газов, например, от методических печей, может производиться нагреванием воздуха в воздухоподогревателях с керамическими трубами (рис. 11).

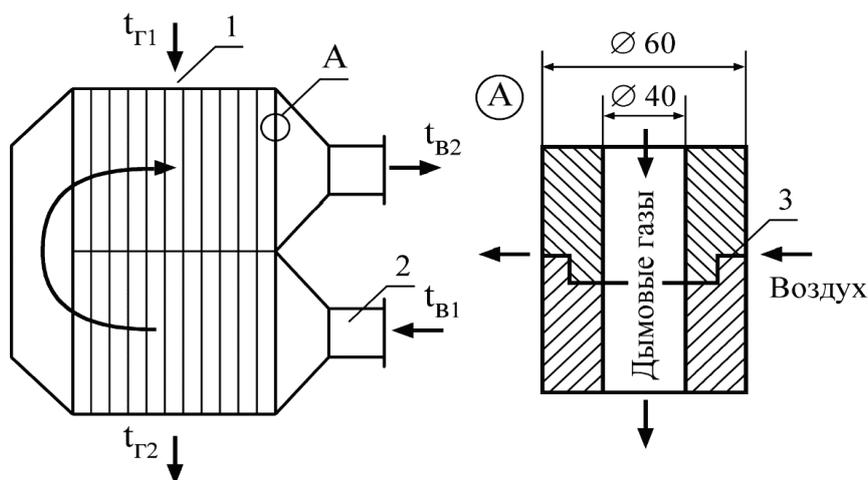


Рис. 11. Рекуперативный воздухоподогреватель с керамическими трубами:  
 1 – дымовые газы; 2 – воздух; 3 – соединение керамических труб

Однако при этом габариты воздухоподогревателя будут гораздо больше по сравнению с металлическими в связи с тем, что теплопроводность стали  $\lambda_{ст} = 168 \text{ кДж}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С})$ , а керамики –  $\lambda_{к} = 1,25 \text{ кДж}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С})$ .

Уравнение теплового баланса для подогревателя имеет вид

$$Q_6 = V_{г} c_{рг} (t_{г1} - t_{г2}) \varphi = V_{в} c_{рв} (t_{в2} - t_{в1}), \text{ кДж/ч},$$

где  $V_{г}$ ,  $V_{в}$  – объёмные расходы продуктов сгорания и воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $t_{г1}$ ,  $t_{г2}$  – температуры продуктов сгорания,  $^\circ\text{С}$ ;  
 $t_{в2}$ ,  $t_{в1}$  – температуры воздуха,  $^\circ\text{С}$ ;  
 $c_{рг}$ ,  $c_{рв}$  – теплоёмкости газов и воздуха,  $\text{кДж}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{С})$ ;  
 $\varphi$  – коэффициент тепловых потерь.

Поверхность воздухоподогревателя равна

$$F = \frac{Q_6}{k\Delta t} = \frac{V_{г} c_{рг} (t_{г1} - t_{г2}) \varphi}{k\Delta t}, \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи можно рассчитывать по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи от газового потока к внутренней поверхности труб и от наружной поверхности к потоку воздуха,  $\text{кДж}/(\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С})$ ;  
 $\Delta t$  – температурный напор,  $^\circ\text{С}$ ;  $\delta$  – толщина стенки трубы, м.

Экономическая целесообразность применения воздухоподогревателей такого типа определяется снижением расхода топлива для данной установки, который определится по формуле

$$V_{эк} = \frac{Q_{эк} \cdot \eta}{Q_i^r}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $Q_{эк}$  – сэкономленное количество теплоты,  $\text{кДж/ч}$ ;  
 $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива,  $\text{кДж}/\text{м}^3$ ;  
 $\eta$  – КПД энергетической установки.

Годовой экономический эффект равен

$$S = k_1 k_2 C_T, \text{ руб/год},$$

где  $k_1$  – число часов работы установки в сутки, ч;  
 $k_2$  – число дней работы установки в году, дн.;  
 $C_T$  – стоимость единицы топлива, руб/ед. топлива.

## ЛЕКЦИЯ 3

### Технологии производства газообразного и жидкого топлива из органических отходов

Одно из наиболее перспективных направлений энергетического использования биомассы – производство из неё биогаза, состоящего на 50–80 % из метана и на 20–50 % из углекислоты. Теплотворная способность такого газа составляет 20000–25000 кДж/м<sup>3</sup>.

История биогаза начинается еще в начале XVII века, когда бельгийский доктор Ян Баптист ван Гельмонт заметил, что выделяющийся из разлагающейся биомассы «воздух» хорошо горит. В то время считали, что метан – это просто испорченный при прохождении через мертвую органику воздух. Сам метан в биогазе обнаружил английский химик Хэмфри Дэви в самом начале XIX века, а первая установка по его промышленному получению была создана в Индии, в Бомбее, еще в 1859 году.

Ведущее место по производству биогаза занимает Китай. Начиная с середины 70 годов, в этой стране ежегодно строилось около миллиона метантенков. В настоящее время их количество превышает 20 млн штук. КНР обеспечивает до 30 % национальных потребностей в энергии за счет биогаза.

На втором месте в мире по производству биогаза – Индия. Ежедневное производство биогаза в этой стране составляет 3 млн куб. м.

Биогазовые установки успешно работают в восьми животноводческих хозяйствах Японии.

Существует два основных направления получения биогаза из отходов:

1. Свалочный газ, который получается на свалках из бытовых отходов.
2. Анаэробное сбраживание органического сырья – отходов животноводства.

#### Свалочный газ

Свалочный газ (лэндфилл-газ, англ. *landfill gas*, сокращённо *LFG*) – биогаз, образующийся в результате анаэробного разложения органической части твердых бытовых отходов (ТБО). Примерный состав такого газа приведен в табл. 2.

Таблица 2 – Типичный состав свалочного газа

Компонент	%
Метан, CH <sub>4</sub>	50–75
Углекислый газ, CO <sub>2</sub>	25–50
Азот, N <sub>2</sub>	0–10
Водород, H <sub>2</sub>	0–1
Сероводород, H <sub>2</sub> S	0–3
Кислород, O <sub>2</sub>	0–2

Гниение ТБО происходит под воздействием бактерий, принадлежащих к двум большим семействам: ацидогенов и метаногенов. Ацидогены производят первичное разложение ТБО на летучие жирные кислоты, метаногены перерабатывают летучие жирные кислоты в метан  $\text{CH}_4$  и диоксид углерода  $\text{CO}_2$ .

Свалочный газ собирают, предотвращая загрязнение атмосферы (к тому же, метан обладает сильным парниковым эффектом), и используют в качестве топлива для производства электроэнергии, тепла или пара, или в качестве автомобильного топлива.

Метан оказывает в 7 раз больше влияния на глобальное изменение климата, чем  $\text{CO}_2$ . Поэтому сбор метана – один из лучших способов предотвращения глобального потепления.

Как считают в США, типичный проект утилизации свалочного газа мощностью 4 МВт сокращает выбросы парниковых газов, эквивалентные выбросам 45 тыс. автомобилей. Для поглощения такого количества газов необходимо высадить лес на площади 24,3 тыс. га. Производимая проектом энергия позволяет сэкономить 59600 тыс. литров нефти в год.

На первом этапе строительства создаётся принимающая ёмкость (котлован), рассчитанный на 10–20 лет пользования. На дне котлована укладывается слой глины толщиной 1 метр (или полиэтиленовая плёнка) для предотвращения проникновения загрязнённых вод в почву. В процессе строительства ТБО вносятся в специальные ячейки в котлован порциями, соответствующими суточной норме его поступления на свалку. Каждая такая ячейка высотой от 2 до 4 метров изолируется глиной от предшествующих и последующих.

После заполнения котлована ТБО его закрывают «кровлей» – глиной, плёнкой, засыпают землёй, сверху высаживают траву. Котлован оснащается инженерными сооружениями для отвода жидких и газообразных продуктов разложения мусора. В теле котлована закладываются скважины, трубы, устанавливается насосное оборудование. Полученный газ передаётся по трубопроводам на электростанции, котельные, печи обжига, микротурбины и т.д. (рис. 12)

Первые 2–3 месяца из закрытого котлована с ТБО выходит, в основном,  $\text{CO}_2$ . Затем начинается выделение полноценного свалочного газа, которое продолжается до 30–70 лет. После 25 лет выработка метана начинает медленно сокращаться. После прекращения выработки газа территория, занятая котлованом, может быть вновь использована для повторного использования и переработки твердых бытовых отходов.

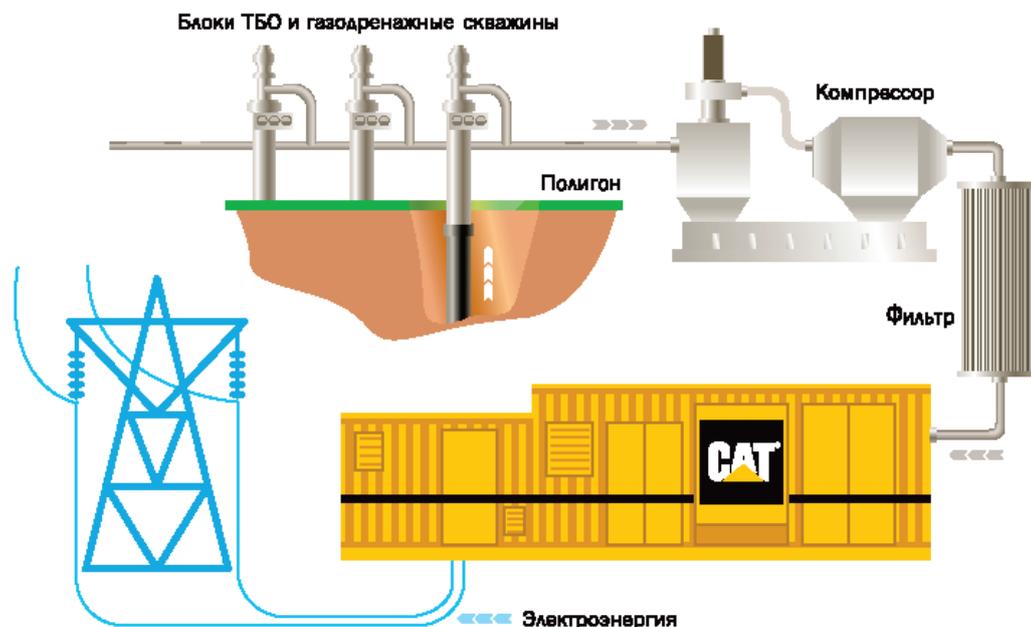


Рис. 12. Принципиальная схема получения свалочного газа

### **Анаэробное сбраживание органического сырья (метаногенерация)**

При анаэробном сбраживании биогаз образуется в процессе разложения органической субстанции определенными бактериями. Разные группы бактерий разлагают органические субстраты, состоящие преимущественно из воды, белков, жиров, углеводов и минеральных веществ на их первичные составляющие: углекислый газ, минералы и воду. Как продукт обмена веществ при этом образуется смесь газов, получившая название биогаз. В такой смеси горючий метан ( $\text{CH}_4$ ) составляет от 5 до 85 % от общего объема и является основным компонентом биогаза.

Для начала процесса сбраживания достаточно обеспечить следующие условия:

- поддержку анаэробных условий в реакторе;
- соблюдение температурного режима;
- доступность питательных веществ для бактерий;
- выбор правильного времени сбраживания, своевременную загрузку и выгрузку сырья;
- соблюдение кислотно-щелочного баланса;
- соблюдение соотношения содержания углерода и азота;
- выбор правильной влажности сырья;
- регулярное перемешивание;
- отсутствие ингибиторов процесса.

Анаэробное сбраживание обычно состоит из следующих стадий:

*Механическая подготовка.* Для того, чтобы повысить эффективность процесса сбраживания, такие материалы как пластик, металлы и компоненты большого размера удаляются из перерабатываемых отходов. После этого используется дополнительный процесс размола отходов для создания более однородного фракционного состава, что ускоряет ферментацию и облегчает переработку. Размол можно осуществлять с помощью шнеков, дробилок, барабанов, дефибреров или шредеров.

*Сбраживание.* Имеется ряд различных методов, используемых для эффективного сбраживания. Они обычно различаются по величине рабочей температуры (термофильные установки работают примерно при 50 – 65 °С, а мезофильные – при 20 – 45 °С) и влажности исходного сырья (например, сухие системы с 30 – 40 % сухого вещества, влажные системы с 10 – 25 % сухого вещества).

Биогаз получают на биогазовых станциях, основным компонентом которых являются метантенки (рис. 13).

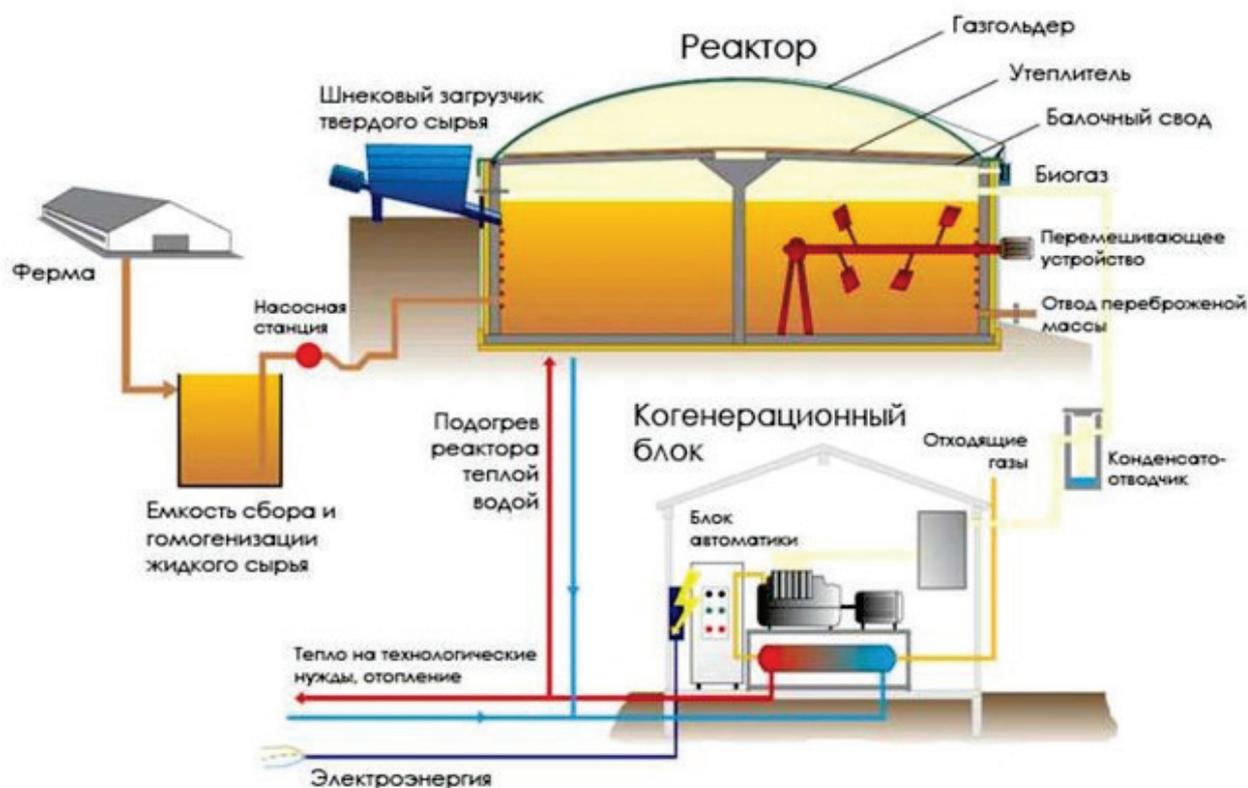


Рис. 13. Типовая схема установки анаэробного сбраживания

Конструкция метантенка зависит от характеристик исходного субстрата: влажности, размера частиц, наличия ингибирующих веществ, количества субстрата, поступающего на переработку, условий окружающей среды и т. д.

В зависимости от влажности субстратов выделяют 2 основных типа реакторов:

1. Вертикальный или реактор для влажной ферментации (для субстратов с влажностью более 85 %);
2. Горизонтальный или реактор для сухой ферментации (для субстратов с влажностью от 70 до 90 %).

Сегодня на рынке представлены несколько типов биогазовых реакторов:

1. Установка стандартного (холодного) сбраживания является самой простой по конструкции и характеризуется длительным периодом удерживания субстрата в реакторе (30–60 дней). Субстрат обычно дополнительно не нагревается и не перемешивается. В настоящее время установки стандартного сбраживания строятся редко, за исключением маленьких очистных сооружений.

2. Реакторы с высокой скоростью сбраживания. В реакторе субстрат нагревается с помощью теплообменников или пара и периодически перемешивается.

3. Двухстадийные реакторы. В таких установках первый реактор (аналогичен реактору с высокой скоростью сбраживания, имеет зону перемешивания) соединен со вторым резервуаром, который используется для хранения и дображивания субстратов.

По температурному режиму реакторы делят на мезофильные (температура сбраживания от 30 до 38 °С) и термофильные (температура сбраживания от 50 до 57 °С). Скорость анаэробного разложения органических веществ в термофильном реакторе выше, так как при повышении температуры увеличивается скорость биохимических реакций. Однако использование термофильных реакторов сопровождается большими затратами энергии, более низким качеством дигестата с большим количеством растворенных твердых частиц и более резким запахом, снижением стабильности процесса. Последнее обусловлено тем, что термофильные бактерии являются более чувствительными к колебаниям температуры, чем мезофильные.

### **Биодизельное топливо**

Биодизель – это многокомпонентное жидкое топливо, состоящее из метиловых или этиловых эфиров высших ненасыщенных и жирных кислот, получаемых в результате химической реакции, в основном путем этерификации растительных масел (рапсового, соевого, пальмового, подсолнечного, льняного и др.), а также путем переэтерификации жиров (животных и кормовых).

Биодизель обладает целым рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными видами нефтяного дизельного топлива:

1. Биодизель может быть изготовлен из различных возобновляемых масличных культур, таких как соя, кукуруза или рапс, а также животных жиров, микроводорослей.

2. В процессе производства и использования биодизельного топлива выбросы диоксида углерода и диоксида серы значительно сокращаются или отсутствуют вовсе. Сгорание биодизельного топлива происходит при

сокращении более чем на 90 % количества несгоревших углеводородов и на 75–90 % ароматических углеводородов. Выбросы оксида азота оцениваются практически также, как и у минерального дизельного топлива.

