

A whimsical night sky illustration. The background is a dark teal color with white speckles representing stars. In the center is a large, smiling crescent moon with a gradient from orange to red and rosy cheeks. Several smaller, smiling orange stars are scattered around, some sitting on white, fluffy clouds. A small, light blue planet is visible in the upper right. The overall style is soft and childlike.

Энергетика и ЭКОЛОГИЯ

Юрий Почанин

Юрий Степанович Почанин

Энергетика и экология

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=57334850

SelfPub; 2023

Аннотация

Рассмотрены проблемы энергетики и пути их решения в современных условиях. Представлена классификация экологических факторов. Описаны проблемы традиционной энергетики – тепловые электростанции и их экологическое совершенствование технологии производства (улавливание и хранение углерода, интегрированный газифицированный комбинированный цикл), эффективность и проблемы атомной энергетики. Рассмотрены основные направления экологической безопасности возобновляемой энергетики – гидроэнергетика, гелиоэнергетика, ветроэнергетика, тепловые насосы и биотопливо.

Содержание

Введение	4
ГЛАВА 1. РОЛЬ И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ	11
ГЛАВА 2. ОПЫТ ГЕРМАНИИ В РАЗВИТИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	40
ГЛАВА 3. СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ И ПОЛУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ	53
3.2. Некоторые направления развития малоуглеродной энергетики	58
3.2.1. Улавливание и хранение	62
3.2.2. Интегрированный газифицированный комбинированный	72
3.3. Направления развития безуглеродной энергетики	83
Конец ознакомительного фрагмента.	104

Юрий Почанин

Энергетика и экология

Введение

В настоящее время энергия играет решающую роль в развитии человеческой цивилизации. Энергетика имеет большое значение в жизни человека, а уровень ее развития отражает уровень развития жизни людей. В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережали темпы развития других отраслей. В то же время энергетика – один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Она влияет на атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц), гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта, выбросы токсичных веществ). Несмотря на отмеченные факторы отрицательного воздействия энергетики на окружающую среду, рост потребления энергии не вызывал особой тревоги у широкой общественности. Так про-

должалось до середины 70-х годов, когда в руках специалистов оказались многочисленные данные, свидетельствующие о сильном антропогенном давлении на климатическую систему, что таит угрозу глобальной катастрофы при неконтролируемом росте энергопотребления. С тех пор ни одна другая научная проблема не привлекает такого пристального внимания, как проблема настоящих, а в особенности предстоящих изменений климата

Считается, что одной из главных причин этого изменения является энергетика. Под энергетикой при этом понимается любая область человеческой деятельности, связанная с производством и потреблением энергии. Значительная часть энергетики обеспечивается потреблением энергии, освобождающейся при сжигании органического ископаемого топлива (нефти, угля и газа), что, в свою очередь, приводит к выбросу в атмосферу огромного количества загрязняющих веществ. Это упрощенный подход. Помимо парникового эффекта, ответственность за который, частично лежит на энергетике, на климат планеты оказывает влияние ряд естественных причин. Корректный анализ проблемы возможен лишь с учетом всех факторов.

Источники загрязнения атмосферы принято подразделять на два вида: естественные, сюда относятся извергающиеся вулканы, выветривание, пылевые бури, лесные пожары и т. д. и искусственные, создаваемые человеком. Основными искусственными источниками загрязнений являются авто-

транспорт, промышленные предприятия и объекты энергетики. Загрязнители бывают физические (механические, шумовые и тепловые), химические (газовые) и биологические (бактериальные).

Ключевое место в процессе загрязнения занимают предприятия промышленности. На их долю приходится более 50% от общего числа вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу. Процесс сжигания топлива в промышленных установках никогда не бывает полным. Помимо угарного газа, с дымом в воздух попадают различные несгоревшие частицы: сажа, зола и пыль, которые оседают на землю в ближайших районах. Чтобы избежать вредного воздействия отравляющих веществ на людей, промышленные предприятия все чаще выносятся за пределы населенных пунктов. Промышленность также является источником выброса в атмосферу мельчайшей пыли, особенно это касается цементных заводов. Следует отметить, что введение высокотехнологичных пылеулавливателей позволило снизить выброс этого загрязнителя в несколько раз.

Второе место по количеству загрязняющих атмосферу выбросов занимает автотранспорт. Специалистами было установлено, что ежегодно один легковой автомобиль поглощает более 4 т кислорода, выбрасывая при этом свыше 1 т вредных веществ (около 800 кг окиси углерода, 100 кг окиси азота и 200 кг различных примесей). Учитывая тот факт, что по дорогам мира передвигается более 800 млн автомобилей, лег-

ко представить весь ужас возможных последствий. Необходимо приложить максимальные усилия к уменьшению объемов вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Роль экологического фактора в энергетике возрастает по мере увеличения энергопотребления, которое вызвано ростом населения. Увеличивается нагрузка на окружающую среду от выбросов CO_2 , вызванных разработкой традиционных видов энергоносителей. Очевидно, что деятельность топливно-энергетического комплекса (ТЭК) наносит вред окружающей среде и является одним из катализаторов глобального потепления. Если предположить, что энергопотребление населения планеты будет расти, то энергетика в ее современном виде может стать одной из главных причин экологической катастрофы.