3. Использование биодизеля может продлить жизнь дизельных двигателей, т. к. он имеет более высокие, чем у нефтяного дизельного топлива, смазывающие характеристики, в то время как остальные (потребление топлива, автовоспламенение, мощность и крутящий момент) сопоставимы. Одновременно при работе двигателя осуществляется смазка его подвижных частей, в результате это приводит к увеличению срока службы двигателя на 60 %.

4. Данный вид топлива безопасен для транспортировки и использования, вследствие того, что оно обладает высокой температурой воспламенения (около 150 °С против 55 °С для нефтяного дизельного топлива), что облегчает его перевозку.

Существует несколько методов получения биодизельного топлива: процесс трансэтерификации, гидрокрекинг, пиролиз и др.

На рис. 14 схематично изображены основные стадии традиционного каталитического процесса получения биодизельного топлива.

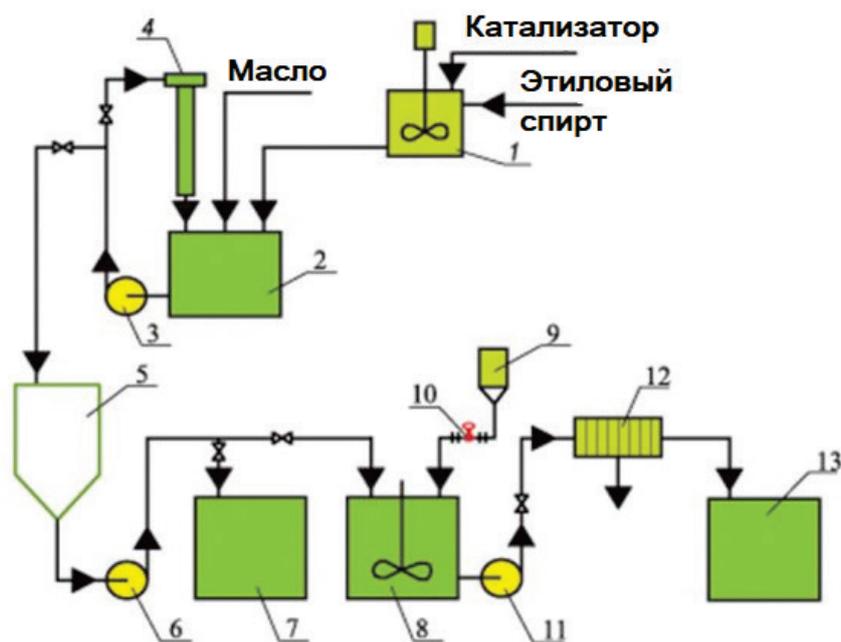


Рис. 14. Схема производства биодизеля:

- 1 – реактор для получения раствора катализатора; 2 – реактор для синтеза биодизеля; 3, 6, 11 – насосы; 4 – кавитационный реактор; 5 – отстойник для удаления глицероловой фракции; 7 – сборник глицерина; 8 – контактная емкость для смешивания адсорбента с биодизелем; 9 – бункер с адсорбентом; 10 – дозатор адсорбента; 12 – фильтр; 13 – емкость для биодизеля

В процессе реакции масло вначале нагревается до определенной температуры (для увеличения скорости реакции), а затем в него добавляется катализатор и спирт. Если применяется метанол – образуется метиловый эфир, если этанол – этиловый эфир. Для ускорения реакции также может применяться кислота. Смесь определенное время перемешивается и отстаивается. После отстаивания смесь расслаивается, образуя биодизель в верхнем слое (называемый химически «эфир»), затем слой мыла, и на дне остается глицерин.

Глицерин и мыльный слой впоследствии отделяются, а биодизель промывается различными способами для удаления остатков мыла, катализатора и других возможных примесей. После промывок он осушается для удаления остатков воды адсорбентом, например, сульфатом магния, который удаляется простой фильтрацией. Из одной тонны растительного масла и 111 кг спирта (в присутствии 12 кг катализатора) получается приблизительно 970 кг (1100 л) биодизеля и 153 кг первичного глицерина.

После завершения реакции на дне осаждается глицерин. Биодизель должен быть цвета меда, глицерин – более темного цвета. При поддержании температуры около 38 °С глицерин остается в жидком состоянии и может быть легко удален снизу смесителя отдельным шлангом. Глицерин, полученный из отработанных масел, обычно коричневый и твердеет при температуре 38 °С, глицерин из свежего масла остается в жидком состоянии при более низких температурах. Его можно использовать как побочный продукт, предварительно выпарив из него метанол нагреванием до 65,5 °С.

Качество получившегося продукта определяется, прежде всего, визуально и проверкой рН. На вид биодизель должен выглядеть как чистое подсолнечное масло. Не допускается наличие никаких взвесей, примесей, частиц или помутнений. Мутность означает присутствие воды, которая удаляется нагреванием.

## ЛЕКЦИЯ 4

### Зеленые сертификаты: мировой опыт и планы в России

#### Директива Европейского парламента Совета Европейского Союза 2009/28/ЕС от 23 апреля 2009 г. о стимулировании использования энергии из возобновляемых источников

Директива устанавливает:

- общую структуру мероприятий для стимулирования развития эффективных способов получения энергии из возобновляемых источников:
- обязательные государственные цели по достижению общей доли энергии из возобновляемых источников от энергопотребления в целом и доли энергии из возобновляемых источников в транспортном секторе;
- правила о статистической передаче энергии между государствами-членами ЕС, совместных проектах государств-членов ЕС и третьих стран, гарантиях происхождения, административных процедурах, информации и обучению, а также поступлению энергии из возобновляемых источников в сети электроснабжения;
- критерии экологичности для биотоплива и биожидкостей.

Глобальные цели некоторых государств-членов ЕС по достижению доли энергии из возобновляемых источников в общем финальном энергопотреблении в 2020 г. представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Глобальные цели государств

Государства	Доля энергии из возобновляемых источников в общем финальном энергопотреблении, 2005 г.	Цель по достижению доли энергии из возобновляемых источников в общем финальном энергопотреблении, 2020 г.
Дания	17,0%	30%
Германия	5,8%	18%
Эстония	18,0%	25%
Греция	6,9%	18%
Испания	8,7%	20%
Франция	10,3%	23%
Италия	5,2%	17%
Кипр	2,9%	13%
Латвия	32,6%	40%
Литва	15,0%	23%

## Основные положения Директивы:

1. Контроль энергопотребления в странах Европейского Союза и увеличение использования энергии из возобновляемых источников совместно с энергосбережением и повышением энергоэффективности являются важной частью комплекса мер, необходимых для сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу. Данные факторы также имеют большое значение для обеспечения безопасности энергоснабжения, стимулирования технологического развития и внедрения инноваций, а также для предоставления возможностей развития регионов, в особенности сельских и малонаселенных территорий, и создания новых рабочих мест.

2. Увеличение доли внедрения технологических инноваций, использование энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии в транспортном секторе являются одними из наиболее эффективных инструментов, посредством которых ЕС может снизить зависимость транспортного сектора, в котором проблема безопасности энергоснабжения наиболее актуальна, от импорта нефти, а также уменьшить влияние цены топливного рынка на транспортный сектор.

3. Отмечаются возможности обеспечения экономического роста путем внедрения инноваций и ведения устойчивой конкурентоспособной энергетической политики. Производство энергии из возобновляемых источников часто осуществляется малыми и средними предприятиями в регионах. Важны перспективы развития и создания новых рабочих мест, а также инвестирование в производство энергии из возобновляемых источников в государствах-членах ЕС и их регионах. Европейская Комиссия и государства-члены ЕС должны стимулировать методы развития данной сферы на региональном и государственном уровне, поощрять обмен информацией между региональными предприятиями о наиболее эффективных способах производства энергии из возобновляемых источников, а также содействовать привлечению конструктивного финансирования в данную сферу.

4. Поддерживая развитие рынка возобновляемых источников энергии, необходимо учитывать положительное воздействие рынка на возможности развития регионов, перспективы экспорта, социальное единение и возможности трудоустройства, в особенности для малых и средних предприятий и независимых поставщиков энергии.

5. В целях сокращения выбросов парниковых газов странами ЕС и снижения зависимости от импорта энергоресурсов, развитие использования энергии из возобновляемых источников должно быть тесно связано с повышением энергоэффективности.

6. Необходимо оказывать поддержку на этапе демонстрации и промышленного внедрения технологий децентрализованного производства энергии из возобновляемых источников. Продвижение технологий децентрализованного производства энергии имеет много преимуществ, в

частности, использование локальных источников энергии, повышение безопасности регионального энергоснабжения, сокращение пути энергопоставок и снижение потерь при энергопередаче. Подобная децентрализация также способствует развитию и единению сообщества через предоставление источников дохода и создание рабочих мест в регионах.

7. Необходимо создать единые прозрачные правила для подсчета доли энергии из возобновляемых источников и определения данных источников. В данном контексте необходимо учитывать энергию, присутствующую в океанах и других водоемах в виде волн, морских течений, приливов и отливов, градиента тепловой энергии и минерализации океана.

8. Использование сельскохозяйственных веществ, таких как компост, навоз и другие животные и органические отходы, для производства биогаза имеет значительные преимущества в сфере защиты окружающей среды. Биогазовые установки вследствие своей децентрализованности и структуры регионального инвестирования могут оказать значительное влияние на устойчивое развитие сельских регионов и предоставить фермерам новые возможности дохода.

Согласно Сообщению Европейской Комиссии от 10 января 2007 г. «Дорожная карта возобновляемых источников энергии – Возобновляемые источники энергии в XXI веке: построение надежного будущего», достижимой целью является доведение общей доли энергии из возобновляемых источников до 20 % и возобновляемых источников энергии в транспортном секторе – до 10 %. Данная схема, включающая в себя обязательные к выполнению задачи, должна обеспечить бизнес-сообществу долговременную стабильность. Для этого необходимо инвестирование в сектор возобновляемых источников энергии, что позволит снизить зависимость от импорта ископаемого топлива и увеличить использование новых технологий в энергетике.

**Зеленые сертификаты** – достаточно распространенный в мире инструмент учета (подтверждения происхождения) и поддержки возобновляемых источников энергии в электроэнергетике (применяются ко всем типам ВИЭ, включая солнечную энергию, энергию ветра, геотермальную энергию, энергию вод, энергию биомассы и др.).

Существуют рынки добровольных зеленых сертификатов и рынки с обязательствами (рис. 15). В первом случае речь идет о покупке сертификатов компаниями с корпоративными целями по доле ВИЭ в производстве или потреблении энергии для формирования положительного климатического имиджа. Во втором случае – об обязательствах компаний производить или потреблять энергию на основе ВИЭ для подтверждения достижения установленных целей (например, в рамках Стандартов применения ВИЭ (Renewable Portfolio Standards, RPS<sup>1</sup>) или квот). Если цена на зеленые сертификаты на добровольных рынках – результат баланса спроса и предложения, то на рынках с обязательствами на их цену оказывают влияние

альтернативные издержки достижения целей, определяемые величиной штрафов. Оба вида рынков могут действовать одновременно.

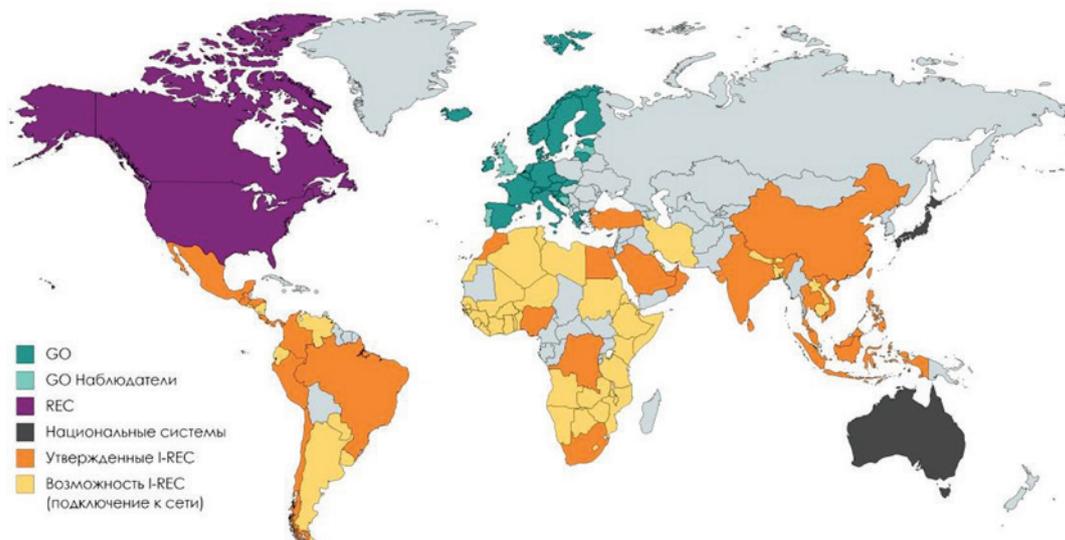


Рис. 15. Распространение зеленых сертификатов в мире

Зеленые сертификаты ЕС известны как «гарантии происхождения» (Guarantees of Origin, GO). Они получили развитие в 2001 году, благодаря европейским директивам поддержки ВИЭ – для учета «зеленой» электроэнергии конечными потребителями. В то время как учет является обязательным, страны могут сами определять его организацию. Для гармонизации «гарантий происхождения» Ассоциация органов сертификации (Association of Issuing Bodies, AIB) создала Европейскую систему сертификации электроэнергии (European Electricity Certificate System, EECSS), которая позволяет осуществлять трансграничную торговлю на оптовом рынке. AIB объединяет 24 органа сертификации из 21 страны, включая, помимо стран ЕС, Норвегию, Швейцарию и Исландию. Ряд стран имеют в ней статус наблюдателей.

Европейский рынок «гарантий происхождения» – добровольный. Перед странами ЕС стоят национальные цели по доле ВИЭ в энергобалансе на 2020 год, на 2030 год утверждена общеевропейская цель в 32 %. Конечные потребители электроэнергии в ЕС целями по ВИЭ не связаны, но «гарантии происхождения» позволяют им делать более осознанный потребительский выбор. Предложение на рынке «гарантий происхождения» в 2018 году, по данным AIB, выросло на 14 млрд кВт·ч – до 596 млрд кВт·ч, а спрос вырос на 60 млрд кВт·ч – до 520 млрд кВт·ч. Основной вклад (56 %) в развитие рынка продолжила вносить гидроэнергетика, а также энергия ветра, биомассы, солнечная и геотермальная энергия. При этом в странах Европы действуют и рынки зеленых сертификатов с обязательствами. В качестве примера можно привести объединенную систему электронных сертификатов ВИЭ Норвегии и Швеции, которая содержит квоту на ВИЭ для производителей и некоторых конечных потребителей.

В Северной Америке функционирует система сертификатов ВИЭ (Renewable Energy Certificate, REC): в юрисдикциях без установленных целей по ВИЭ – на добровольной основе, в юрисдикциях с установленными целями или Стандартами применения ВИЭ – на обязательной. В США Стандарты применения ВИЭ ввели 29 штатов, федеральный округ Колумбия и три территории, а цели по ВИЭ установили 8 штатов и 1 территория. Сертификаты ВИЭ в США иногда классифицированы в зависимости от типа ВИЭ: в первую группу попадают наиболее чистые технологии и новые проекты, во вторую и третью группу – биомасса и гидроэнергетика. Это характерно для штатов со Стандартами применения ВИЭ. Кроме того, выделяют «будущие» сертификаты ВИЭ, которые поддерживают новые проекты ВИЭ, в том числе еще не реализованные. Рынок сертификатов ВИЭ в США по итогам 2017 года впервые превысил 400 млрд кВт·ч, причем спрос на добровольном рынке рос быстрее, чем на рынке с обязательствами (хотя последний уверенно сохранил лидерство по объему).

За пределами Европы и Северной Америки большинство стран, заинтересованных в использовании зеленых сертификатов, ориентируются на международные стандарты. Наиболее востребованными из них стали международные сертификаты ВИЭ (International Renewable Energy Certificate, I-REC), запущенные в 2014 году. По данным RECS International, уже 25 стран адаптировали международные сертификаты ВИЭ, так что их количество в 2017 и в 2018 году удваивалось, достигнув около 14 млрд кВт·ч.

### **Планы по введению зеленых сертификатов в России**

Инициатором введения в России зеленых сертификатов является Ассоциация «НП Совет рынка», которая в 2018 году подготовила концепцию системы обращения сертификатов, подтверждающих производство электроэнергии с использованием ВИЭ. Доработанная Минэкономразвития России концепция легла в основу проекта соответствующего федерального закона, подготовленного во исполнение поручения Председателя Правительства Российской Федерации от 26 октября 2019 г. № ДМ-П13-9288.

В соответствии с законопроектом зеленый сертификат является электронным документом, выдаваемым по факту производства электроэнергии с использованием ВИЭ на квалифицированном генерирующем объекте в количестве и в течение периода времени, указанных в нем. Выдачу зеленых сертификатов будет осуществлять Совет рынка в добровольном порядке по заявлению владельца квалифицированного генерирующего объекта на основе ВИЭ, введенном в эксплуатацию после 2024 года в рамках механизма стимулирования использования ВИЭ на оптовом рынке. Совет рынка будет также вести соответствующий реестр. Зеленые сертификаты могут свободно отчуждаться и переходить от одного лица к другому до погашения или истечения срока действия. Погашение зеленых сертификатов осуществляется только

посредством обращения к Совету рынка для внесения соответствующих записей в реестр.

Для отработки возможностей использования платформенных и цифровых решений Совет рынка в рамках «Энерджинет» НТИ планирует запустить пилотный проект в московском регионе по цифровой идентификации электроэнергии, выработанной на основе ВИЭ, с использованием технологии блокчейн. По оценкам Совета рынка, цифровизация зеленых сертификатов повысит уровень достоверности, публичности и защиты получаемых данных, а также уровень безопасности и удобства для пользователей реестра. Это повысит доверие к системе обращения зеленых сертификатов, а также снизит транзакционные издержки участников и стоимость ее инфраструктуры.

В настоящее время инвестиции в генерацию на основе ВИЭ на ОРЭМ возвращаются главным образом в рамках реализации программы ДПМ ВИЭ (за счет повышенных платежей потребителей), действие которой заканчивается в 2024 году (меры на период после 2024 года пока не определены). Разработчики законопроекта ожидают, что в результате введения зеленых сертификатов производители электроэнергии получат новый источник возврата инвестиций в строительство объектов генерации на основе ВИЭ. Кроме того, потребители получают стимул для заключения с ними двусторонних договоров на покупку электроэнергии (продажа так называемых «связанных» зеленых сертификатов). Однако международный опыт показывает, что успешность использования зеленых сертификатов в качестве инструмента стимулирования развития генерации на основе ВИЭ во многом зависит от спроса на них со стороны покупателей. В случае низкого спроса цены на зеленые сертификаты будут непривлекательными для инвесторов.

Добровольный спрос на «зеленую» электроэнергию в России оценивается Советом рынка в 1,5–2,5 млрд кВт·ч в год (около 0,2 % потребления электроэнергии в России). Для сравнения, выработка электроэнергии на основе ВИЭ (ВЭС и СЭС) в ЕЭС России в 2018 году, по данным СО ЕЭС, составила около 1 млрд кВт·ч. Среди основных потребителей рассматриваются зарубежные компании, присутствующие на российском рынке и взявшие на себя добровольные обязательства по увеличению потребления «зеленой» электроэнергии (например, участники инициативы RE100). К потенциальным потребителям также относят российские компании-экспортеры, для которых зеленые сертификаты могут стать средством конкурентной борьбы на зарубежных рынках (углеродный протекционизм). В будущем добровольный спрос на «зеленую» электроэнергию в России вероятно будет формироваться и за счет других потребителей, в т. ч. и розничных, однако этот процесс вряд ли будет стремительным.

## ЛЕКЦИЯ 5

### Технологии управления парниковыми газами

В рамках комплексного пакета климатических мер «Fit for 55» 14 июля 2021 г. Еврокомиссия опубликовала предложение по введению так называемого Carbon Border Adjustment Mechanism (далее СВАМ) – механизма пограничной углеродной корректировки – инструмента, который для ЕС является необходимым шагом в борьбе с изменением климата.

СВАМ – это климатическая мера, которая должна предотвратить риск утечки углерода и поддержать цели ЕС по смягчению последствий изменения климата.

Введение СВАМ предусматривает отмену бесплатных разрешений на выбросы в рамках EU ETS для европейских производителей тех товаров, которые подпадают под СВАМ. Европейские производители должны будут покупать разрешения на EU ETS, и это обеспечит большую часть доходов ЕС от введения СВАМ: ежегодно 7 млрд евро, в то время как доходы ЕС от продажи самих сертификатов СВАМ импортерам к 2030 г. оцениваются лишь в 2,1 млрд. (EU ETS – схема торговли квотами на выбросы в Европейском Сообществе).

Управление механизмом СВАМ будет осуществлять Еврокомиссия и специально созданные компетентные органы в государствах-членах ЕС. Компетентные органы будут обмениваться любой релевантной информацией по СВАМ, а Еврокомиссия будет сопровождать и координировать их деятельность – выступать так называемым центральным администратором. Еврокомиссии будет помогать специальный Комитет по СВАМ.

### **Методы расчета углеродного следа для товаров (за исключением электроэнергии)**

Для товаров (за исключением электроэнергии) предлагается три варианта расчета выбросов:

1. Фактические выбросы на уровне производственной установки, заверенные аккредитованным верификатором.

2. В отсутствие данных по фактическим выбросам будут использоваться значения по умолчанию (т. н. «дефолтные значения»), установленные по средней углеродоемкости экспортирующей страны по каждому товару и увеличенные на наценку «mark-up» (ее методы расчета и размеры будут определены в подзаконных актах, которые пока не опубликованы).

3. Если у экспортирующей страны нет надежных данных по определенному товару, то будет применяться «дефолтное значение», установленное по средней углеродоемкости 10 % худших европейских установок, производящих данный/аналогичный товар.

## Методы расчета углеродного следа для электроэнергии

Для электроэнергии предусмотрено 4 варианта расчета углеродоемкости:

1. На основе «наиболее доступной информации» определяется «значение по умолчанию» (default value) для каждой страны-экспортера, группы стран-экспортеров или отдельных регионов стран. Это значение определяется на основе «фактора эмиссий CO<sub>2</sub>» – средневзвешенного показателя углеродоемкости электроэнергии. Этот показатель представляет собой результат деления совокупных эмиссий CO<sub>2</sub> в электроэнергетике (в данной географической зоне) на количество произведенной электроэнергии (гросс, то есть без вычета потребления электроэнергии на собственные нужды электростанций).

2. Если «значение по умолчанию» для страны / группы стран или региона (по методике п. 1 выше) определить не удастся (например, из-за недостатка надежных данных), то используется средний по ЕС «фактор эмиссий CO<sub>2</sub>» от тепловых электростанций на ископаемом топливе. Этот показатель представляет собой результат деления совокупных эмиссий CO<sub>2</sub> от тепловых электростанций на ископаемом топливе в Евросоюзе на количество произведенной ими электроэнергии (гросс, то есть без вычета потребления электроэнергии на собственные нужды электростанций).

3. Для стран, групп стран и регионов, имеющих существенные объемы перетоков электроэнергии с ЕС, предусмотрена еще одна возможность – доказать, что их средний фактор эмиссии CO<sub>2</sub> электроэнергии ниже значений, определенных по п. 1 и п. 2 выше. Этот способ не может быть применен для случаев реэкспорта электроэнергии (если электроэнергия, экспортируемая в ЕС, производится за пределами страны-импортера).

4. Индивидуальный расчет эмиссий CO<sub>2</sub> (и углеродоемкости) для отдельных декларантов (импортеров), удовлетворяющих ряду критериев, и регулярная верификация соответствия этим критериям.

Список критериев:

4.1. Наличие действующего контракта на поставку электроэнергии (PPA, power purchase agreement) непосредственно с производителем электроэнергии и ровно на тот ее объем, который импортируется в ЕС;

4.2. Прямое подключение электростанций производителя электроэнергии к энергосистеме ЕС либо доказательство отсутствия перегрузки электросетей во всех промежуточных узлах;

4.3. Наличие доступных сетевых мощностей по передаче декларируемого объема электроэнергии во всех промежуточных узлах энергосистемы, подтвержденное системными операторами страны происхождения электроэнергии, страны ее потребления и всех стран, участвующих в транзите. Временной интервал для сопоставительного анализа генерирующих мощностей (из п. 4.2) и сетевых мощностей – не более одного часа;

4.4. Соответствие критериям 4.1–4.3 проверяется аккредитованной организацией на основании как минимум ежемесячных отчетов.

### **Федеральный закон РФ «Об ограничении выбросов парниковых газов» № 296-ФЗ от 02.07.2021**

*Целью* настоящего Федерального закона является создание условий для устойчивого и сбалансированного развития экономики Российской Федерации при снижении уровня выбросов парниковых газов.

Ограничение выбросов парниковых газов осуществляется с соблюдением *следующих принципов*:

- 1) обеспечение устойчивого и сбалансированного развития экономики Российской Федерации при снижении уровня выбросов парниковых газов;
- 2) обязательность регулярного представления регулируемые организациями отчетов о выбросах парниковых газов;
- 3) обязательность выполнения целевых показателей сокращения выбросов парниковых газов;
- 4) добровольность реализации климатических проектов;
- 5) научная обоснованность, системность и комплексность подхода к ограничению выбросов парниковых газов.

*Меры по ограничению выбросов парниковых газов включают в себя*:

- 1) государственный учет выбросов парниковых газов;
- 2) установление целевых показателей сокращения выбросов парниковых газов;
- 3) поддержку в соответствии с законодательством Российской Федерации деятельности по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению поглощения парниковых газов.

Регулируемые организации, хозяйственная и иная деятельность которых сопровождается выбросами парниковых газов, масса которых эквивалентна 150 и более тысячам тонн углекислого газа в год, представляют отчеты о выбросах парниковых газов в установленные сроки, начиная с 1 января 2023 года.

### **Региональные программы в России**

Целенаправленной политики по управлению выбросами ПГ в России на федеральном уровне пока нет. И все же существуют программы и документы, определяющие основные направления национальной политики, определяющие выбросы ПГ в стране на долгосрочную перспективу. К ним можно отнести, прежде всего, «Энергетическую стратегию России на период до 2020 г.», федеральную программу «Энергоэффективная экономика». Направления государственной политики по проблеме изменения климата обобщаются и представляются в Национальных сообщениях РФ по РКИК.

Отсутствие ясной стратегии и политики по управлению выбросами ПГ в России существенно ограничивает стимулы к реализации программ и мер по борьбе с климатическими изменениями на региональном уровне. К сожалению,

сегодня для многих регионов и предприятий это стало реальным тормозом на пути привлечения «углеродных» инвесторов.

Тем не менее, целый ряд российских регионов достаточно активно готовится к участию в механизмах международного сотрудничества в области повышения энергоэффективности, энергосбережения, использования альтернативных источников энергии и т. д. Все эти меры позволяют одновременно снижать потребление ископаемых видов топлива и выбросы ПГ.

В различных регионах анализируются разные подходы к управлению выбросами. Одним из самых распространенных является разработка и реализация региональных программ повышения энергоэффективности и энергосбережения. В них предусматриваются меры по модернизации объектов тепловой энергетики, муниципальных котельных и т. д.

Активное участие в работе с региональными властями по вопросам снижения выбросов и увеличения стоков ПГ принимает, например, некоммерческое партнерство «Национальная организация по поддержке проектов поглощения углерода», работающая под эгидой Совета Федерации. По мнению экспертов этой организации, в настоящее время сложились условия для участия регионов России в механизмах Киотского протокола. Однако анализ реальных возможностей привлечения инвестиций в проекты и мероприятия, сокращающие выбросы парниковых газов, в обмен на так называемые «углеродные кредиты» показывает, что их будет не так много, как хотелось бы. Реальные выгоды получают те, кто первыми проявит инициативу и раньше других создаст на региональном уровне инфраструктуру, необходимую для использования Киотских механизмов.

В настоящее время проводится большая работа в регионах в целях формирования законодательной базы, портфеля инвестиционных проектов и создания системы учета и контроля выбросов парниковых газов, подготовки квалифицированных кадров.

Для запуска этих программ 3 июля 2003 г. в Костроме совместно с Администрацией Костромской области под эгидой Совета Федерации РФ прошел межрегиональный семинар «Энергоэффективная экономика – новые возможности для устойчивого развития»; 12–13 августа 2003 г. в Омске совместно с Администрацией Омской области под эгидой Совета Федерации РФ и Госстроя РФ была проведена международная конференция «Энергоэффективность и Киотский протокол».

Существует реальный интерес к сотрудничеству с Россией со стороны потенциальных партнеров, которые не смогут выполнить свои обязательства по Киотскому протоколу без использования механизмов гибкости. Прежде всего, это следующие страны: Италия, Ирландия, Дания, Нидерланды, Австрия, Канада и Япония. В Правительство России с инициативой подписания двусторонних Меморандумов о сотрудничестве по реализации Киотского протокола и использования его механизмов уже обращались правительства Швейцарии,

Дании, Швеции, Голландии, а также представители Экспериментального углеродного фонда Мирового банка. К сожалению, из-за несогласованности позиций заинтересованных министерств ни один из меморандумов так и не был подписан.

В процесс подготовки к реализации механизмов Киотского протокола в регионах уже вовлечено более 40 регионов РФ. К международному сотрудничеству по проблемам стабилизации выбросов парниковых газов проявляют интерес следующие регионы: Псковская, Московская, Ростовская, Орловская, Архангельская, Вологодская, Воронежская, Калининградская, Кемеровская, Кировская, Костромская, Новгородская, Новосибирская, Нижегородская, Омская, Оренбургская, Сахалинская, Свердловская, Тамбовская, Тверская и Челябинская области, Ставропольский край, РСО – Алания, Республика Хакасия.

В настоящее время реализация предусмотренных РКИК мер как элементов национальной политики предусмотрена и осуществляется в рамках ряда федеральных целевых программ (ФЦП), финансируемых из бюджетов различного уровня, а также за счет собственных средств предприятий. Так, меры, направленные на сокращение эмиссии ПГ и стабилизацию их уровня в соответствующих секторах экономики (энергетика, транспорт, промышленность, коммунальное хозяйство), предусмотрены в следующих ФЦП: «Энергоэффективная экономика» на 2002–2005 гг. и на период до 2010 г.; «Экология и природные ресурсы России» на 2002–2010 гг.; «Национальная технологическая база» на 2002–2006 гг.; «Модернизация транспортной системы России (2002–2010 гг.)»; подпрограмма «Реформирование жилищно-коммунального хозяйства» – в части регулирования цен на электроэнергию, природный газ, топливо – в рамках ФЦП «Жилище» на 2002–2010 гг.; «Повышение плодородия почв России на 2002–2005 гг.». Кроме того, соответствующие мероприятия предусмотрены в программах развития отдельных отраслей экономики, ФЦП социально-экономического развития регионов России и программах социально-экономического развития субъектов Российской Федерации.

В наиболее значимом в контексте выполнения обязательств РКИК топливно-энергетическом комплексе с целью обеспечения энергосбережения принято 43 региональных закона и 362 нормативных правовых акта. По инициативе Минэнерго России, в более чем 50-ти субъектах Российской Федерации приняты региональные программы энергосбережения. Кроме того, федеральными органами исполнительной власти принято 26 отраслевых программ энергосбережения, создано 25 фондов энергосбережения, действуют 62 центра энергосбережения.

В этих условиях России необходимо скорейшее внедрение административных и рыночных механизмов, стимулирующих снижение уровней выбросов ПГ на территории страны, формирование национальной политики и

мер (включая нормативную правовую базу), позволяющих использовать указанные механизмы в России. Реализация мер будет способствовать формированию государственной стратегии, стратегии действий субъектов Российской Федерации и предприятий по регулированию уровней выбросов ПГ и одновременно позволит создать необходимые предпосылки для инвестирования «климатических» проектов, позволит России быть активным участником создания международного рынка выбросов ПГ.

Большая часть мероприятий, направленных на снижение выбросов парниковых газов и увеличение их поглощения лесами и другими экосистемами, может и должна осуществляться в рамках существующих федеральных и региональных целевых программ, и не потребует выделения больших финансовых ресурсов. С целью выявления возможных пробелов следует провести инвентаризацию всех действующих программ и подпрограмм (как федеральных, так и региональных), а также функций органов исполнительной власти, выполняемых ими в соответствии с положением, с точки зрения охвата и обеспечения ими выполнения обязательств России по РКИК и Киотскому протоколу. Отдельных затрат потребует создание системы мониторинга выбросов/поглощения парниковых газов, которая будет иметь большое значение с точки зрения получения информации об эффективности использования энергетических ресурсов.

### **Национальное углеродное соглашение**

Многие российские компании также проявляют интерес к Киотскому протоколу и стремятся объединить свои усилия в продвижении на углеродный рынок. С этой целью летом 2003 г. было образовано некоммерческое партнерство «Национальное углеродное соглашение», основная цель которого – организация рынка социально ответственных, экологически направленных инвестиций, в том числе с целью повышения энергоэффективности, экологической безопасности и устойчивого развития России в целом.

Участниками некоммерческого партнерства являются РАО «ЕЭС России», группа МДМ, Роснефть, АФКСистема, представители крупнейших эмиттеров парниковых газов (ООО «Металлэнергофинанс» – дочерняя компания «Евразхолдинга»), Энергетический углеродный фонд, Управляющая компания «РусАл», Инновационно-технологический центр «Внешнауцприбор», инвестиционная компания «ЕвроЭнергоСбережение», АКБ «ЦентроКредит», «Банк Проектного Финансирования», ФГУП «Русэкотранс» и ЗАО «Финако-групп».

Общая эмиссия компаний, входящих в НУС, по предварительной оценке составляет 644 млн т CO<sub>2</sub>-эквивалента, из них:

- РУСАЛ – 40 млн т CO<sub>2</sub>;
- Евразхолдинг – 22 млн т CO<sub>2</sub>;
- МДМ групп – 25 млн т CO<sub>2</sub>;
- РусЕсоТранс – 64 млн т CO<sub>2</sub>.

Основные задачи партнерства – координация деятельности крупнейших российских корпораций в области практического использования механизмов Киотского протокола для привлечения масштабных инвестиций в проекты совместного осуществления по сокращению выбросов парниковых газов, генерация и сопровождение программ технического перевооружения производственных комплексов с целью повышения их энергоэффективности, организация национального эмиссионного рынка.

Партнерство открыто для вступления других членов, в том числе и иностранных компаний и корпораций, заинтересованных в реализации положений Рамочной конвенции ООН по изменению климата, использовании механизмов Киотского протокола для сокращения вредного антропогенного воздействия на окружающую среду и планетарный климат, организации международного сотрудничества по реализации масштабных инвестиционных проектов на территории Российской Федерации.

## ЛЕКЦИЯ 6

### Способы улавливания, утилизации и хранения парниковых газов

После заключения Парижского соглашения в 2015 г. внимание мирового сообщества все чаще обращается не только к повышению энергоэффективности, усилению роли возобновляемых источников энергии и переходу на низкоуглеродное топливо, но и к необходимости развития таких технологий, как улавливание, утилизация и хранение углерода (Carbon Capture, lization and Storage – CCUS). На сегодняшний день отмечается недостаток информации о местонахождении, пригодности и фактическом размере потенциальных хранилищ CO<sub>2</sub>. К тому же, несмотря на очевидные социальные и экологические преимущества от снижения выбросов диоксида углерода, проекты CCUS сопряжены с высокими затратами и, на текущий момент, в основном развиваются в странах, где действуют соответствующие меры регулирования и государственной поддержки.

Полная декарбонизация невозможна без прямого улавливания CO<sub>2</sub>. На рис. 16 показаны два возможных сценария динамики выбросов углекислого газа в ключевых отраслях мировой промышленности до 2050 г. по прогнозу Международного энергетического агентства (МЭА). Базовый сценарий включает текущие обязательства стран по ограничению выбросов за счет повышения энергоэффективности, а сценарий net-zero дополнительно учитывает снижение эмиссии углекислого газа благодаря проектам по улавливанию CO<sub>2</sub> и применению различных инновационных технологий.