Мировая тенденция роста антропогенного влияния на природу заключается в том, что эмиссия CO_2 составляет 40 млрд т в год. Концентрация CO_2 в атмосфере ежегодно нарастает со скоростью 2,9 ppm в год. В июне 2014 г. она достигла 397,52 ppm, в июне 2015-го приблизилась к критическому значению 400 ppm, которое соответствует росту среднегодовой температуры на 2°C . Дальнейшее потепление вызовет резкое усиление колебаний погоды, рост силы и частоты аномальных явлений на больших территориях. Следствием станет подъем уровня Мирового океана, что приведет к необходимости переселения сотен миллионов человек, к вымиранию многих видов растений и животных. Повышение

глобальной поверхностной температуры планеты под влиянием антропогенных факторов делает погоду более изменчивой, а климатические стихийные бедствия – более разрушительными. В десятки раз возрос ущерб, наносимый стихийными бедствиями. За первое десятилетие XXI века от климатических катастроф в развивающихся странах пострадало более 3,5 млрд человек, или 80% общей численности населения, а число «экологических беженцев» превысило 25 млн. Самые крупные экономики мира обеспечивают свой рост за счет пренебрежения экологическими нормами. Китай и США – чемпионы по выбросам углекислого газа. Они поставляют 8 и 6 млрд т в год соответственно (в сумме эти две страны дают 28% объема всех мировых выбросов). Все больший объем парниковых газов производят развивающиеся страны, в частности Индия. При этом Индия и Китай под действие Киотского протокола не подпадают, ибо входят в категорию развивающихся стран.

Доклад, подготовленный специалистами Международного энергетического агентства (МЭА), содержит прогноз роста выбросов углекислого газа в связи с увеличением энергопотребления в мире. Несмотря на рост низкоуглеродных источников энергии, в структуре мировых энергоресурсов продолжают преобладать ископаемые виды топлива, поддерживаемые субсидиями. В 2011 г. они составили 523 млрд долл., что на 30% больше, чем в 2010 г., и в 6 раз больше, чем субсидии для возобновляемых источников.

Климатический саммит в Париже в декабре 2015 г. принял протокол, в котором намечены пути остановки глобального потепления за счет развития низко углеродной экономики и в перспективе – отказ от углеводородного топлива. Парижская конференция должна также помочь развитым странам собирать по 100 млрд долл. в год начиная с 2020 г. (частично через «Зеленый фонд» для помощи в борьбе с климатическими изменениями). На климатическом саммите некоторые страны отрицательно высказались по вопросам сокращения вредных выбросов в окружающую среду за счет постепенного отказа от углеводородов. О переориентации экономики на возобновляемые источники энергии и слышать не хотят в государствах Персидского залива и в Венесуэле. Против выступает и Индия, которая видит в сохранении своей нынешней модели залог экономического роста.

Парижское соглашение требует от каждой страны предоставить и постоянно обновлять стратегию низкоуглеродного развития к 2050 г. К этому времени все государства обязаны достичь климатической нейтральности: выбросы должны равняться поглощению или абсорбции парниковых газов.

Международное сообщество пока не разработало единого документа по охране окружающей среды, который соблюдали бы все страны. Киотский протокол устанавливает снижение совокупного среднего уровня 6 типов газов на 5,2%.

Ведущие экономики мира предпринимают определенные шаги по сокращению выбросов в атмосферу парниковых га-

зов, которые вызывают глобальное потепление.

ГЛАВА 1. РОЛЬ И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

В природе запасы энергии огромны. Её несут солнечные лучи, ветры и движущиеся массы воды, она хранится в древесине, в залежах газа, нефти, каменного угля. Практически безграничная энергия, «запечатанная» в ядрах атома вещества. Но не все её формы пригодны для прямого использования.

Энергетика— это совокупность отраслей топливной промышленности, электроэнергетики, охватывающая выработку, преобразования, передачу и использование разных видов энергии. В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережали темпы развития других отраслей. До последнего времени энергетика развивалась опережающими по сравнению с большинством отраслей промышленности темпами, так как энергоёмкость производства в эпоху НТР росла быстрыми темпами. Лишь в XX веке использование энергии в мире увеличилось как минимум в 15 раз. Сильно изменился в XX веке и топливно-энергетический баланс (ТЭБ) мира. Если в начале века в нём всецело доминировал уголь, то

впоследствии он был заметно потеснён нефтью, газом, ядерной энергией.

Кратко источники электроэнергии можно разделить на три основных типа:

- полезные ископаемые (газ, нефть, уголь, сланцы);
- возобновляемые ресурсы (вода, ветер, солнце, термальные воды);
- расщепление атома.

Производство электроэнергии в мире ведется на тепловых станциях, использующих традиционные виды топлива (уголь, газ, сланцы, мазут), гидроэлектростанциях, а также на АЭС. Оно растёт быстрее других секторов топливно-энергетического хозяйства, т.е. электроэнергетика – является *ведущей отраслью энергетики*.

Основная часть производимой в мире энергии приходится на тепловые станции.

Тепловая электростанция (ТЭС)– вырабатывает электрическую энергию в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива. Основные типы ТЭС: паротурбинные (преобладают), газотурбинные и дизельные. Иногда к ТЭС условно относят атомные, геотермальные и с магнитогидродинамическими генераторами.

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) дают не только электроэнергию, но и тепло, которое с электростанций подводится в виде горячей воды к предприятиям и жилым зданиям. В на-

стоящее время в странах, обеспеченных топливными ресурсами, ТЭС – основной источник электроэнергии. В России, США, Англии, Германии на ТЭС вырабатывается основная часть электроэнергии. Это объясняется тем, что на сооружение ТЭС затрачивается значительно меньше времени и средств, чем на ГЭС. Они обеспечивают равномерную выработку электроэнергии в течение всего года, и мощность их можно увеличивать в соответствии с потребностями в электроэнергии. Строительство ТЭЦ, дающих не только электроэнергию, но и тепло, повышает эффективность использования топлива и удешевляет стоимость электроэнергии.