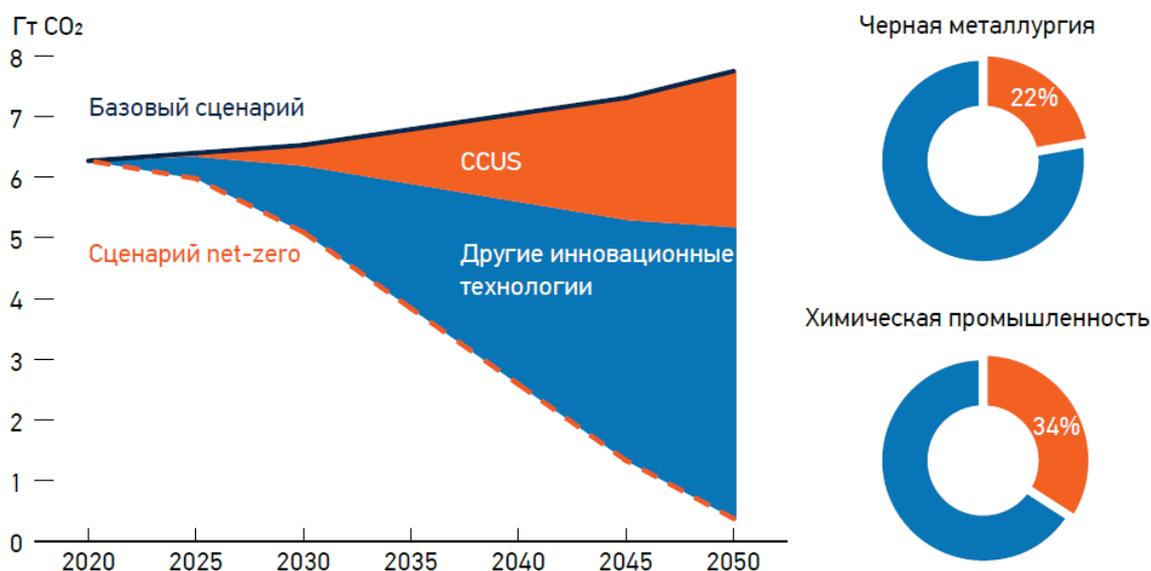


Рис. 16. Факторный прогноз снижения выбросов CO<sub>2</sub> в ключевых отраслях промышленности

Существует два решения для улавливания и хранения углерода: природный и промышленный. Природный включает в себя лесовосстановление, облесение и ряд других направлений землепользования. Промышленный – строительство установок по улавливанию диоксида углерода из воздуха и захоронение в резервуарах выработанных месторождений нефти и газа. Россия обладает самыми значительными лесными ресурсами в мировом масштабе, однако улавливающая способность наших лесов по ряду климатогеографических и экономических причин является невысокой и продолжает снижаться. В странах ЕС помимо природных проектов делают ставку на строительство промышленных установок по улавливанию CO<sub>2</sub> и поиск геологических ловушек для его захоронения.

Проекты CCUS представляют особый интерес для России, поскольку одним из основных способов утилизации уловленного CO<sub>2</sub> является последующее использование его в качестве агента в методах увеличения нефтеотдачи (МУН), в результате которых повышается как текущая добыча, так и конечный коэффициент извлечения нефти (КИН). Фактически, процесс использования CO<sub>2</sub> в качестве агента МУН является единственным изученным способом, который, в конечном итоге, может декарбонизировать ископаемые виды топлива.

Согласно стратегиям крупнейших европейских нефтегазовых компаний, нефть и газ будут играть доминирующую роль в мировом топливно-энергетическом балансе как минимум до 2035 г. Доход от продажи дополнительно добытой нефти может послужить источником финансирования проектов CCUS, что выгодно отличает данный тип климатических проектов от всех остальных. Так, вариант хранения в минерализованных водоносных пластах экономически неэффективен, хотя данные пласты могут обладать наибольшей емкостью для улавливания углекислого газа. Проекты утилизации будут востребованы еще на протяжении минимум 15 лет, а в дальнейшем созданную инфраструктуру можно будет использовать для хранения углерода.

В России пока нет ни одного промышленного проекта CCUS, однако развитая нефтегазодобывающая отрасль и огромный потенциал для хранения диоксида углерода являются наилучшей базой для их скорого появления. По ряду оценок теоретическая емкость хранилищ России значительно превышает потенциал остальных стран, однако большинство резервуаров требует усилий для их доведения до готовности к закачке. Важно отметить, что для успешной подготовки геологических хранилищ к промышленной эксплуатации необходима гармонизация российской классификации запасов нефти и горючих газов с международной классификацией ООН, учитывающей экологическую составляющую проектов.

CCUS – комплексный процесс, включающий в себя ряд технологий по улавливанию, транспорту и захоронению CO<sub>2</sub> с целью снижения общего объема выбросов на предприятии-эмитенте (рис. 17). По отдельности данные

технологии давно применяются в различных отраслях промышленности на протяжении как минимум 50 лет. К примеру, первый проект по коммерческой закачке  $\text{CO}_2$  в качестве агента для увеличения нефтеотдачи был реализован в 1972 г. На сегодняшний день суммарная мощность проектов CCUS в мире составляет 40 млн т  $\text{CO}_2$  / г., а для выполнения целей Парижского соглашения данные мощности должны быть увеличены в 100 раз, количество проектов доведено до 2 тыс. Рассмотрим технологию подробнее.



Рис. 17. Схема проекта CCUS с последующим использованием  $\text{CO}_2$  в качестве агента МУН

1. Улавливание  $\text{CO}_2$  – процесс захвата диоксида углерода из техногенного источника. На текущий момент коммерчески целесообразным источником с высокой концентрацией  $\text{CO}_2$  являются, прежде всего, промышленные предприятия и объекты электрогенерации, использующие ископаемое топливо в своем технологическом цикле. Улавливание – самая капиталоемкая часть CCUS, на нее приходится 60 – 70 % всех инвестиций. Сегодня все существующие технологии улавливания можно разделить на три категории: улавливание до сжигания, улавливание после сжигания, улавливание при сжигании в чистом кислороде.

Улавливание после сжигания происходит с помощью разделения дымовых газов на составляющие. В большинстве существующих проектов  $\text{CO}_2$  улавливается с помощью механических сепараторов и жидких растворителей, как правило, на основе аминов, образующих с диоксидом углерода устойчивую химическую связь. При нагреве связь разрушается,  $\text{CO}_2$  отделяется от раствора, сжимается и транспортируется. Амины проходят через процесс регенерации и возвращаются в производственный цикл. Данная технология называется химической абсорбцией, является хорошо изученной и широко распространена

в производстве пищевого углекислого газа. Примером реализации такой технологии является проект улавливания на угольной электростанции Petra Nova (США). Помимо использования механических сепараторов и жидких растворителей, существуют и другие технологии улавливания после сжигания, например, использование мембран, однако, они еще недостаточно изучены для коммерческого применения. В ходе улавливания до сжигания происходит предварительная конвертация топлива в газообразную смесь водорода и диоксида углерода. После этого  $\text{CO}_2$  отделяется от водорода на основе физической абсорбции, происходит его сжатие и транспортировка. Так как водород является самым легким из всех газов, то процесс сепарации не вызывает особых сложностей. Полученный голубой водород используется в качестве топлива для технологических процессов или выработки зеленой энергии. Данная технология улавливания используется компанией Shell на апгрейдерах битумов нефтеносных песков в проекте Quest (Канада). Процесс улавливания при сжигании в кислороде аналогичен обычному сжиганию с использованием воздуха, но здесь воздух заменен на чистый кислород. В результате такого сжигания образуется газовая смесь из водяного пара и  $\text{CO}_2$ , который можно отделить посредством охлаждения и компрессии газового потока, получив тем самым высококонцентрированный поток углекислого газа. Существует некоторый опыт применения данной технологии, например, в стекольной промышленности, но на текущий момент она является одной из наименее изученных.

2. Процесс транспортировки диоксида углерода во многом похож на транспортировку природного газа. Перед транспортировкой требуется осушить  $\text{CO}_2$  в целях предотвращения конденсации и коррозии. После этого можно использовать существующие способы транспортировки: трубопроводный, авто- и железнодорожные цистерны для перевозки СУГ и СУГ-газовозы. Рассмотрим подробнее каждый из способов.

Трубопроводный транспорт является и, как предполагается, продолжит оставаться основным способом транспортировки больших объемов  $\text{CO}_2$  для целей утилизации и захоронения. На текущий момент в мире протяженность трубопроводов только для углекислого газа составляет уже порядка 7 тыс. км, а диаметр труб достигает 921 мм, что сопоставимо с диаметром магистральных газопроводов. При этом по самым скромным оценкам только в Европе протяженность трубопроводов для выполнения плана развития технологий хранения  $\text{CO}_2$  должна составить около 18 тыс. км. По сравнению с метаном, термобарические свойства диоксида углерода существенно благоприятнее для транспортировки: при температурах от  $-20$  до  $+30^\circ\text{C}$  давление испарения  $\text{CO}_2$  составляет от 20 до 70 атмосфер, что позволяет транспортировать диоксид углерода в жидком состоянии при относительно невысоких давлениях. Так, метан при данных температурах и давлениях в основном пребывает в газообразном состоянии. При этом рядом экспертов отмечается технологическая

простота транспортировки углекислого газа в сжиженном или сверхкритическом состоянии по сравнению с транспортом чисто газовой фазы. Кроме того, среднее расстояние между компрессорными / насосными станциями составляет около 300–400 км против 100–150 км при транспортировке природного газа.

Транспортировка  $\text{CO}_2$  в авто- и железнодорожных цистернах целесообразна при малых объемах. На некоторых из существующих проектов CCUS используются автоцистерны, однако ряд организаций сходится во мнении, что данный способ транспортировки вряд ли будет играть значительную роль в будущем.

Транспортировка  $\text{CO}_2$  посредством газозовов является хорошей альтернативой трубопроводам в прибрежных регионах. Малотоннажные суда грузоподъемностью до 1 тыс. т с пищевым углекислым газом уже курсируют по внутренним рекам и омывающим Европу морям. Крупнотоннажные газозовы  $\text{CO}_2$  с грузоподъемностью до 40 тыс. т во многом похожи на СУГовозы. Транспортировка СУГ танкерами осуществляется на протяжении уже практически 70 лет. В данной области накоплен большой опыт, который при необходимости можно будет применять к морскому транспорту диоксида углерода.

По мере увеличения потребности в захоронении углекислого газа будет расти количество проектов CCUS и, как следствие, спрос на разветвленную газотранспортную сеть, представляющую собой комбинации трубопроводного и водного транспорта.

3. Под утилизацией / захоронением углекислого газа чаще всего понимается процесс закачки  $\text{CO}_2$  в геологическую ловушку с целью повышения нефтеотдачи. Если утилизация диоксида углерода при  $\text{CO}_2$ -МУН возможна только посредством закачки в нефтяное месторождение и только при соблюдении определенных критериев применимости, то его захоронение уже возможно как в выработанных нефтегазовых месторождениях, так и в высокоминерализованных водоносных горизонтах. Существуют и другие способы утилизации и захоронения углекислого газа, однако, на текущий момент именно использование диоксида углерода в качестве МУН признается наиболее коммерчески успешным среди всех проектов CCUS, хотя стоит отметить, что данный процесс является крайне зависимым от цены на нефть.

44 % всех проектов МУН в мире – закачка углекислого газа. Под применением  $\text{CO}_2$  в качестве МУН понимают воздействие им в больших количествах (30 % и более нефтенасыщенного парового объема) на пласт-коллектор. Показателем эффективности закачки является достижение смесимости диоксида углерода с нефтью. При смешивающемся вытеснении практически исчезает граница раздела фаз между вытесняющим агентом ( $\text{CO}_2$ ) и нефтью, что увеличивает текущую добычу и повышает коэффициент извлечения. Примечательно, что в реальных проектах при закачке  $\text{CO}_2$  наблюдается снижение охвата пласта-коллектора на 20–30 % по сравнению с

заподнением, но данное падение компенсируется лучшими вытесняющими свойствами диоксида углерода.

Режим вытеснения при закачке углекислого газа зависит от минимального давления смесимости (Minimum Miscibility Pressure – ММР), которое, в свою очередь, является уникальной характеристикой нефти и зависит, прежде всего, от ее плотности и компонентного состава. На текущий момент рядом ученых предложены корреляции для оперативного определения ММР, что позволяет оперативно провести скрининг месторождений на предмет применимости закачки CO<sub>2</sub>. Приняв в расчет только плотность нефти и глубину пласта, можно сделать вывод о том, что на 80 % всех мировых запасов нефти можно применять закачку CO<sub>2</sub> в качестве МУН.

В России на сегодняшний день нет ни одного промышленного проекта CCUS, однако развитая нефтегазодобывающая отрасль и огромный потенциал для хранения диоксида углерода являются хорошим основанием для их появления в ближайшие несколько лет. По оценкам МЭА и МПТ, теоретическая емкость российских хранилищ углекислого газа значительно превышает потенциал других стран (рис. 18).

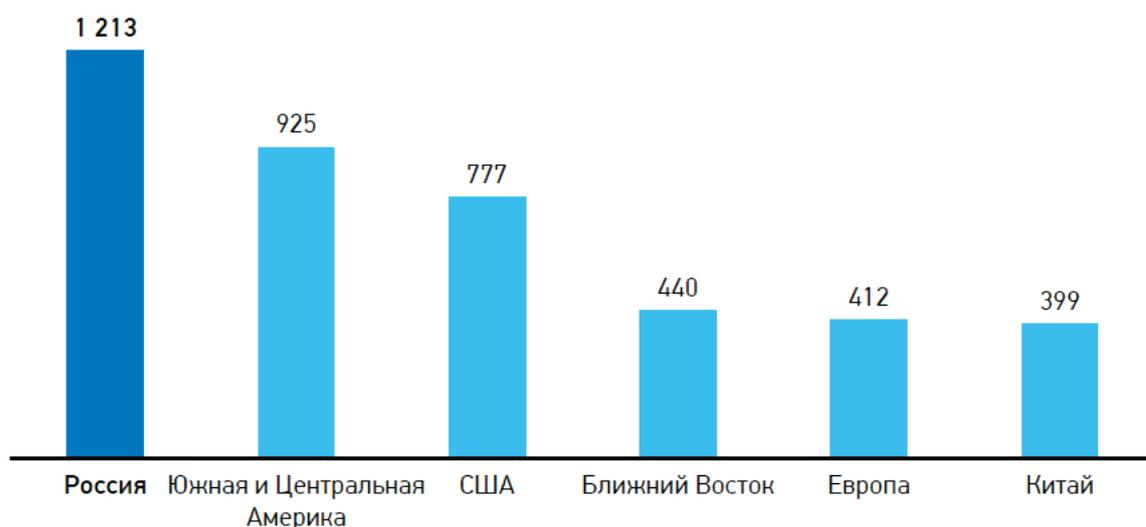


Рис. 18. Теоретический потенциал захоронения CO<sub>2</sub> в осадочных бассейнах (залежи нефти и газа, водоносные горизонты и др.) по регионам, Гт

## ЛЕКЦИЯ 7

### Инвестиционные «углеродные» проекты

Целый ряд предприятий различных отраслей, включая крупную и малую энергетику, нефтегазовую промышленность, лесное хозяйство, готовят и представляют потенциальным инвесторам проекты, связанные со снижением выбросов или увеличением поглощения углерода.

Форматы представления таких проектов, в принципе, разработаны, однако могут варьироваться в зависимости от заказчика-инвестора. Как показывает опыт, никаких особых сложностей в подготовке российских проектов нет, необходима лишь достаточно подробная информация и команда специалистов, которые могут заполнить соответствующие формы заявки на финансирование проекта.

Обычно в заявке-проекте требуется представить следующую информацию:

- описание владельца проекта и партнеров по проекту;
- текущая ситуация, исторический контекст реализации проекта;
- источники выбросов ПГ и границы проекта;
- описание технического решения, предлагаемого в проекте, возможных альтернатив;
- анализ ключевых внешних и внутренних факторов, которые могут оказать воздействие на проект;
- определение базового сценария развития ситуации без проекта, оценка выбросов;
- оценка выбросов в случае реализации проекта, расчет сокращения выбросов;
- представление плана мониторинга проекта;
- оценка воздействия проекта на окружающую среду;
- анализ финансовых и экономических показателей проекта.

Могут также потребоваться некоторые дополнительные документы, необходимые в случае реализации любого инвестиционного проекта, а также, например, письма поддержки от правительства или региональной администрации.

#### Опыт иностранных компаний

##### Торговля квотами в British Petroleum

В 1999 г. компания BP создала собственную пилотную систему торговли квотами на выбросы парниковых газов и распространила ее на все подразделения компании в январе 2000 г. Цель, объявленная компанией, состояла в том, чтобы сократить выбросы ПГ на 10 % ниже уровня 1990 г.

Каждая бизнес-единица компании получила квоты на выбросы ПГ с учетом 2 % сокращения выбросов, запланированного на 2001 г. Предприятиям было разрешено переуступать квоты друг другу. Сформировался внутренний рынок квот, суммарный оборот которого в 2001 г. составил более 4,55 млн. т CO<sub>2</sub>-эквивалента.

В 2001 г. цена квот колебалась от 7 до 99 долл./т CO<sub>2</sub>, достигая максимума в

мае–июле и октябре–декабре. В среднем за год цена составила 39,63 долл./т CO<sub>2</sub>. Для сравнения, в 2000 г., когда рынок был только «запущен» компанией, его объем составил 2,7 млн. т CO<sub>2</sub>-экв. при средней цене 7,6 долл./т. Столь значительная разница объясняется более жестким ограничением выбросов в 2001 г., при котором у продавцов несколько раз возникал дефицит квот.

Цель по ограничению выбросов компанией была достигнута задолго до объявленного 2010 г. – уже в конце 2001 г. За прошедшее время компания не только получила бесценный опыт управления выбросами в условиях рынка квот на выбросы ПГ. Политика ВР позволила уже сегодня получить экономические выгоды от снижения выбросов ПГ за счет меньшего расхода топлива на производственные цели, утилизации попутного газа и других мер, которые оцениваются компанией примерно в 650 млн. долл. (показатель чистой приведенной стоимости в течение 8 лет).

Система торговли квотами стимулировала подразделения компании к реализации широкого спектра проектов по сокращению выбросов. Многие проекты были связаны с разработкой новых технологий или инновациями в применении уже существующих технологий в различных отраслях промышленности.

В качестве примеров можно привести строительство новой теплоэлектростанции для химического завода в Великобритании (сокращение 150 тыс. т CO<sub>2</sub> в год), энергетический проект в Техасе (122 тыс. т), минимизация факельного сжигания попутного газа в Тринидаде (141 тыс. т) и др.

Однако компания не останавливается лишь на собственных выбросах ПГ. По некоторым оценкам, выбросы от использования потребителями продукции, произведенной ВР, в 10 раз превосходят выбросы, связанные с ее производством. Поэтому ВР разрабатывает планы содействия в снижении выбросов ПГ у своих клиентов.

Таким образом, уже сейчас ВР на деле готова к участию в международном углеродном рынке. Она активно участвует в создании углеродного рынка в Великобритании, первые торги на котором прошли в марте 2002 г., представляет интересы промышленности в специальной рабочей группе по разработке национальной системы торговли квотами. Большое значение уделяется также международным проектам в рамках Киотского протокола, к разработке которых компания приступила задолго до его вступления в силу.

### **Корпоративная система Shell**

Компании группы Shell приняли на себя обязательства по активным действиям в области предотвращения изменения климата, включая ограничение выбросов ПГ от собственных операций, а также содействие своим клиентам в этой сфере. Предусмотренные компанией меры относятся, прежде всего, к повышению энергоэффективности и использованию возобновляемых источников энергии.

Согласно планам компании, прогнозируемый рост бизнеса 3 % в год не

приведет к увеличению выбросов ПГ. Для этого будут использованы имеющиеся возможности по повышению энергоэффективности, утилизации попутного газа, сокращение сжигания газа на факелах и др.

За три года корпоративная программа по участию в углеродном рынке получила существенное развитие:

1999 г. – разработана процедура оценки и определены потенциальные проекты «чистого развития» в рамках группы компаний Shell.

2000 г. – разработана и внедрена пилотная система торговли квотами (STEPS) для подразделений компании, расположенных в странах Киотского протокола. Цель – сокращение выбросов ПГ на 2 % к концу 2002 г.

2001 г. – создана «Группа по торговле природоохранными продуктами» (Environmental Products Trading Team). Группа, возглавляемая опытным специалистом по торговле квотами на выбросы, отвечает за применение Киотских механизмов во всей группе компаний Shell.

2002 г. – подразделение Shell в Великобритании вступает в добровольную национальную систему торговли выбросами. Ключевые предприятия этого подразделения получили ограничения на выбросы ПГ.

Создано новое специализированное торговое бизнес-подразделение, которое активно изучает возможности использования механизма чистого развития для группы Shell, в том числе через программу правительства Нидерландов CERUPT и другие подобные схемы.

Shell активно поддерживает развитие рыночных механизмов для управления выбросами ПГ в рамках Киотского протокола. Компания уже выполнила Киотские обязательства по снижению выбросов ПГ на 5 % по сравнению с уровнем 1990 г. и предполагала снизить выбросы еще на 5 % в 2022 г. В ближайшее десятилетие компания продолжит снижать выбросы за счет следующих запланированных мероприятий:

- Дальнейшее инвестирование в энергоэффективные проекты компании.
- Скорейший отказ от эмиссии газа при добыче нефти. Постоянное проветривание должно быть завершено к 2023 г., постоянное факельное сжигание – к 2028 г.

Помощь клиентам компании в снижении выбросов ПГ включает:

- Предоставление видов топлива, содержащих меньшее количество углерода, например, природного газа, для отопления и выработки энергии, сжиженного газа для автомобилей, возобновляемых источников энергии.

- Инвестирование в развитие альтернативных источников энергии, особенно солнечной энергетики и биотоплива.

- Увеличение поставок природного газа, расширение газифицированного энергоснабжения (по сравнению с углем сжигание газа приводит почти к двукратному снижению выбросов CO<sub>2</sub>).

- Развитие альтернативных технологий использования топлива автомобилями, например, переход на водород.

– Вложение средств в бизнес, связанный с выращиванием леса для поглощения углерода.

– Исследование возможностей по коммерческому использованию технологий по абсорбции ПГ из атмосферы.

Компания понимает, что для выполнения киотских обязательств государства будут использовать различные инструменты регулирования выбросов ПГ. Уже сейчас она включает в расчеты инвестиционной привлекательности новых проектов углеродную составляющую и постоянно исследует возможности по сокращению выбросов ПГ.

Немаловажно и то, что Shell планирует активно участвовать в подготовке международной системы торговли квотами на выбросы ПГ, предоставлять практическую помощь в разработке национальных и международных систем углеродного рынка, использовать возможности механизмов Киотского протокола. При этом компания готова к проведению регулярной инвентаризации выбросов ПГ, публикации отчетов и независимой верификации данных о выбросах.

### **Отечественный опыт реализации «углеродных» проектов**

**Архангельский ЦБК** является одним из крупнейших в России целлюлозно-бумажных предприятий. Комбинат занимает первое место по объему производства картона, второе место в России по варке целлюлозы и пятое место по объему производства товарной целлюлозы. Численность занятых – 7,3 тыс. человек.

Продукция комбината поставляется более чем в 40 стран мира. В 2002 г. оборот комбината составил 230 млн долларов, за 11 месяцев 2003 г. было продано продукции на 250 млн долларов. На экспорт поставляется около 50 % производимой комбинатом продукции.

Как и большинство российских предприятий, АЦБК испытал сложности перехода к рынку. Однако в настоящее время Архангельский ЦБК является динамично развивающимся предприятием, что позволяет планировать не только восстановление объемов производства до уровня 1990 г., но и дальнейшее наращивание производство до 1 млн тонн в год целлюлозы по варке. При этом речь не идет о возврате к ситуации 1990 г., а о расширении и модернизации производства на основе внедрения наиболее прогрессивных технологий. Во главу угла ставится задача экологизации производства, сокращения его энерго- и ресурсоемкости и вредного воздействия на окружающую среду.

С этой целью на комбинате разработана и принята специальная экологическая политика, предусматривающая, в частности, организацию и ведение производства в соответствии с действующими российскими и международными природоохранными стандартами, а также сертификацию системы управления окружающей средой по стандартам ИСО 14001. АЦБК последовательно реализует политику устойчивого лесопользования в соответствии со стандартами Лесного Попечительского Совета (FSC).

Систематическая работа по реконструкции и модернизации производства ведется на комбинате с 1996 г. В результате реализации первого проекта по

реконструкции картоноделательной машины № 2 уменьшилась потребность в сжигании привозного ископаемого топлива (угля и мазута), что привело к снижению выбросов в атмосферу вредных веществ и парниковых газов. Проект осуществлялся с привлечением средств займа Всемирного банка в рамках Российской программы организации инвестиций в оздоровление окружающей среды. При сметной стоимости проекта около 11,5 млн долл. сумма займа Всемирного банка на проект составила 7 млн долл.

По оценкам специалистов Центра экологических инвестиций, выполнявших оценку воздействия на окружающую среду, реализация проекта привела к заметному уменьшению риска дополнительной заболеваемости и смертности, обусловленного неблагоприятным воздействием экологических факторов. В пересчете на абсолютные показатели эффект исчисляется не менее чем десятком человеческих жизней в год.

В 1997 г. на комбинате было остановлено сульфитное производство, которое отличалось высоким уровнем износа основных фондов, высокой энергоемкостью и не соответствовало экологическим требованиям. В результате реализации этих и других мер удалось в 3,5 раза сократить вредные выбросы в р. Северная Двина и уменьшить выбросы в атмосферу вредных веществ. Сегодня комбинат практически не вывозит на свалку кородревесные отходы – они утилизируются на месте в качестве топлива. Более того, комбинат утилизирует до 120 тыс. тонн в год коры и древесных отходов, образующихся на соседних лесопильных заводах. В перспективе ставится задача утилизации (сжигания) ила с очистных сооружений, что позволит полностью исключить его вывоз в отвалы.

На цели модернизации и перевооружения производства АЦБК в среднем расходует около 20 млн долларов в год. Некоторые из этих затрат финансируются из собственных средств комбината, для других привлекаются долгосрочные кредиты и займы. Так, на реконструкцию второго корьевого котла Всемирный банк выделил комбинату новый заем на сумму 7 млн долларов сроком на 7 лет.

В рамках своей экологической доктрины Архангельский ЦБК уделяет большое внимание вопросам смягчения климатических изменений в соответствии с Рамочной Конвенцией ООН по изменению климата и Киотским протоколом. Специалисты комбината считают, что Киотский протокол и предусмотренные в нем механизмы гибкости создают вполне благоприятную среду для вовлечения бизнеса в решение задачи ограничения и сокращения выбросов парниковых газов на принципах экономической выгоды. Они позволяют сокращать выбросы там, где это наиболее экономически целесообразно, и получать через систему торговли квотами и совместную реализацию проектов премию за сокращение выбросов.

Силами специалистов Центра экологических инвестиций выполнена инвентаризация выбросов парниковых газов на комбинате за период 1990–2002 гг. в соответствии с международной методикой. Отчет об инвентаризации прошел независимую экспертизу с участием международных экспертов и получил высокую оценку, как и действующая на комбинате система

учета расхода топлива и других ресурсов, использование которых связано с выбросами парниковых газов. Впоследствии специалистами Центра экологических инвестиций были уточнены некоторые коэффициенты эмиссии и рассчитаны выбросы парниковых газов от источников АЦБК за период с 1990 по 2002 гг. на ежегодной основе.

Основным источником выбросов парниковых газов на комбинате является сжигание ископаемого топлива в ТЭЦ и в известерегенерационных печах. На их долю приходится свыше 95 % всех прямых выбросов АЦБК, в том числе на долю ТЭС – свыше 90 %.

По данным инвентаризации, с 1990 по 2002 гг. прямые выбросы парниковых газов на комбинате сократились на 32,8 %, или на 970,8 тыс. тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента. При этом в расчете на тонну целлюлозы по варке выбросы сократились с 3,21 тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента в 1990 г. до 2,72 тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента в 2002 г., или на 15,3 %.

Это стало возможно благодаря снижению энергоемкости производства и увеличению доли древесного топлива в топливном балансе. По сравнению с началом 1990-х гг. энергоемкость основного производства на АЦБК, рассчитанная для одного и того же объема выпуска продукции, сократилась на 15,9 %, а доля щелоков и кородревесных отходов возросла с 28 до 39 %. Характерно, что в 2000–2002 гг. при росте объема варки целлюлозы на 10,3 % к уровню 1999 г. абсолютное снижение валовых выбросов парниковых газов составляло около 9,5 %. Это было связано с тем, что расход угля снизился за этот период на 2,5 %, мазута – на 38 %, а расход вторичных топлив (щелоков и кородревесных отходов) возрос соответственно на 6 % и на 36 %.

В перспективе ставится задача сократить удельные выбросы парниковых газов еще, как минимум, на 4,4 % и достичь уровня 2,6 тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента на тонну целлюлозы по варке.

С учетом этого комбинат взял на себя добровольное обязательство в период с 2018 по 2022 гг. не превысить уровень выбросов парниковых газов в 2600 тыс. тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента в год, что составляет 88 % от уровня выбросов 1990 г.

Для достижения поставленной цели на комбинате внедряется система корпоративного учета и управления выбросами парниковых газов. Для разработки такой системы Архангельский ЦБК заключил соглашение с Центром экологических инвестиций и неправительственной организацией «Защита природы» (США). По окончании этой работы комбинат планирует присоединиться к Партнерству действий по защите климата – международной организации, объединяющей крупнейшие мировые компании с целью совместной реализации мер по сокращению выбросов парниковых газов на принципах экономической эффективности с использованием механизмов Киотского протокола.

## ЛЕКЦИЯ 8

### Основные меры государственной политики РФ в области энергоэффективности

**Основные направления** государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в 2018 г.:

- Реализация комплексного плана мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики Российской Федерации (утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2018 г. № 703-р).
- Обеспечение энергетической эффективности при закупках товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд. Введение классов энергетической эффективности общественных зданий, строений, сооружений.
- Совершенствование требований к программам энергосбережения и повышения энергетической эффективности.
- Реформирование системы энергетических обследований и введение института декларирования потребления энергетических ресурсов государственными учреждениями.
- Развитие государственной информационной системы (ГИС) «Энергоэффективность».

**Цели** реализации потенциала энергосбережения, снижения энергоемкости ВВП, повышения энергетической эффективности экономики Российской Федерации могут быть достигнуты за счет *следующих мероприятий*:

- Последовательное и непрерывное совершенствование существующих технологий и внедрение передовых технологий (при производстве, передаче и использовании энергии у конечного потребителя), таких как, например, парогазовые установки, установки комбинированной выработки электричества и тепла, электрификация и газификация транспорта, современные энергоэффективные конструкции зданий и теплоизоляционные материалы, установки регулируемого электропривода, энергоэффективные светильники и системы управления освещением, ИТП с погодным регулированием, современные приборы учета потребления энергетических ресурсов и т. д.
- Вывод на конкурентный уровень по совокупной стоимости жизненного цикла возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, биомасса, биогаз и т. д.) по сравнению с традиционными источниками энергии.
- Внедрение всеобъемлющего учета потребления всех видов ресурсов и совершенствование правил такого учета, создание возможностей для потребителя объективно управлять потреблением ресурсов.

- Модернизация системы тарифообразования, направленной на установление рыночных стимулов для внедрения энергосберегающих мероприятий.
- Установление целевых показателей повышения энергоэффективности для экономики в целом и по наиболее энергоемким отраслям, механизма управления и контроля за реализацией программ по достижению указанных целей.
- Развитие и диверсификация механизмов государственного стимулирования повышения энергетической эффективности.
- Популяризация энергосбережения и стимулирование энергосберегающего поведения потребителя.

Реализация вышеуказанных мероприятий должна быть предусмотрена обновленной комплексной программой повышения энергоэффективности экономики Российской Федерации.

### **Обеспечение энергетической эффективности зданий, строений, сооружений**

Во исполнение поручения Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2019 г. № ВМ-П9-2751 Минэкономразвития России разработан проект федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и Градостроительный кодекс Российской Федерации в части установления класса энергетической эффективности общественных зданий, строений, сооружений». Законопроектом предусмотрено установление обязательного определения класса энергетической эффективности для построенных, реконструированных или прошедших капитальный ремонт и вводимых в эксплуатацию общественных зданий, а также возможность определения класса энергетической эффективности по решению собственников для эксплуатируемых общественных зданий.

Наличие класса энергетической эффективности служит источником информации о рациональности расходования энергетических ресурсов при обслуживании здания, отражает степень комфорта в процессе его эксплуатации, а также является инструментом для оценки и сравнения энергопотребления различных зданий. Возможность существенно снизить эксплуатационные расходы стимулирует потребителей к выбору зданий с более высоким классом энергетической эффективности, что, в свою очередь, мотивирует проектирование и строительство новых зданий с высоким классом энергетической эффективности или модернизацию находящихся в эксплуатации зданий с целью повышения их энергоэффективности.

Значительный эффект от экономии энергетических ресурсов в жилищно-коммунальном секторе достигается за счет внедрения технологий, имеющих высокую энергетическую эффективность. Такие технологии применяются при

строительстве МКД с повышенными классами энергетической эффективности и при реконструкции (капитальном ремонте) существующего жилого фонда: установка теплоизоляции ограждающих конструкций, энергоэффективного светового оборудования, оснащение приборами учета (коллективными и индивидуальными) энергетических ресурсов, установка систем автоматизированного дистанционного сбора показателей потребления ресурсов, установка ИТП с автоматическим погодным регулированием температуры теплоносителя и т. д.

### **Классы энергетической эффективности многоквартирных жилых домов**

В Российской Федерации на конец 2018 г. насчитывалось 1 110 977 многоквартирных домов. Среди них 598 730 МКД (54 %) с пониженным классом энергетической эффективности (Е, F, G), а также с неопределенным классом энергетической эффективности.

В 2018 г. Было введено в эксплуатацию 3 636 многоквартирных домов с предварительным классом энергетической эффективности не ниже С1, что составило 27 % от суммарного количества введенных МКД в стране (13 457 ед.). Преимущественное большинство вводимых в эксплуатацию МКД – это дома с высоким потреблением энергетических ресурсов (табл. 5).

Таблица 5 – Сведения о распределении введенных МКД по классам энергетической эффективности в 2018 г.

Количество введенных МКД в 2018 г., в том числе, ед.:		13 457
Класс энергетической эффективности МКД	A	823*
	B	1 847
	C	966
	D	9 748
	E	85
	F	14
	G	19
Количество введенных МКД с классом энергетической эффективности не ниже С, ед.	2018 г.	3 636
	2017 г.	2 618

*\* в том числе с учетом МКД с классами энергетической эффективности A+ и A++.*

В России насчитывается 48 МКД с наивысшими классами энергетической эффективности.

По сравнению с прошлым годом в 2018 г. ввод МКД с предварительным классом энергоэффективности не ниже С по Российской Федерации увеличился на 27 %.

Здания с высочайшим классом (A++, A+) энергетической эффективности потребляют на 50–60 % меньше энергетических ресурсов, чем здания с нормальным классом (D) в данном регионе при аналогичных условиях, здания с высоким классом (A, B) – на 30–50 %, здания с повышенным классом (C) – на 15–30 %. Размер оплаты коммунальных платежей в таких домах меньше, чем в домах с пониженными и низкими классами энергетической эффективности.

Стоимость строительства энергоэффективного МКД с классом энергетической эффективности (A++, A+, A, B, C) на 10–25 % выше стоимости МКД с нормальным (D) и пониженными (E, F, G) классами энергетической эффективности. При этом плата за коммунальные услуги в энергоэффективном МКД ниже на 30–60 %, чем в МКД с нормальным или с пониженным классом энергетической эффективности. Таким образом, дополнительная стоимость энергоэффективного МКД окупается за счет экономии на коммунальных платежах.

### **Инициативы и предложения в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности**

По итогам проведенного мониторинга состояния энергоэффективности в Российской Федерации Минэкономразвития России прорабатываются следующие инициативы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

*В системе управления*, а именно в государственных программах федеральных органов исполнительной власти и субъектов Российской Федерации, по-прежнему нет оценки показателей энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Вместе с тем наличие данных показателей позволит установить объективные измеримые цели и, как следует из международной практики, позволит повысить уровень энергетической эффективности в стране. В долгосрочной перспективе целесообразным является рассмотреть возможность разработки и утверждения концепции повышения энергетической эффективности (по группам потребителей) экономики Российской Федерации, с учетом положений которой могут быть разработаны документы стратегического планирования и дорожные карты более низкого уровня.