По данным источника (BP Statistical Review of World Energy 2020) производство электроэнергии в мире в 2019 году выглядело следующим образом, рис. 1.1. Самые крупные экономики мира обеспечивают свой рост за счет пренебрежения экологическими нормами. Китай и США – чемпионы по выбросам углекислого газа. Они поставляют 8 и 6 млрд т в год соответственно (в сумме эти две страны дают 28% объема всех мировых выбросов).

Все больший объем парниковых газов производят развивающиеся страны, в частности Индия. При этом Индия и Китай под действие Киотского протокола не подпадают, ибо входят в категорию развивающихся стран.

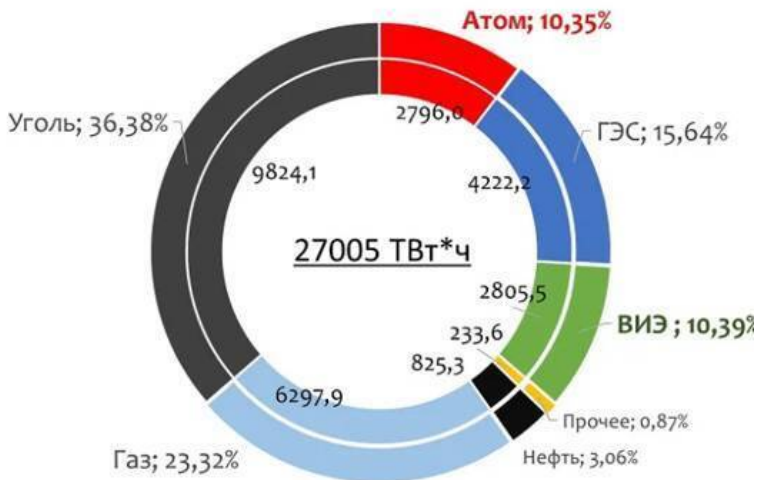


Рис.1.1. Производство электроэнергии в мире в 2019 году (% и ТВтч)

В качестве топлива на тепловых электростанциях используют уголь, нефть и нефтепродукты, природный газ и реже древесину и торф. Основными компонентами горючих материалов являются углерод, водород и кислород, в меньших количествах содержится сера и азот, присутствуют также следы металлов и их соединений (чаще всего оксиды и сульфиды).

В теплоэнергетике источником массированных атмосферных выбросов и крупнотоннажных твердых отходов являются теплоэлектростанции, предприятия и установки пароси-

лового хозяйства, т.е. любые предприятия, работа которых связана с сжиганием топлива. В состав отходящих дымовых газов входят диоксид углерода, диоксид и триоксид серы и ряд других компонентов, поступление которых в воздушную среду наносит большой ущерб, как всем основным компонентам биосферы, так и предприятиям, объектам городского хозяйства, транспорту и населению городов.

Коэффициент полезного действия энергетических установок пока невелик и составляет 30-40%, большая часть топлива сжигается впустую. Полученная энергия тем или иным способом используется и превращается, в конечном счете, в тепловую, т.е. помимо химического в биосферу поступает тепловое загрязнение.

Загрязнение и отходы энергетических объектов в виде газовой, жидкой и твердой фазы распределяются на два потока: один вызывает глобальные изменения, а другой – региональные и локальные.

Энергетика и сжигание ископаемого топлива остаются источником основных глобальных загрязнителей. Они поступают в атмосферу, и за счет их накопления изменяется концентрация малых газовых составляющих атмосферы, в том числе парниковых газов. В атмосфере появились газы, которые ранее в ней практически отсутствовали – хлорфторуглероды. Это глобальные загрязнители, имеющие высокий парниковый эффект и в то же время участвующие в разрушении озонового экрана стратосферы. В то же время энерге-

тика – один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Она влияет на атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц), гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта, выбросы токсичных веществ). Что касается влияния энергии ТЭС на экологию, то можно отметить, как главный фактор, выделение вредных веществ в виде закиси углерода, соединений азота, свинца и значительного количества тепла. В странах мира ежегодно сжигается 5 млрд т угля и более 3 млн т нефти, что сопровождается гигантским выбросом в атмосферу тепла.

Мировой опыт показывает, что масштабное использование природных энергоресурсов для производства энергии на тепловых электростанциях приводит к значительной трансформации окружающей среды. Функционирование не возобновляемой углеродной энергетики сопровождается отрицательными экологическими последствиями, к основным из которых следует отнести:

- загрязнение природной среды вредными химическими веществами;
- повышенный расход атмосферного кислорода транспортом и энергоустановками;
- тепловое загрязнение среды обитания;
- опасность возникновения техногенных катастроф.

Влияние энергетики на экологию связано с добычей угля и засолением водных ресурсов. Помимо этого, откаченная вода содержит радон и изотопы радия. Атмосфера загрязняется продуктами сжигания угля в виде оксидов серы – 120 тыс. т, окислов азота – 20 тыс. т, пепла – 1,5 тыс. т, оксида углерода – 7 млн т. При горении образуется более 300 тыс. т золы, включающей в себя 400 т токсичных металлов в виде ртути, мышьяка, свинца и кадмия.

Электростанция мощностью 1 ГВт ежегодно выбрасывает в атмосферу более 1 млн т углекислого газа (в пересчете на углерод), провоцирующего парниковый эффект. Со сточными водами в окружающую среду попадает около 66 т органических веществ, 83 т серной кислоты, 26 т хлоридов, 41 т фосфатов и почти 500 т взвешенных веществ. Газопылевые выбросы ТЭС загрязняют атмосферу углекислым газом, золой, оксидами азота, углерода и серы, тяжелыми металлами, бензапиреном и другими вредными веществами. Причем количество загрязняющих веществ напрямую зависит от вида, используемого станцией топлива, таблица 1.1.

Таблица 1.1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу электростанцией мощностью 1 ГВт в зависимости от вида топлива, т/год

Выбросы
Топливо

уголь
нефть
природный газ

C_xH_x

400

470

34

CO

2 000

700

—

NO_x

27 000

25 000

20 000

SO_2

110 000

37 000

20,4

Взвешенные частицы

3 000

При сгорании каменного угля выделяется в 3–8 раз больше оксидов NO_x , чем при сжигании других видов топлива (например, в 6 раз больше, чем при использовании бурового угля). Однако оксидов серы выбрасывается меньше, чем при сжигании мазута. Лишь сернистость низкокачественных бурых углей больше, чем мазута.

Выброс твердых частиц при сжигании бурых углей почти в два раза превышает таковой при использовании каменных углей, которые, в свою очередь, в три раза превышают этот показатель для мазута. К тому же уголь обладает небольшой природной радиоактивностью, а поскольку на ТЭС это топливо сжигается в огромных объемах, то суммарные радиоактивные выбросы превышают те, которые возникают при эксплуатации АЭС. Наибольшей радиоактивностью характеризуются угли Кузбасса, Донбасса и Экибастуза. При их сжигании в выбросах возрастает содержание радия-226 и свинца-210, причем последний накапливается в золе. После сжигания угля концентрация свинца в золе увеличивается в 5–10 раз, радия – в 3–6 раз. При сжигании мазута в воздух попадают диоксид и оксид углерода, сернистый газ, оксиды азота, сажа, углеводороды, твердые частицы, в состав которых входят оксиды различных химических элементов (табл. 1.2). Выход оксидов азота при сжигании мазута больше, чем

у природного газа, но меньше, чем у угля. Твердых веществ при сгорании мазута образуется существенно меньше, нежели при использовании углей. Однако выделяются оксиды различных элементов, некоторые из них относятся к I и II классам опасности.

Зона влияния выбросов ТЭС на окружающую среду распространяется на расстояния до 50 км от станции. На промышленных площадках ТЭС, территория которых достигает 3–4 км², полностью изменяются рельеф местности, воздушные течения, поверхностный сток, нарушаются почвенный слой, растительный покров и режим грунтовых вод.

Таблица 1.2. Состав золы уноса, образующейся при сжигании мазута на ТЭС

Вещество

Содержание,
%

Класс опасности

V₂O₃

30–36

I

NiO

8–10

I

MoO₂

1

II

PbO₂

0,5

I

Cr₂O₃

0,5–1

I

ZnO

0,5–2,5

II

Al₂O₃

10

IV

Fe₂O₃

3–10

IV

MgO

1–3

III

SiO₂

10

IV

Технологический цикл тепловой электростанции предусматривает, что более 95% воды, используемой для охлаждения турбин, нагревается на 8–12°C и сбрасывается в водоемы (в крупных ТЭС – до 250–300 тыс. м³/ч). Для охлаждения турбин угольных ТЭС тратится до 60% энергии, содержащейся в топливе. Сточные воды и ливневые стоки с территории ТЭС загрязняются отходами технологических циклов энергоустановок (нефтепродукты, шлаки, обмывочные воды). Их сброс в водоемы может привести к гибели водных организмов, снизить способность водоема к самоочищению.

Главными проблемами сегодня являются: растущая из-за сжигания топлива концентрация CO₂ в атмосфере, аэрозоли в атмосфере, влияющие на её охлаждение.

Ключевое место в процессе загрязнения занимают предприятия промышленности. Процесс сжигания топлива в промышленных установках никогда не бывает полным. Помимо угарного газа, с дымом в воздух попадают различные несгоревшие частицы: сажа, зола и пыль, которые оседают на землю в ближайших районах. Чтобы избежать вредного

воздействия отравляющих веществ на людей, промышленные предприятия все чаще выносятся за пределы населенных пунктов. Промышленность также является источником выброса в атмосферу мельчайшей пыли, особенно это касается цементных заводов. Выбросы вредных веществ представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Выбросы вредных веществ

Потребление топлива и выбросы в год	Угольная ТЭЦ	Мазутная ТЭЦ	Газовая ТЭЦ	АЭС
1. Потребление топлива (в тоннах)	3,9 млрд	2,2 млрд	2,6 млн	30
2. Потребление атмосферного кислорода (m^3)	5,5 млрд	3,4 млрд	4,4 млрд	нет
3. Газовые выбросы (в тоннах)				
Углекислый газ	10 млн	6 млн	2 млн	нет
Оксиды серы	124 тыс	84 тыс	нет	нет
Оксиды азота	34 тыс	22 тыс	24 тыс	нет
4. Выбросы неуловимой золы (в тоннах)	7,3 тыс	1,3 тыс	нет	нет
5. Канцерогенные вещества (в тоннах)	0,012	0,013	нет	нет
6. Пятиокись ванадия (в тоннах)	37	550	нет	нет
7. твердые отходы (в тоннах)	80 тыс	нет	нет	нет

Сильным загрязнителем воздуха является и автотранспорт. Причем значительная доля вредных выбросов приходится на грузовой и автобусный автопарки. Специалистами было установлено, что ежегодно один легковой автомобиль

поглощает более 4 т кислорода, выбрасывая при этом свыше 1 т вредных веществ (около 800 кг окиси углерода, 100 кг окиси азота и 200 кг различных примесей).