*В части технологического регулирования* целесообразно предусмотреть внедрение требований по энергетической эффективности в отраслевые стандарты и технические требования, а именно в строительстве новых зданий, строений, сооружений. Предлагается также разработать типовые комплексные проекты и рекомендаций по повышению энергетической эффективности в жилищном секторе.

*В части финансовых стимулов* необходимо расширить количество инструментов, которые будут использоваться для привлечения инвестиций в мероприятия по повышению энергетической эффективности, в особенности в тех сферах, которые признаны приоритетными по критериям экономической эффективности и социальных эффектов.

*В части отраслевых инициатив* предлагается отказаться от малоэффективных источников света и осуществить полный переход на светодиодное освещение уличного и дорожного хозяйства страны.

*В сфере учета энергетических ресурсов* необходимо продолжить оснащение потребителей приборами учета всех ресурсов, а также создать интеллектуальную информационную среду по передаче данных об объеме потребления энергетических ресурсов потребителем.

*В сфере применения индивидуальных тепловых пунктов* с автоматическим погодным регулированием следует разработать и закрепить на законодательном уровне типовые механизмы экономической поддержки внедрения данного мероприятия в жилом секторе.

### **Развитие ГИС «Энергоэффективность»**

ГИС «Энергоэффективность» предназначена для автоматизации большей части процессов, связанных со сбором, обработкой, систематизацией, анализом и использованием сведений об основных показателях энергетической эффективности, содержащихся в том числе в представляемых в Минэкономразвития России энергетических паспортах, составленных по результатам энергетических обследований, и декларациях о потреблении энергетических ресурсов.

Кроме того, ГИС «Энергоэффективность» позволит автоматизировать значительную часть процессов, связанных с управлением энергосбережением и повышением энергетической эффективности, а также по раскрытию необходимой информации в соответствии с законодательством Российской Федерации.

В 2018 году в законодательство Российской Федерации в области энергосбережения и повышения энергоэффективности были внесены многочисленные изменения, повлекшие за собой необходимость модернизации существующей ГИС «Энергоэффективность».

В настоящее время Минэкономразвития России ведется работа по развитию ГИС «Энергоэффективность», в рамках которой предполагается разработать средства автоматизации сбора, представления, анализа следующих сведений:

– о требованиях законодательства Российской Федерации об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о ходе реализации его положений;

- об энергоемкости экономики Российской Федерации (в том числе ее отраслей), о потенциале снижения такой энергоемкости, о наиболее эффективных проектах и достижениях в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности:
- о наилучших мировых и российских достижениях в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- об установленных требованиях к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности, обобщенные по видам деятельности указанных организаций;
- о региональных, муниципальных программах в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, программах в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства или муниципального образования и о ходе реализации мероприятий, предусмотренных такими программами;
- об объеме снижения потребляемых государственными, муниципальными учреждениями энергетических ресурсов и воды и о сопоставимых условиях, влияющих на определение объема снижения потребляемых государственными, муниципальными учреждениями энергетических ресурсов и воды;
- об оснащенности приборами учета используемых энергетических ресурсов, обобщенные относительно государственного, муниципального, частного жилищных фондов, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, организаций с участием государства или муниципального образования;
- о практике заключения энергосервисных договоров (контрактов), в том числе энергосервисных договоров (контрактов), заключенных для обеспечения государственных или муниципальных нужд, и об объеме планируемой экономии энергетических ресурсов при реализации энергосервисных договоров (контрактов);
- о продукции, технологических процессах, связанных с использованием энергетических ресурсов и имеющих высокую энергетическую эффективность, о наиболее результативных мероприятиях по энергосбережению, о перспективных направлениях энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Вышеуказанные работы позволят создать универсальную информационную среду в области управления энергосбережением и энергоэффективностью путем размещения доступной через Интернет информации.

## ЛЕКЦИЯ 9

### Энергосбережение в ЖКХ

В настоящее время применение энергоэффективных технологий является одним из приоритетов в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), так как способствует более экономичному использованию ресурсов, сокращению тарифов на услуги ЖКХ и повышению качества предоставляемых услуг.

Особенно актуален вопрос энергоэффективности для России, где, по данным официальной статистики Правительства РФ, износ основных фондов жилищно-коммунального хозяйства уже превысил 60 %. В среднем по стране износ котельных составляет 54,5 %, коммунальных водопроводных сетей – 65,5 %, канализации – 62,5 %, тепловых сетей – 62,8 %, электросетей в ЖКХ – 58,1 %. При этом российская система централизованного теплоснабжения является самой большой в мире. На долю России приходится до 45 % мирового централизованного производства тепловой энергии.

Для повышения энергоэффективности и, как следствие, улучшения качества и комфорта проживания в эксплуатируемых МКД целесообразно проведение так называемого энергоэффективного капитального ремонта.

Рассмотрим наиболее важные мероприятия, проводимые в рамках такого ремонта:

- утепление и ремонт фасада;
- ремонт крыши;
- ремонт внутридомовых инженерных систем отопления и (или) водоснабжения;
- установка узлов управления и регулирования потребления ресурсов;
- ремонт или замена лифтового оборудования;
- ремонт подвальных помещений, относящихся к общему имуществу в МКД, и фундамента здания;
- другие виды работ.

#### **1. Повышение теплозащиты наружных стен**

Одним из важнейших элементов теплового баланса здания является теплоизоляция наружных стен.

На практике устройство дополнительной теплозащиты стен осуществляется двумя основными способами: монтаж тепловой изоляции с наружной или внутренней стороны стены. Иногда встречается конструктивно-технологическое решение устройства теплозащиты зданий с расположением утеплителя с наружной и внутренней стороны стены одновременно.

Конкретный вариант расположения теплозащиты устанавливается на основе анализа всех возможных способов ее устройства с учетом их достоинств и недостатков.

Вариант с расположением теплоизоляционного материала на внутренней поверхности стены обладает следующими **достоинствами**:

- Теплоизоляционный материал, как правило, не имеющий достаточной способности к сопротивлению воздействиям внешней среды, находится в благоприятных условиях, и его дополнительная защита не требуется.

- Производство работ по устройству теплозащиты может идти в любое время года независимо от способа крепления.

К **недостаткам** расположения теплозащиты с внутренней стороны помещения относятся следующие.

- Уменьшение площади помещения за счет увеличения толщины стены.

- Необходимость устройства дополнительной теплозащиты в местах примыкания к наружным стенам внутренних стен и перегородок с целью предотвращения выпадения конденсата.

- Необходимость защиты теплоизоляционного материала и стены от конденсата путем устройства пароизоляционного слоя (перед теплоизоляционным материалом).

- Необходимость отселения жильцов.

- Сложность устройства теплоизоляции в местах расположения приборов отопления.

Вариант расположения теплозащиты с наружной стороны стены обладает **существенными достоинствами**. К ним относятся следующие.

- Создание защитной термооболочки, исключающей образование «мостиков холода».

- Исключение необходимости устройства пароизоляционного слоя.

- Возможность защитить стыки крупнопанельных зданий от протечек.

- Создание нового архитектурно-художественного облика здания.

- Возможность одновременно с устройством теплоизоляции исправить дефекты стены.

- При устройстве теплоизоляции с наружной стороны стены не уменьшается площадь помещений.

**Существенными недостатками** этого варианта являются необходимость устройства надежного защитного слоя для теплоизоляции, а также использование при выполнении работ дорогостоящих средств подмащивания (любая временная конструкция, стационарная, подвесная или передвижная и ее опорные компоненты, которые используются в качестве опоры для размещения людей и материалов или для обеспечения доступа на любую такую конструкцию и которые не являются «подъемным механизмом»). Дополнительная теплозащита должна отвечать конструктивным, технологическим и эстетическим требованиям.

В первую очередь, конструкция теплозащиты должна быть долговечной и надежной. Долговечность определяется сроком службы. Для ее достижения необходимо, чтобы защищающая конструкция была устойчивой к длительному воздействию температур, химически и биологически стойкой. При расположении теплозащиты с наружной стороны стены она должна быть

морозостойкой. Для достижения надежности защищающих конструкций необходимо, чтобы они были огнестойкими, ограничивали или не допускали попадание влаги внутрь конструкции.

Для достижения технологических требований конструкция дополнительной теплозащиты должна быть:

- индустриальной (иметь высокий уровень заводской готовности);
- транспортабельной;
- простой в монтаже;
- ремонтпригодной (возможность замены элементов теплоизоляции без больших затрат времени и рабочей силы).

Теплозащита стен здания будет удовлетворять эстетическим требованиям, если она вписывается в окружающую застройку, интерьер и имеет архитектурно-художественную выразительность.

В целом при правильно проведенном утеплении наружных стен (фасада здания) теплопотери здания могут снизиться до 35 %.

## **2. Повышение теплозащиты верхнего покрытия крыши, совмещенного с кровлей**

**Крыша** – это часть здания, которая служит защитой от атмосферных осадков, перепада температур, солнечной радиации, ветра и даже от вредных выбросов промышленных предприятий. Кровельное покрытие (кровля) должно быть устойчивым ко всем вышеперечисленным явлениям.

Одним из наиболее распространенных видов кровли являются плоские кровли. Они широко применяются как в гражданском, так и в промышленном строительстве. Плоские кровли могут быть как с чердачным помещением, так и без него (совмещенные кровли).

Совмещенная кровля в зависимости от конструктивного решения может иметь до семи слоев (считая снизу):

1) панель перекрытия – в виде сплошных или многопустотных железобетонных плит;

2) пароизоляция – слой мастики или синтетической пленки, рулонного материала на битумной или битумно-полимерной основе;

3) теплоизоляция – слой засыпного, монолитного или плитного теплоизоляционного материала, обеспечивающего в совокупности с другими материалами требуемую величину сопротивления теплопередаче. Засыпные утеплители применяют только для создания уклона, с последующей укладкой на него плитного утеплителя. Уклон необходим для водоотвода;

4) стяжка, которая предназначена для выравнивания поверхности утеплителя и создания необходимой прочности на сжатие основания под кровлю и возможности устройства водоизоляционного ковра. Выполняют ее из цементно-песчаного раствора, мелкозернистого асфальтобетона (при устройстве в осенне-зимний период);

5) основной водоизоляционный ковер – может быть выполнен из рулонных или мастичных материалов. Рулонный ковер выполняется из битумных или битумно-полимерных материалов с армирующей синтетической или стеклоосновой, а также из пленочных материалов. Материалы на картонной основе разрешается применять только для временных зданий со сроком службы до пяти лет. Мастичные кровли выполняют из горячих или холодных битумно-полимерных и полимерных мастик;

б) дополнительный водоизоляционный ковер – выполняется для усиления основного водоизоляционного ковра в ендовах (конструктивный элемент кровли, внутренний угол, образующийся в месте стыковки двух скатов), на карнизных участках, в местах примыкания к парапетам. Выполняют из материала основного водоизоляционного ковра. Количество слоев основного и дополнительного ковра принимают в зависимости от материала и уклона кровли в соответствии с СП 17.13330.2017 «Свод правил. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76», утвержденным Приказом Минстроя России от 31.05.2017 N 827/пр;

7) защитное покрытие – предохраняет кровлю от механических повреждений, атмосферных воздействий, солнечной радиации и распространения огня. Выполняется из слоя гравия светлых тонов с толщиной защитного слоя 10–15 мм с укладкой его на слой горячей битумной мастики.

Повышение теплозащиты крыши, верхнего покрытия, чердачного перекрытия, а также устройство теплого чердака могут сократить теплопотери примерно на 15 %.

### **3. Ремонт внутридомовых инженерных систем отопления и (или) водоснабжения**

Ремонт внутридомовых инженерных систем отопления и (или) водоснабжения включает в себя следующие мероприятия:

- ремонт (замену) трубопроводов внутридомовой системы отопления в сочетании с тепловой изоляцией (в неотапливаемых помещениях);
- ремонт (замену) трубопроводов ГВС в сочетании с тепловой изоляцией (в неотапливаемых помещениях, по стоякам);
- установку циркуляционного трубопровода и насоса в системе ГВС;
- установку частотно-регулируемого привода на существующее насосное оборудование: отопление и (или) ГВС и (или) ХВС;
- замену существующего насосного оборудования на новое энергоэффективное оборудование (со встроенным частотно-регулируемым приводом и системой управления электродвигателем): отопление, ГВС или ХВС;
- установку устройств для компенсации реактивной мощности насосного оборудования).

Реализация мероприятий по ремонту (замене) трубопроводов внутридомовой системы отопления и ГВС заключается в замене старых труб,

запорно-регулирующей арматуры внутридомовой системы отопления и системы горячего водоснабжения в сочетании с установкой эффективной тепловой изоляции на новые трубы в неотапливаемых помещениях МКД (подвалах, чердаках), а также по стоякам.

Основной эффект от реализации этих мероприятий заключается в уменьшении тепловых потерь трубопроводами в подвалах и (или) на чердаках, по стоякам, а также в увеличении срока службы и повышении надежности работы внутридомовых систем отопления и горячего водоснабжения МКД.

#### **4. Установка узлов управления и регулирования потребления ресурсов**

**Автоматизированный узел управления** – это компактный индивидуальный тепловой пункт, который предназначен для управления параметрами теплоносителя в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха и условий эксплуатации здания.

В водяных системах централизованного теплоснабжения принципиально возможно использовать три метода центрального регулирования.

**Первый** – качественный. Этот метод заключается в регулировании отпуска теплоты за счет изменения температуры теплоносителя на входе в систему отопления при сохранении постоянным количества (расхода) теплоносителя, подаваемого в регулируемую систему.

**Второй** – количественный. Он заключается в регулировании отпуска теплоты путем изменения расхода теплоносителя при постоянной температуре его на входе в регулируемую систему.

**Третий** – качественно-количественный. Заключается в регулировании отпуска теплоты посредством одновременного изменения расхода и температуры теплоносителя.

В современных системах теплоснабжения применяется в основном качественно-количественное регулирование и регулирование пропусками (дискретное).

Качественный метод регулирования, получивший наиболее широкое применение в отечественном теплоснабжении, заключается в регулировании тепловой нагрузки системы теплоснабжения путем изменения температуры (**t**) сетевой воды при постоянном расходе сетевой воды в подающей магистрали.

В системах централизованного теплоснабжения источник тепла и теплоприемники размещены на значительном расстоянии друг от друга. Увеличение по какой-либо причине расхода сетевой воды у абонентов, расположенных ближе к источнику, приводит к значительному снижению располагаемых напоров и нарушению циркуляции теплоносителя у абонентов, подключенных к конечным участкам теплосети. При качественном регулировании тепловой нагрузки создаются наиболее благоприятные гидравлические условия для всех абонентских установок, что достигается постоянством расхода сетевой воды в системе теплоснабжения. Эта особенность

является основным преимуществом качественного регулирования, благодаря которому оно получило широкое применение в отечественном теплоснабжении.

Автоматизированный узел управления по качественному методу регулирования предназначен для автоматического регулирования параметров теплоносителя (температура, давление), поступающего в систему отопления. Регулирование параметров производится в соответствии с температурой наружного воздуха. При понижении температуры воздуха температура теплоносителя увеличивается, а при увеличении температуры воздуха температура теплоносителя, поступающего в систему отопления, уменьшается. Также с применением автоматизированного узла управления обеспечивается расчетный перепад давления между подающим и обратным трубопроводами систем отопления.

Автоматический узел управления представляет собой блок заводской готовности, полностью собранный и готовый к установке на объекте (рис. 19).

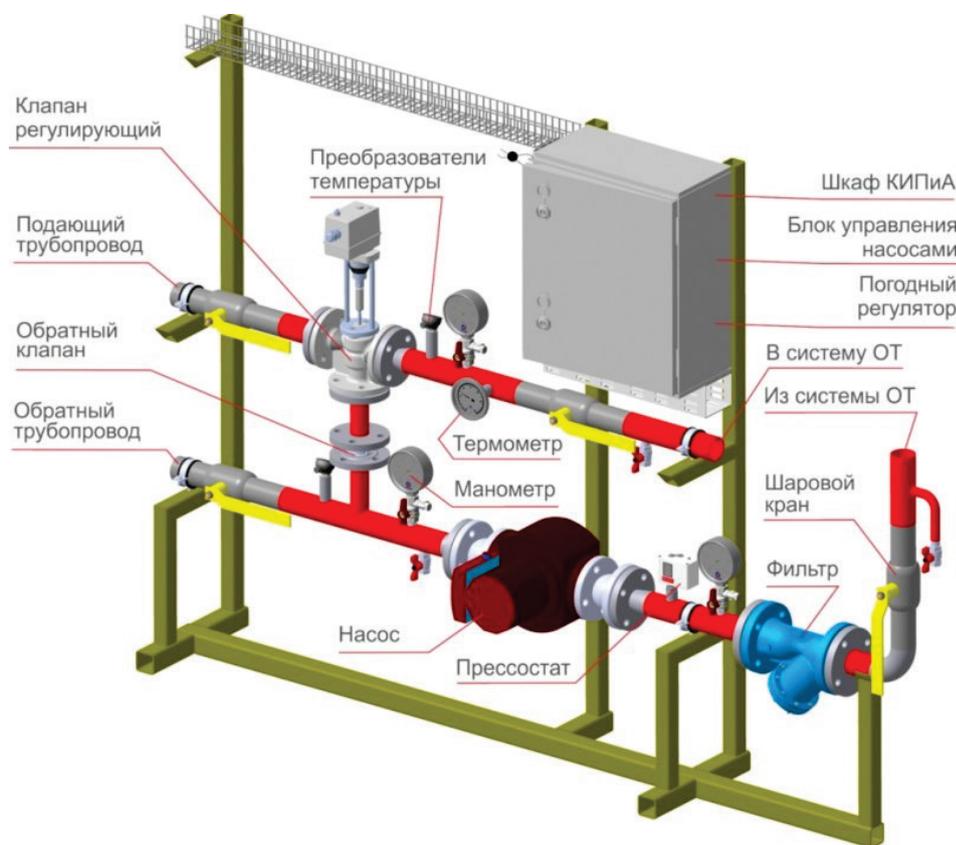


Рис. 19. Автоматизированный узел управления системой отопления

Принцип работы автоматизированного узла управления заключается в следующем. Теплоноситель, поступающий от ЦТП, движется через автоматизированный узел управления. В составе автоматизированного узла управления есть контроллер. В нем предварительно установлен температурный график, записанный на режимной карте. С помощью датчиков производится

сравнение фактической и заданной температуры теплоносителя. С помощью насосов производится смешение теплоносителя из обратной магистрали с теплоносителем из подающей магистрали. Подача теплоносителя регулируется с помощью регулирующего клапана. Перепад давления в системе отопления регулируется с помощью регулятора перепада давления.