Выброс вредных веществ при сгорании различных топлив представлен в таблице 1.4.

Таблица 1.4. Выброс вредных веществ при сгорании топлива

Виды топлива ^а	Выброс вредных веществ, г/км ^а		
	СО ^а	СН ^а	NO _x ^а
Бензин ^а	42 ^а	8,5 ^а	9,1 ^а
Сжиженный нефтяной газ ^а	19 ^а	4,8 ^а	8,7 ^а
Сжатый природный газ ^а	8,5 ^а	4,5 ^а	8,5 ^а
Бензин в смеси с водородом ^а	3 ^а	2,8 ^а	4,55 ^а
Метанол ^а	28 ^а	4,6 ^а	4,4 ^а
Метанол в смеси с бензином ^а	32 ^а	5,4 ^а	7,6 ^а
Метанол в смеси с синтез газом (H ₂ +CO) ^а	5 ^а	2,5 ^а	3,5 ^а
Синтез газ (H ₂ +CO) ^а	0 ^а	0,4 ^а	2,3 ^а
Водород ^а	0 ^а	0 ^а	2,5 ^а
ЕВРО-1 ^а	2,72 ^а	0,93 ^а	- ^а

В настоящее время возросла концентрация метана и фреонов в атмосферном воздухе по сравнению с преиндустриальной концентрацией.

С экологической точки зрения наиболее чистыми среди энергообъектов являются атомные электростанции. В про-

цессе эксплуатации АЭС образуются газообразные, жидкие и твердые радиоактивные отходы. В газообразных выбросах АЭС содержится небольшое количество трития, радиоактивных изотопов ксенона, криптона, йода, осколки деления ядер, продукты активации, которые незначительно влияют на окружающую среду и не повышают природного радиоактивного фона территории.

Объем твердых отходов АЭС, основным видом которых является отработанное ядерное топливо (ОЯТ), ежегодно достигает 2–3 км³. В жидких и твердых отходах АЭС содержатся долгоживущие радионуклиды с большим периодом полураспада, поэтому ОЯТ необходимо хранить в специальных хранилищах, которые требуют особого технического обслуживания. При соблюдении всех правил хранения окружающая среда не страдает. Вместе с тем АЭС оказывает сильное тепловое воздействие на окружающую среду, особенно на естественные водоемы. Сброс тепла от АЭС в 1,5–1,8 раза превышает сбросное тепло ТЭС, что объясняется разницей в значениях КПД. Расход воды на охлаждение мощной АЭС достигает 180 м³/с, причем температура охлаждающей воды, поступающей в водоемы после завершения технологического цикла, составляет 40–45°С, что может приводить к изменению теплового режима рек и озер и гибели водных организмов. Продолжительность эксплуатации (расчетный срок службы) АЭС составляет около 60 лет. После этого должен быть произведен демонтаж оборудования, зданий, сооруже-

ний, рекультивирована промышленная площадка.

Выбросы отходов газов в атмосферу в виде различных ядовитых оксидов загрязняют нижний слой атмосферы, вызывая кислотные дожди (диоксид серы) и уменьшения количества кислорода. Диоксид серы влияет самым негативным образом на растительность и, следовательно, животный мир. Вспомните кислотные кристально – чистые озёра в Америке.

Оксид углерода отрицательно влияет на перенесение крови в ткани мышц кислорода. При дыхании он связывается с гемоглобином крови и вызывает сердечно – сосудистые заболевания, нарушение дыхательной функции у человека. Повышение выше 10% в составе крови ведёт к коме и дальнейшей смерти.

Если теплоэлектростанция работает на угле, вокруг неё всегда радиационный фон повышен. Это происходит из-за того, что в угле присутствуют микроизотопы, которые высвобождаются при сгорании угля.

Специалисты Испанской ассоциации производителей возобновляемой энергии провели исследование воздействия на окружающую среду выбросов, образующихся при производстве электроэнергии. Эксперты количественно определили ущерб, наносимый генерацией электроэнергии с использованием 8 различных источников энергии: бурого и каменного угля, нефтяного топлива, природного газа, ядерного топлива, ветра, малых ГЭС и солнечных фотоэлементов. Результаты исследования показали, что выработка электроэнергии

на основе возобновляемых источников энергии наносит в 31 раз меньший ущерб окружающей среде, чем при применении традиционных видов топлива, а 1 кВтч, выработанный малыми ГЭС, в 300 раз «чище», чем при сжигании бурого угля.

В качестве единицы сравнения исследователи использовали штрафной экологический балл. Баллы рассчитывались с учетом глобального потепления, истощения озонового слоя, закисления почвы, эвтрофикации, загрязнения тяжелыми металлами, эмиссии канцерогенных веществ в атмосферу, формирования зимнего и летнего смога, воздействия на экологию промышленных, радиоактивных отходов и радиоактивных выбросов, а также истощения источников энергии (табл.1.5). Следует отметить, что оценка ущерба окружающей среде по другим методикам приводит к аналогичным выводам.

Таблица 1.5. Штрафной экологический балл для различных способов генерации электроэнергии

Топливо/технология

Штрафной экологический балл

Бурый уголь

1 735

Нефтяное топливо

1 398

Каменный уголь

1 356

Ядерное топливо

672

Солнечные фотоэлектрические элементы*

461

Природный газ

267

Ветер

65

Малые ГЭС

5

Расчет производился с учетом всех технологических операций.

На климат Земли сильно влияют аэрозоли в атмосфере парниковый эффект и кислотные дожди. Влага, которая выбрасывается при сжигании, снижает солнечное освещение, вызывает постоянные туманы и низкие облака. В зимнее вре-

мя это приводит к образованию наледи, инея, обледенению дорог.

Аэрозоли в атмосфере. Аэрозоль- дисперсная система, состоящая из взвешенных в газовой среде, обычно в воздухе, мелких частиц. В зависимости от природы аэрозоли подразделяют на естественные и искусственные. Естественные аэрозоли образуются вследствие природных сил, например при вулканических извержениях, сочетании эрозии почвы с ветром, явлениях в атмосфере. Искусственные аэрозоли образуются в результате хозяйственной деятельности человека. Важное место среди них занимают промышленные аэрозоли. Примером промышленного аэрозоля может служить газовый баллончик. Важнейшие оптические свойства аэрозолей – рассеяние и поглощение ими света. В прошлом климат Земли изменялся много раз без воздействия или при малом воздействии антропогенных источников. Поэтому возникает вопрос: может ли оказать воздействие на климат присутствие в атмосфере аэрозоля вообще и антропогенного в частности. Отмечалось, что глобальные выбросы антропогенного аэрозоля в настоящее время достаточно велики. Так, среднегодовой выброс аэрозоля из естественных источников составляет 2312 млн. т, а из антропогенных-296 млн. т, что составляет соответственно 88.5 и 11.5% от общего среднегодового количества генерируемого аэрозоля. При оценке потенциального влияния антропогенного аэрозоля важно сознавать, что его образование ограничено промышленными

центрами, расположенными в основном в Северной Америке, Европе, Японии и на части территории Австралии. Таким образом, 296 млн. т антропогенного аэрозоля образуется над площадью, равной примерно 2.5% поверхности Земли. Для сравнения отметим, что эта же территория продуцирует 58 млн. т аэрозоля естественного происхождения, т.е. лишь 20% от антропогенного аэрозоля. Эта относительно высокая концентрация антропогенного аэрозоля над относительно маленькой площадью позволяет предположить возможность локального, вполне вероятно, что и регионального, воздействия на климат.

Непоглощающий аэрозоль увеличивает альбедо атмосферы и, следовательно уменьшает количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. Если аэрозоль поглощает в коротковолновой области спектра, то поглощенная энергия солнечного излучения передается атмосфере. Это приводит к нагреванию атмосферы и охлаждению подстилающей поверхности. Если аэрозоль поглощает и соответственно испускает энергию в инфракрасной области спектра, то это приводит к противоположному результату, т.е. энергия выводится из тропосферы, что приводит к охлаждению воздуха и усилению парникового эффекта у поверхности Земли. Общий эффект зависит от соотношения коэффициентов поглощения в видимой и инфракрасной области, а также от альбедо поверхности. Изменение радиационных потоков в аэрозольной атмосфере приводит к изменению ее

температурной стратификации, а также к изменению температуры земной поверхности.

Считается, что антропогенные аэрозоли, особенно сульфаты, выбрасываемые при сжигании топлива, влияют на охлаждение атмосферы. В результате антропогенного воздействия изменяется аэрозольный состав атмосферы. Атмосферные аэрозоли определяют количество облаков, так как продукты конденсации водяного пара скапливаются на аэрозолях. Поэтому в городах по сравнению с сельской местностью больше облачность и количество осадков. Увеличение аэрозолей приводит к уменьшению температуры воздуха.

Цементная промышленность. Производство цемента является интенсивным источником выбросов CO_2 . Диоксид углерода образуется, когда карбонат кальция (CaCO_3) нагревают, чтобы получить ингредиент цемента оксид кальция (CaO или негашёная известь). Производство цемента является причиной приблизительно 5% выбросов CO_2 индустриальных процессов (энергетический и промышленный сектора). При затворении цемента то же количество CO_2 поглощается из атмосферы при протекании обратной реакции $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$. Поэтому производство и потребление цемента изменяет только локальные концентрации CO_2 в атмосфере, не изменяя среднее значение

Истощение планетарного кислорода. Увеличение сжигания топлива сопровождается все большим расходом кислорода. До середины XIX века его содержание в атмо-

сфере оставалось более или менее постоянным. Поглощение кислорода в естественных окислительных процессах компенсировалось фотосинтезом. Поглощая из воздуха 55 млрд т кислорода, Мировой океан выделяет в атмосферу 61 млрд т кислорода. В результате воздушная оболочка Земли ежегодно получает из океана 6 млрд т кислорода. Сейчас этот баланс нарушен процессами сжигания топлива. Особенно много кислорода потребляют развитые промышленные страны. США, где проживает лишь 5% населения мира, потребляют свыше 30% общемирового производства энергии. В результате такого энергетического изобилия в США расходуется больше кислорода, чем его производит растительность страны.

За весь период человеческой деятельности на процессы горения безвозвратно израсходовано 273 млрд т кислорода, в том числе за последние 50 лет – 246 млрд т. Однако это пока не привело к заметному уменьшению концентрации кислорода в атмосфере. Но если основным источником энергии по-прежнему будет ископаемое топливо, проблема кислородного голодания может обостриться ко второй половине XXI века.

Парниковый эффект – подъем температуры на поверхности планеты в результате тепловой энергии, которая появляется в атмосфере из-за нагревания газов. Явление парникового эффекта позволяет поддерживать на поверхности Земли температуру, при которой возможно возникновение

и развитие жизни. Если бы парниковый эффект отсутствовал, средняя температура поверхности земного шара была бы значительно ниже, чем сейчас. Однако при повышении концентрации парниковых газов увеличивается непроницаемость атмосферы для инфракрасных лучей, что приводит к повышению температуры планеты.