Автоматизированные узлы управления обеспечивают:

- насосную циркуляцию теплоносителя в системе отопления;
- контроль выполнения требуемого температурного графика как подающего, так и обратного теплоносителя (предотвращение перетоков и переохлаждения зданий);
- поддержание постоянного перепада давления на вводе в здание, что обеспечивает работу автоматики системы отопления в расчетном режиме;
- функцию грубой и тонкой очистки теплоносителя, подаваемого в систему в рабочем режиме, и очистки теплоносителя при заполнении системы;
- визуальный контроль параметров температуры, давления и перепада давлений теплоносителя на входе и выходе узла;
- возможность дистанционного контроля параметров теплоносителя и режимов работы основного оборудования, включая аварийные сигналы.

Кроме этого, при утеплении фасадов, когда изменяется тепловая нагрузка здания, автоматизированный узел управления дает возможность без дополнительных затрат перенастроить работу узла.

## **5. Ремонт или замена лифтового оборудования**

В состав мероприятий по повышению энергоэффективности лифтового оборудования входят:

- 1) ремонт лифтового оборудования с установкой частотно-регулируемого привода и эффективной программы управления;
- 2) замена существующего лифтового оборудования на новое со встроенным частотно-регулируемым приводом и эффективной программой управления;
- 3) установка устройств для компенсации реактивной мощности лифтового оборудования.

Судя по годовому потреблению энергии, лифтовой механизм потребляет 1–7 % от общей энергетической нагрузки в здании. Уточненные измерения и результаты использования различных систем сравниваются.

Без частотного преобразователя, электронного устройства для изменения частоты тока уже не обходится практически ни один современный лифт. Благодаря применению частотно-регулируемого привода стало возможным плавно регулировать:

- старт, начало движения, ускорение;
- снижение скорости и замедление;
- точность остановки.

Контроль скорости вращения позволяет успешно справиться с задачей

повышения КПД, обеспечивает экономию электроэнергии, а также повышение надежности работы лифтового оборудования.

Нагрузка в сетях лифтового оборудования обычно имеет индуктивный характер, что вызывает потребление, помимо активной мощности, существенной доли реактивной мощности. Увеличенная в связи с этим потребляемая полная мощность приводит, в свою очередь, к:

- увеличению платы за электроэнергию;
- дополнительным потерям в проводниках вследствие увеличения тока;
- завышению мощности трансформаторов и сечению кабелей, отклонению напряжения сети от номинала;
- снижению качества электроэнергии.

Одним из простых и дешевых способов устранения всех этих недостатков сетей является компенсация реактивной мощности путем подключения конденсаторов. Наиболее эффективными устройствами компенсации являются автоматические установки компенсации реактивной мощности, которые позволяют автоматически максимально уравнивать потребляемую и вырабатываемую реактивную мощность.

Установка устройств для компенсации реактивной мощности лифтового оборудования существенно уменьшает потребление электроэнергии.

На сегодняшний день модернизация лифта – это оптимальное, а главное, экономически выгодное решение. Выполнение модернизации по сравнению с заменой лифта позволит сэкономить до 50 % бюджета от покупки нового лифтового оборудования. Для проведения модернизации не потребуется существенная переделка всей лифтовой инфраструктуры, что значительно уменьшает сроки проведения работ. Допускается поэтапная замена компонентов, узлов и агрегатов, что опять же уменьшает время простоя лифта. Повышается надежность и долговечность в эксплуатации. После модернизации срок эксплуатации лифта продлевается в среднем на 15 - 20 лет. Модернизация или замена лифтового оборудования позволяет сократить расход электроэнергии на общедомовые нужды примерно до 10 %.

## **6. Ремонт подвальных помещений, относящихся к общему имуществу в МКД, и фундамента здания**

В силу специфики климата в России хорошо проработан вопрос защиты заглубленных конструкций от морозного пучения (увеличение объема влажного грунта вследствие его промерзания). Тепловая же защита полов по грунту и стен подвалов с точки зрения энергосбережения нормируется довольно слабо, и нормы не менялись более 20 лет. В разрезе норм того времени потери тепла через эти конструкции не представлялись существенными, однако с учетом общего повышения требований, закрепленных в Приказе Минстроя России от 17.11.2017 № 1550/пр, утвердившем Требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений, конструкции фундаментов, могут и должны стать одной из точек существенного роста энергоэффективности.

Энергосбережение за счет утепления стен подвалов и полов по грунту экономически оправданно.

Потенциал для ликвидации тепловых потерь через пол и заглубленную часть фундамента составляет порядка 10–15 % от суммарных потерь через оболочку здания.

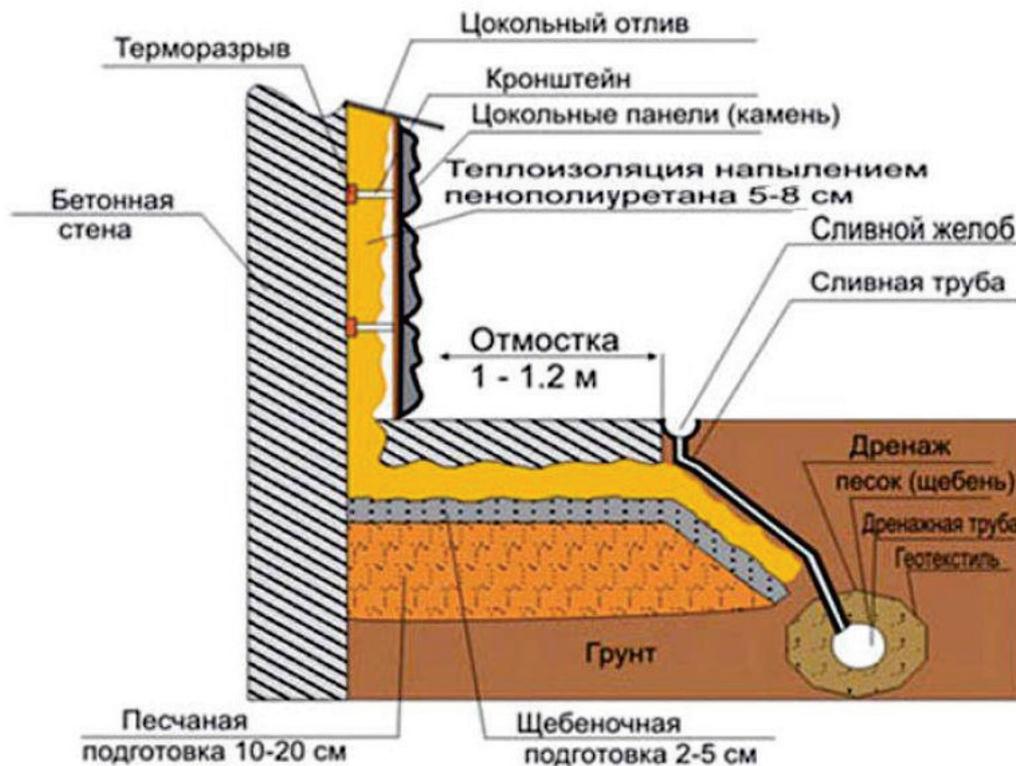


Рис. 20. Пример устройства утепляющей отмостки

Величину теплопередачи от пола к грунту основания можно уменьшить путем замены верхних слоев грунта материалами, обладающими малым коэффициентом теплопроводности. Аналогичным способом можно уменьшить или предотвратить промерзание грунтов в прифундаментной зоне с внешней стороны здания. В связи с этим в целях уменьшения теплопотерь через полы по грунту заслуживают внимания теплотехнические решения, заключающиеся в устройстве утепляющих отмосток (рис. 20), полов или в применении материалов в теле фундамента с низким коэффициентом теплопроводности.

Применение в строительстве утепляющих отмосток позволяет значительно улучшить в зимний период теплозащитные качества околофундаментной зоны и грунта основания. Это дает возможность сократить величину теплопотерь через полы по грунту и уменьшить глубину промерзания грунтов на контакте с фундаментом, а также снизить площадь действия на фундамент касательных сил морозного пучения. Кроме этого, они индустриальны, гигиеничны и требуют меньше эксплуатационных затрат по сравнению с традиционными асфальтовыми отмостками.

## **7. Другие виды работ**

К ним можно отнести:

- Замена осветительных приборов в местах общего пользования на энергоэффективные осветительные приборы;
- Установка систем автоматического контроля и регулирования освещения в местах общего пользования;
- Уплотнение наружных входных дверей с установкой доводчиков и т. д.

## ЛЕКЦИЯ 10

### Энергоаудит

Энергетическое обследование или энергоаудит может проводиться в отношении зданий, строений, сооружений, энергопотребляющего оборудования, объектов электроэнергетики, источников тепловой энергии, тепловых сетей, систем централизованного теплоснабжения, централизованных систем холодного водоснабжения и (или) водоотведения, иных объектов системы коммунальной инфраструктуры, технологических процессов, а также в отношении юридических лиц, индивидуальных предпринимателей.

Деятельность по проведению энергетического обследования вправе осуществлять только лица, являющиеся членами саморегулируемых организаций в области энергетического обследования.

Энергетическое обследование проводится в добровольном порядке.

Требования к проведению энергетического обследования, результатам энергетического обследования (энергетическому паспорту и отчету о проведении энергетического обследования) изложены в Приказе Минэкономразвития России от 25.05.2020 №310.

При проведении энергетического обследования энергоаудитор осуществляет следующие действия:

- 1) сбор информации об объекте энергетического обследования;
- 2) обработка и анализ сведений, полученных по результатам сбора информации об объекте энергетического обследования;
- 3) визуальный осмотр и инструментальное обследование объекта энергетического обследования;
- 4) обработка и анализ сведений, полученных по результатам визуального осмотра и инструментального обследования объекта энергетического обследования.

К основным процессам обработки и анализа сведений, полученных по результатам сбора информации об объекте энергетического обследования, относятся:

- 1) анализ договоров заказчика с ресурсоснабжающими организациями;
- 2) анализ состояния фактически используемых систем снабжения энергетическими ресурсами;
- 3) определение структуры и анализ динамики расхода используемых энергетических ресурсов в натуральном и стоимостном выражениях за отчетный (базовый) год и два года, предшествующих отчетному (базовому) году, по системам использования энергетических ресурсов в целом;
- 4) определение структуры и анализ динамики потребления по каждому виду используемых энергетических ресурсов в процентном отношении за отчетный (базовый) год и два года, предшествующих отчетному (базовому) году, по системам использования энергетических ресурсов в целом;

5) составление балансов по каждому виду используемых энергетических ресурсов за отчетный (базовый) год и два года, предшествующих отчетному (базовому) году, по системам использования энергетических ресурсов в целом.

На основании анализа сведений, полученных по результатам сбора информации об объекте энергетического обследования, энергоаудитором составляется задание на обследование.

К основным процессам обработки и анализа сведений, полученных по результатам сбора информации об объекте энергетического обследования, визуального осмотра и инструментального обследования объекта энергетического обследования, относятся:

1) расчет фактического расхода используемых энергетических ресурсов отдельно по элементам систем использования энергетических ресурсов;

2) оценка эффективности использования энергетических ресурсов отдельно по элементам систем использования энергетических ресурсов;

3) расчет и оценка неучтенного потенциала используемых энергетических ресурсов в натуральном и стоимостном выражениях отдельно по элементам систем использования энергетических ресурсов;

4) определение структуры и анализ динамики расхода, потребления и потерь по каждому виду используемых энергетических ресурсов за отчетный (базовый) год и два года, предшествующих отчетному (базовому) году, отдельно по каждому элементу систем использования энергетических ресурсов;

5) составление баланса по каждому виду используемых энергетических ресурсов за отчетный (базовый) год и два года, предшествующих отчетному (базовому) году, отдельно по каждому элементу систем использования энергетических ресурсов;

6) расчет фактического и нормативного расходов используемых энергетических ресурсов за отчетный (базовый) год отдельно по каждому элементу систем использования энергетических ресурсов;

7) расчет и оценка эффективности использования энергетических ресурсов за отчетный (базовый) год отдельно по каждому элементу систем использования энергетических ресурсов;

8) расчет и оценка потенциала, направленного на энергосбережение и повышение энергетической эффективности, по каждому виду используемых энергетических ресурсов отдельно.

По результатам проведения энергетического обследования объекта энергетического обследования энергоаудитором осуществляются разработка, составление и заполнение отчета.

Отчет разрабатывается и заполняется на основании обработанных и проанализированных сведений, полученных по результатам сбора информации об объекте энергетического обследования, его визуального осмотра и инструментального обследования.

Отчет состоит из следующих структурных элементов:

- 1) титульный лист;
- 2) оглавление;
- 3) аннотация;
- 4) введение;
- 5) сведения об объекте энергетического обследования;
- 6) потенциал энергосбережения и оценка экономии энергетических ресурсов, полученной при реализации мероприятий;
- 7) приложения.

По результатам проведения энергетического обследования объекта и на основании сведений, указанных в отчете, составляется энергетический паспорт объекта.

Энергетический паспорт состоит из следующих разделов:

- 1) титульный лист;
- 2) общие сведения об объекте энергетического обследования;
- 3) сведения об оснащенности приборами учета;
- 4) сведения об объеме используемых энергетических ресурсов;
- 5) сведения о показателях энергетической эффективности;
- 6) сведения о величине потерь переданных энергетических ресурсов и рекомендации по их сокращению (для организаций, осуществляющих передачу энергетических ресурсов);
- 7) потенциал энергосбережения и оценка возможной экономии энергетических ресурсов;
- 8) сведения о мероприятиях по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
- 9) сведения о кадровом обеспечении мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;

## ЛЕКЦИЯ 11

### Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению ISO 50001

ISO 50001 устанавливает требования к разработке, внедрению, поддержанию и улучшению системы энергетического менеджмента (СЭнМ). Ожидаемый результат – позволить организации соблюдать систематический подход в достижении постоянного улучшения энергетической результативности и СЭнМ.

Данный документ:

- применим к любым организациям независимо от их типа, размера, сложности, географического местоположения, организационной культуры или продукции и услуг, которые она предлагает;
- применим к видам деятельности, влияющим на энергетическую результативность, которые управляются и контролируются организацией;
- применим независимо от количества, использования или видов потребляемой энергии;
- требует демонстрации постоянного улучшения энергетической результативности, но не определяет уровни улучшения энергетической результативности, которые необходимо достичь;
- может использоваться самостоятельно или может быть согласован или интегрирован с другими системами менеджмента.

Организация должна установить, внедрить, поддерживать и постоянно улучшать СЭнМ, включая необходимые процессы и их взаимодействие, и постоянно улучшать энергетическую результативность.

#### **Планирование. Действия в отношении рисков и возможностей**

При планировании в СЭнМ организация должна учесть различные факторы и требования, а также проанализировать деятельность и процессы организации, которые могут повлиять на энергетическую результативность. Планирование должно соответствовать энергетической политике и должно определять действия, которые приводят к постоянному улучшению энергетической результативности. Организация должна определить риски и возможности, которые необходимо учитывать для:

- обеспечения уверенности в том, что СЭнМ может достичь своего намеченного результата(ов), включая улучшение энергетической результативности;
- предотвращения или уменьшения нежелательных последствий;
- обеспечения постоянного улучшения СЭнМ и энергетической результативности.

Рассмотрение рисков и возможностей является частью принятия стратегических решений на высшем уровне в организации. Определяя риски и

возможности при планировании СЭнМ, организация может предвидеть возможные сценарии и последствия, чтобы нежелательные воздействия могли быть устранены до их возникновения. Аналогичным образом могут быть выявлены и использованы благоприятные последствия или обстоятельства, которые могут предложить потенциальные преимущества или выгодные результаты.

На рис. 21 представлена концептуальная диаграмма процесса энергетического планирования.

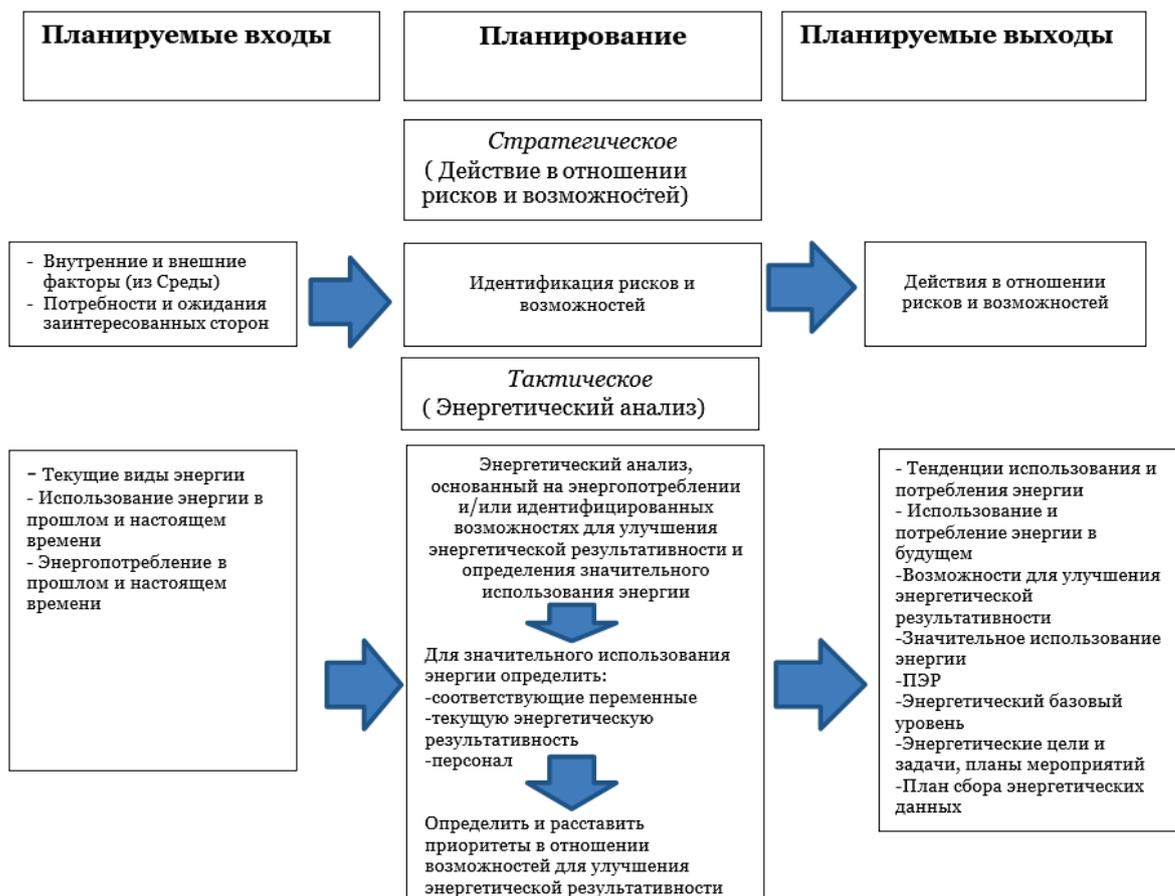


Рис. 21. Взаимосвязь между энергетической результативностью и СЭнМ

### Цели, энергетические задачи и планирование их достижения

Цели могут включать как общие улучшения СЭнМ, так и конкретные, измеримые задачи по улучшению энергетической результативности. В то время как некоторые цели будут поддаваться количественной оценке и будут иметь целевые показатели для улучшения энергетической результативности (например, сократить потребление электроэнергии на 3 % к концу года, 2 % повышения эффективности установки в четвертом квартале), другие цели могут быть качественными (например, касаются поведения энергии, культурные изменения). Часто можно предоставить некоторые количественные значения для качественных целей посредством опросов или других подобных механизмов.