Парниковый эффект имеет место не только на Земле. К примеру, сильный парниковый эффект на соседней планете – Венере. Атмосфера Венеры почти целиком состоит из углекислого газа, и в результате поверхность планеты разогрета до 475°C . Климатологи полагают, что Земля избежала такой участи благодаря наличию на ней океанов. Океаны поглощают атмосферный углерод, и он накапливается в горных породах, таких как известняк. Посредством этого углекислый газ удаляется из атмосферы. На Венере нет океанов, и весь углекислый газ, который выбрасывают в атмосферу вулканы, там и остается. В результате на планете наблюдается неуправляемый парниковый эффект.

Парниковые газы – газообразные составляющие атмосферы природного, или антропогенного происхождения, которые поглощают и переизлучают инфракрасное излучение. Антропогенный рост концентрации в атмосфере парниковых газов приводит к повышению приземной температуры и изменению климата. Список парниковых газов, подлежащих ограничению, определен в Приложении А к Киотскому протоколу (подписан в Киото (Япония) в декабре 1997г. 159

государствами) и включает двуокись углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), перфторуглероды (ПФУ), гидрофторуглероды (ГФУ) и гексафторид серы (SF_6). Водяной пар – самый распространенный парниковый газ – исключен из данного рассмотрения, так как нет данных о росте его концентрации в атмосфере (связанная с ним опасность не просматривается).

Двуокись углерода (углекислый газ) (CO_2) – важнейший источник климатических изменений, на долю которого приходится, по оценкам, около 64% глобального потепления. Основными источниками выброса углекислого газа в атмосферу являются производство, транспортировка, переработка и потребление ископаемого топлива (86%), сведение тропических лесов и другое сжигание биомассы (12%), остальные источники (2 %), например производство цемента и др. После выделения молекула двуокиси углерода совершает цикл через атмосферу и биоту и окончательно поглощается океаническими процессами или путем длительного накопления в наземных биологических хранилищах, то есть поглощается растениями. Количество времени, при котором примерно 63% газа выводится из атмосферы, называется эффективным периодом пребывания. Оцениваемый эффективный период пребывания для CO_2 колеблется в пределах от 50 до 200 лет.

Метан (CH_4) имеет как природное, так и антропогенное происхождение. В последнем случае он образуется:

– в результате производства топлива, пищеварительной ферментации (например, у скота), рисоводства, сведения лесов (главным образом вследствие горения биомассы и распада избыточной органической субстанции). На долю метана приходится, по оценкам, примерно 20% глобального потепления. Выбросы метана представляют собой значительной источник парниковых газов.

Закись азота (N_2O) – третий по значимости парниковый газ Киотского протокола. Выделяется при производстве и применении минеральных удобрений, в химической промышленности, в сельском хозяйстве и т. д. На него приходится около 6% глобального потепления.

Перфторуглероды – ПФУ (Perfluorocarbons – PFCs). Углеводородные соединения, в которых фтор частично замещает углерод. Основным источником эмиссии этих газов является производство алюминия, электроники и растворителей. При алюминиевой плавке выбросы ПФУ возникают в электрической дуге или при так называемых анодных эффектах.

Гидрофторуглероды (ГФУ) – углеводородные соединения, в которых галогены частично замещают водород.

Гексафторид серы (SF_6) – парниковый газ, использующийся в качестве электроизоляционного материала в электроэнергетике. Гексафторид серы (элегаз, или шестифтористая сера, SF_6) – неорганическое вещество, при нормальных условиях тяжелый газ, в 5 раз тяжелее воздуха. Выбросы происходят при его производстве и использовании. Чрез-

вычайно долго сохраняется в атмосфере и является активным поглотителем инфракрасного излучения. Это соединение, даже при относительно небольших выбросах, обладает потенциальной возможностью влиять на климат в течение продолжительного времени в будущем.

Выбросы кислых газов и золы. При соединении оксидов серы с водой из воздуха образуются капельки серной и сернистой кислот. Их растворы могут долгое время держаться в воздухе в виде плавающих капелек тумана или выпадают вместе с дождем и снегом. Выпадение кислых осадков сопровождается подкислением водоемов и почвы, что приводит к гибели водных организмов, деградации почвенной фауны, ухудшению состояния лесов и их усыханию. По причине подкисленной почвы снижаются урожаи, ухудшается качество сельскохозяйственной продукции. Кислотные дожди и туманы разъедают металлы, краски, синтетические соединения, ткани, сокращают сроки и ухудшают хранение продуктов питания и т. д. Наибольшую опасность кислотные дожди представляют для промышленных стран, однако посредством трансграничных переносов высотными ветрами они достигают и соседних государств.

В 2000–2010 гг. глобальные выбросы парниковых газов (ПГ) росли быстрее (на 2,2% в год), чем в три предшествующих десятилетия (на 1,3% в год в 1970–2000 гг.), несмотря на глобальный экономический кризис и усилия растущего числа стран реализовать Рамочную конвенцию ООН об из-

менении климата и Киотский протокол. За последние четыре десятилетия накопленные выбросы углекислого газа увеличились с 900 млрд т CO₂ в 1970 г. до 2 000 млрд т в 2010 г. CO₂ по-прежнему является основным антропогенным парниковым газом. Выбросы ПГ от сжигания топлива в 2013 г. превысили 32 млрд т CO₂, и при отсутствии жестких мер политики по их контролю могут вырасти до 50–70 млрд CO₂ к 2050 г. и до 90 млрд т CO₂ – к 2100 г.