## Энергетический анализ

Процесс идентификации видов энергии и оценки использования и потребления энергии заставляет организацию определять области значительного использования энергии и возможности для улучшения энергетической результативности. При определении области значительного использования энергии организация определяет критерии того, что представляет собой существенное потребление энергии и / или что является значительным потенциалом для улучшения энергетической результативности. Области ЗИЭ могут быть определены в зависимости от потребностей организации, например, сооружения (склада, фабрики, офиса), процесса или системы (например, освещения, пара, транспорта, электролиза, двигателя) или оборудования (например, двигателя, котла). После определения менеджмент и управление областями ЗИЭ становится неотъемлемой частью СЭНМ.

Актуализация энергетического анализа включает в себя обновление данных и информации, связанных с анализом использования и потребления энергии, определения ЗИЭ и идентификации возможностей для улучшения энергетической результативности. Не все части энергетического анализа необходимо актуализировать одновременно. Энергетический аудит может быть использован в помощь детальному выявлению возможностей для улучшения энергетической результативности.

Энергетический аудит может предоставить информацию об одной или нескольких частях энергетического анализа. Область распространения энергетического аудита может содержать подробный анализ энергетической результативности организации, ЗИЭ, систем, процессов использования энергии и/или оборудования. Он, как правило, основывается на надлежащем измерении и наблюдении за фактической энергетической результативностью в отношении определённой области распространения энергетического аудита. Выходные данные энергетического аудита, как правило, включают в себя информацию о текущем потреблении энергии и энергетической результативности, и могут сопровождаться серией конкретных рекомендаций, ранжированных по улучшению энергетической результативности или финансовой отдаче инвестиций, на основе анализа данных и рабочих условий конкретной площадки.

При поиске возможностей для улучшения энергетической результативности организациям следует учитывать количество потребляемой энергии для конкретного процесса или её возобновляемость. Даже там, где такой процесс, как химическая реакция, имеет ограниченные возможности улучшения из-за требований к энергии, основанных на научных законах, вспомогательное оборудование может предложить значительный потенциал улучшения энергетической результативности, поскольку это может улучшить управление технологическим процессом или планирование оборудования. Возможности могут также возникать с течением времени из-за изменений рабочих нагрузок и параметров, ухудшения качества оборудования и улучшения доступных техник и

технологий. Можно также определить возможности в способах использования и обслуживания оборудования и систем.

Внедрение возобновляемого вида энергии в рамках области и границ СЭнМ, определённых организацией, не представляет собой улучшение энергетической результативности. Потребление энергии в пределах границы может снижаться, однако, не будет никакого измеримого улучшения в энергоэффективности или потреблении энергии, связанного с использованием энергии, в результате изменения. Потребление возобновляемой энергии может иметь положительное воздействие на окружающую среду и иные преимущества, и организация может иметь своей целью повышение внедрения возобновляемой энергии. В таких случаях организации необходимо отдельно оценивать производство на возобновляемой энергии.

Если приемлемо, энергетический анализ может также учитывать безопасность и надежность энергоснабжения.

### Показатели энергетической результативности

ПЭР – это «линейка», которая используется для сравнения энергетической результативности до (ссылка на значение ПЭР) и после (итоговое или текущее значение ПЭР) внедрения планов действий и других действий (рис. 22). Разница между эталонным значением и полученным в результате значением является мерой изменения энергетической результативности.

Когда бизнес-операции или базовый энергетический уровень меняются, организация может обновлять свои ПЭР(ы), если это необходимо.

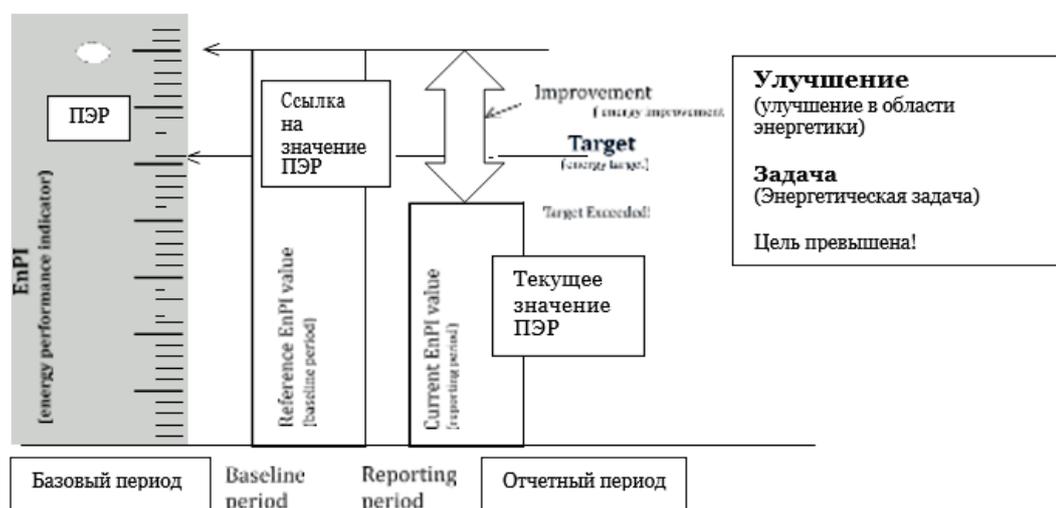


Рис. 22. ПЭР и значение ПЭР

### Бенчмаркинг

В основе бенчмаркинга лежит концепция постоянного совершенствования деятельности, предусматривающая непрерывный цикл планирования,

координации, мотивации и оценки действий с целью устойчивого улучшения деятельности организации (табл. 6).

Можно выделить две основные составляющие метода бенчмаркинга:

1. Оценка своей деятельности и сравнение полученных показателей с показателями других организаций: конкурентами и организациями-лидерами.
2. Изучение и применение успешного опыта других у себя в организации.

Таблица 6 – Эффект от использования бенчмаркинга

Прямой эффект	Косвенный эффект
БМ анализирует деятельность предприятий	БМ дает представление о бизнес-процессах на собственном предприятии
БМ сравнивает как подразделения собственного предприятия между собой, так и предприятия друг с другом	БМ устанавливает предпринимательские цели
БМ определяет лучшие достижения	БМ проверяет предпринимательские стратегии
БМ определяет недостатки в производственной деятельности	БМ повышает конкурентоспособность
БМ оценивает альтернативные решения	БМ инициирует процесс постоянных улучшений

Выделяют следующие основные задачи, которые решаются в процессе проведения эталонного сопоставления:

- 1) определить, насколько свое предприятие преуспевает в сравнении с другими;
- 2) определить, насколько преуспевающим хочется видеть свое предприятие;
- 3) определение предприятий, которые преуспевают лучше всех;
- 4) изучение опыта преуспевающих предприятий;
- 5) поиск возможности использования опыта преуспевающих предприятий на своем;
- 6) определение подходов к организации функционирования предприятия, позволяющих добиться лучших результатов по сравнению с другими.

*Задачей* бенчмаркинга является поиск новых идей и импульсов для достижения поставленных целей.

*Цель* заключается в сравнении показателей своего предприятия с показателями конкурентов и лучших организаций, изучение и применение успешного опыта других организаций у себя на предприятии.

*Виды бенчмаркинга (табл. 7)*

Таблица 7 – Классификация бенчмаркинга

По источнику данных и целям проведения	Конкурентный БМ	Функциональный БМ	Внутренний БМ	Общий БМ
Стратегический БМ	Сопоставление общих принципов ведения бизнеса предприятий, прямо конкурирующих друг с другом в одной области или на определенном рынке	Эталонное сравнение с признанным в данной области лидером для выбора наилучшей стратегии совершенствования бизнеса	Проводимое предприятием сопоставление работы своих подразделений с целью выявления возможности их совместного сотрудничества	Знакомство одного предприятия с опытом применения новых технологий предприятия из другой отрасли
Операционный БМ	Сопоставление производственных процессов прямо конкурирующих друг с другом предприятий с целью выявления лучшего опыта	Изучение определенного процесса на предприятии, лидирующем в своей отрасли, и поиск способов достижения аналогичных результатов	Проводимое предприятием исследование работы своих подразделений и определение факторов, влияющих на успешность их деятельности	Исследование одним предприятием схожего процесса на другом предприятии, работающем в другой отрасли, и поиск путей совершенствования этого процесса



Рис. 23. Ключевые этапы процесса бенчмаркинга

### *Этапы проведения бенчмаркинга*

Процесс бенчмаркинга обычно состоит из нескольких этапов, начинающихся с планирования и заканчивающихся внедрением лучших практик в своей организации. Единой схемы проведения процесса БМ нет, каждая организация сама определяет последовательность работ.

Ключевые этапы этого подхода отражены на рис. 23.

Основные составляющие этапы и шаги бенчмаркинга:

#### *Этап 1. Подготовка бенчмаркингового проекта*

- Спланировать бенчмаркинговый проект.
- Провести самооценку, определить объект бенчмаркинга.
- Сформировать рабочую группу. Провести обучение основам бенчмаркинга.
- Выделить ресурсы для реализации проекта.

#### *Этап 2. Сбор данных*

- Изучить и задокументировать текущую практику в выбранной системе.
- Определить лучшую практику, установить партнерство, разработать вопросник и собрать данные для изучения опыта организации-партнера.

### *Этап 3. Анализ данных, результатов*

- Проанализировать информацию – определить разрыв между достижениями, выделить ключевые факторы и идеи по совершенствованию.
- Выработать рекомендации для адаптации изученного опыта и донести их до как можно большего числа сотрудников (спланировать изменения).

### *Этап 4. Внедрение изменений*

- Разработать программу изменений.
- Реализовать программу изменений.
- Собрать (получить) новые данные, проконтролировать результаты.
- Повторный сравнительный анализ: проанализировать ситуацию после внедрения изменений.

## ГЛОССАРИЙ

**Энергосбережение** – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов.

**Топливо-энергетический ресурс** – носитель энергии, включая топливо, который используется в настоящее время или может быть полезно использован в перспективе.

**Эффективное использование энергетических ресурсов** – достижение экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении требований к охране окружающей природной среды.

**Потребитель топливо-энергетических ресурсов** – физическое или юридическое лицо, осуществляющее пользование топливом, электрической энергией (мощностью) и (или) тепловой энергией (мощностью).

**Энергетический паспорт потребителя топливо-энергетических ресурсов** – нормативный документ, содержащий показатели эффективности использования топливо-энергетических ресурсов, потребляемых в процессе хозяйственной деятельности объектами производственного назначения независимо от организационных форм и форм собственности, а также энергосберегающие мероприятия.

**Вторичный энергетический ресурс** – энергетический ресурс, полученный в виде отходов производства и потребления или побочных продуктов в результате осуществления технологического процесса или использования оборудования, функциональное назначение которого не связано с производством соответствующего вида энергетического ресурса.

**Энергетическая эффективность** – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю.

**Класс энергетической эффективности** – характеристика продукции, отражающая ее энергетическую эффективность.

**Бытовое энергопотребляющее устройство** – продукция, функциональное назначение которой предполагает использование энергетических ресурсов, потребляемая мощность которой не превышает для электрической энергии 21 киловатт, для тепловой энергии – 100 киловатт, и использование которой может предназначаться для личных, семейных, домашних и подобных нужд.

**Энергетическое обследование** – сбор и обработка информации об использовании энергетических ресурсов в целях получения достоверной информации об объеме используемых энергетических ресурсов, о показателях энергетической эффективности, выявления возможностей энергосбережения и

повышения энергетической эффективности с отражением полученных результатов в энергетическом паспорте.

**Энергосервисный договор (контракт)** – договор (контракт), предметом которого является осуществление исполнителем действий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности использования энергетических ресурсов заказчиком.

**Норматив расхода топливно-энергетических ресурсов (технический норматив)** – научно и технически обоснованная величина нормы расхода энергии (топлива), устанавливаемая в нормативной и технологической документации на конкретное изделие, характеризующая предельно допустимое значение потребления энергии (топлива) на единицу выпускаемой продукции или в регламентированных условиях использования энергетических ресурсов.

**Нормативный энергетический эквивалент** – показатель, характеризующий народнохозяйственный уровень прямых общих затрат первичной энергии или работы на единицу потребляемого энергоресурса (топлива, тепловой, электрической энергии).

**Топливо-энергетический эквивалент** – показатель, характеризующий народнохозяйственный уровень прямых общих затрат первичной энергии или работы на единицу потребляемого топливно-энергетического ресурса.

**Энергетический эквивалент** – затраты энергии на производство единицы материала, изделия или выполнения работы данного вида.

**Парижское соглашение** – соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г.

**Декарбонизация** – процесс, посредством которого страны, компании или другие субъекты стремятся достичь нулевого уровня нетто-выбросов парниковых газов.

**Углеродоемкость** – объем выбросов CO<sub>2</sub> на единицу другой переменной величины, такой как валовый внутренний продукт (ВВП), использование конечной энергии или транспорт.

**Энергетическая безопасность** – состояние защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики, при котором обеспечивается выполнение предусмотренных законодательством Российской Федерации требований к топливно- и энергоснабжению потребителей, а также выполнение экспортных контрактов и международных обязательств Российской Федерации.

**Субъекты энергетической безопасности** – федеральные органы государственной власти, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, организации топливно-энергетического комплекса и организации, осуществляющие деятельность в смежных отраслях экономики, реализующие комплекс правовых, политических, организационных, информационных, производственных и иных

мер, направленных на управление рисками в области энергетической безопасности и реагирование на вызовы и угрозы энергетической безопасности.

**Угроза энергетической безопасности** – совокупность условий и факторов, создающих возможность нанесения ущерба энергетике Российской Федерации;

**Вызов энергетической безопасности** – совокупность условий и факторов, создающих новые стимулы для развития мировой энергетики или новые направления ее развития, но также способных привести к возникновению угрозы энергетической безопасности.

**Риск в области энергетической безопасности** – возможность перерастания вызова энергетической безопасности в угрозу, реализации угрозы энергетической безопасности или наступления иных обстоятельств, оказывающих отрицательное влияние на состояние энергетической безопасности, в зависимости от действий или бездействия субъектов энергетической безопасности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – с изм. и дополн. в ред. от 11.06.2021.
2. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» от 09.06.2020 № 1523-р [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации.
3. Закон Российской Федерации «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 № 296-ФЗ [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации.
4. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации [Электронный ресурс] // Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга URL: <https://www.gov.spb.ru/> (дата обращения: 01.06.2022).
5. Директива Европейского парламента Совета Европейского Союза 2009/28/ЕС от 23 апреля 2009 г. о стимулировании использования энергии из возобновляемых источников, внесении изменений и дальнейшей отмене Директив 2001/77/ЕС и 2003/30/ЕС» от 15.02.2017 [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ URL: <https://www.garant.ru/> (дата обращения: 01.06.2022).
6. Приказ Минэкономразвития РФ «Об утверждении требований к проведению энергетического обследования, результатам энергетического обследования (энергетическому паспорту и отчету о проведении энергетического обследования)» от 25.05.2020 № 310 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации.
7. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил проведения актуализации перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности, и критериев соответствия объектов и технологий объектам и технологиям высокой энергетической эффективности» от 03.03.2021 № 305 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации.
8. Приказ Минстроя РФ «Об утверждении примерных форм перечня мероприятий, проведение которых в большей степени способствует энергосбережению и повышению эффективности использования энергетических ресурсов в многоквартирном доме» от 15.02.2017 № 98/пр [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации.
9. Перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, выполняемых в ходе оказания и (или) выполнения услуг и (или) работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных домах, предусмотренных частями 1 и 2 статьи 166 Жилищного

кодекса Российской Федерации» (утв. Правлением Госкорпорации «Фонд содействия реформированию ЖКХ» 10.02.2017) [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации.

10. Кривошеев, А. В. Мероприятия по энергосбережению и повышению энергоэффективности при проведении капитального ремонта многоквартирных домов: как снизить расходы на коммунальные ресурсы [Электронный ресурс] / А. В. Кривошеев. – М.: Редакция «Российской газеты», 2020. – 93 с.

11. Европейский механизм пограничной углеродной корректировки – ключевые вопросы и влияние на Россию // [Электронный ресурс] // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО // URL: <https://www.skolkovo.ru/centres/senec/> (дата обращения: 01.06.2022)..

12. Зеленые сертификаты: мировой опыт и планы в России [Электронный ресурс] // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации URL: <https://ac.gov.ru/> (дата обращения: 01.06.2022).

13. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению: дата введения 12.01.2012. [Текст] – М. : Стандартиформ, 2013. – 45 с.

14. Бельский, А. П. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Текст]: учебное пособие / А. П. Бельский, В. Ю. Лакомкин, С. Н. Смородин. – 3-е изд., испр.; М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП, 2012. – 136 с.

15. Сафина, Д. М. Управление ключевыми показателями эффективности [Текст]: учебное пособие / Д. М. Сафина, Казань: Казан. ун-т, 2018. – 123 с.

16. Логинова, И. В. Бенчмаркинг [Текст]: учебное пособие / И. В. Логинова, Ульяновск: УлГТУ, 2021. – 156 с.