Расчеты показывают, что без существенных дополнительных мер по контролю за выбросами в ближайшие 20 лет будет практически невозможно удерживать концентрацию ПГ в атмосфере в рамках 450–500 ppm. Это означает, что потребуются большие усилия по снижению выбросов в 2030–2050 гг. или широкомасштабное применение технологий удаления ПГ из атмосферы либо ее охлаждения в последующие годы. Хотя смягчение воздействия на климат сопряжено с существенными затратами, они могут быть снижены за счет устранения барьеров для проникновения на рынок низкоуглеродных технологий и возобновляемых источников энергии.

Золоотвалы. Отрицательное влияние на природу оказывают и золоотвалы. В месте их размещения земля исключается из сельскохозяйственного оборота, происходит загрязнение грунтовых и поверхностных вод, атмосферы, нарушается функционирование природных экосистем.

Рекомендованные направления политики и меры по со-

кращению выбросов парниковых газов, определенные в Киотском протоколе, включают в себя:

–повышение эффективности использования энергии в соответствующих секторах национальной экономики;

–охрану и повышение качества поглотителей и накопителей парниковых газов с учетом своих обязательств по соответствующим международным природоохранным соглашениям;

–содействие рациональным методам ведения лесного хозяйства, облесению и лесовозобновлению на устойчивой основе;поощрение устойчивых форм сельского хозяйства в свете мер, связанных с изменением климата;

–содействие внедрению, проведение исследовательских работ, разработку и более широкое использование новых и возобновляемых видов энергии, технологий поглощения двуокиси углерода и инновационных экологически безопасных технологий;

–постепенное сокращение или устранение рыночных диспропорций, фискальных стимулов, освобождения от налогов и пошлин, субсидий, противоречащих цели Конвенции, во всех секторах – источниках выбросов парниковых газов и применение рыночных инструментов;

–поощрение надлежащих реформ в соответствующих секторах в целях содействия осуществлению политики и мер, ограничивающих или сокращающих выбросы парниковых газов;

–меры по ограничению и/или сокращению выбросов парниковых газов на транспорте;

–ограничение и/или сокращение выбросов метана путем рекуперации и использования при удалении отходов, а также при производстве, транспортировке и распределении энергии.

ГЛАВА 2. ОПЫТ ГЕРМАНИИ В РАЗВИТИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В январе 1980 г. в Карлсруэ была основана партия зеленых, которая сформировалась из противоатомного и экологического движения. Партия зеленых в 1983 г. вошла в немецкий парламент и потребовала новой энергетической политики, направленной на защиту окружающей среды и климата. Партия требовала уходить от атомной энергетики и сжигания ископаемых энергоносителей, таких как бурый и каменный уголь, природный газ, и заниматься экологически чистыми, альтернативными видами производства электроэнергии. Политика зеленых дала импульс мелким и средним предприятиям заняться развитием альтернативных видов производства электроэнергии.

Немецкий парламент в 1990 г. принял закон о подаче электроэнергии из возобновляемых энергоисточников в сеть общего пользования и о вознаграждении по конкретным тарифам. Этот закон был необходим для защиты мелких производителей электроэнергии из возобновляемых источников от больших электроконцернов, которые усложняли доступ к своим электросетям или отказывали в нем. Гарантированное вознаграждение давало сильный стимул для развития

возобновляемых источников энергии. Установленные тарифы приводили до уровня экономической целесообразности, особенно что касается находящихся вблизи моря ветровых установок, в то же время тарифы для фотоэлектрических установок были еще далеки до этого.

С самого начала новый закон критиковали большие электроконцерны, поскольку они видели для себя угрожающую конкуренцию.

Дальнейшие импульсы возобновляемая энергетика получила на конференции в Киото 1997 г., где были приняты обязывающие цели по уменьшению выбросов CO₂. В июле 2000 г. было достигнуто соглашение между правительством ФРГ и большими электроконcernами о замораживании работ по производству атомной энергии. Окончательную победу возобновляемая энергетика получила в 2000 г., когда в немецком парламенте был принят закон о возобновляемой энергетике. Закон определяет приоритетную подачу электроэнергии из возобновляемых источников перед электростанциями на базе традиционных видов топлива. Эксплуатирующие организации передающих и распределительных сетей обязаны принимать электроэнергию и выплачивать вознаграждение за нее по установленным тарифам. Вознаграждение гарантируется на протяжении 20 лет. В 2000 г. были установлены новые тарифы, таблица 2.1.

Таблица 2.1 Тарифы на энергию, получаемую с помощью ВИЭ

Вид установки ВИЭ

Тарифы, 1990 г.

Тарифы, 2000 г.

Ветровые установки

7,23 евроцент/кВт·ч

9,10 евроцент/кВт·ч*

Гидроэлектростанции

7,23 евроцент/кВт·ч

7,67 евроценткВт·ч

Биогазовые комплексы

7,23 евроцент/кВт·ч

10,23 евроцент/кВт·ч

Установки свалочного газа

7,23 евроцент/кВт·ч

7,67 евроцент/кВт·ч

Установки геотермии

5,95 евроценткВт·ч

8,95 евроцент/кВт·ч

Фотоэлектрические установки

8,23 евроцент/кВт·ч

45,70 евроцент/ кВт·ч**

* 9,10 евроцент/кВтч выплачивались только первые 5 лет, затем – 6,19 евроцент/кВтч.

** Если фотоэлектрическая установка монтируется на крышах здания или на звукоизолирующей преграде, то вознаграждение повышается на 11,7 евроцент./кВтч при мощности до 30 кВт, на 8,9 евроцент./кВтч – при более чем 30 кВт и на 8,3 евроцент./кВтч – при более чем 100 кВт.

Высокое вознаграждение за электроэнергию из фотоэлектрических установок первоначально было необходимо и оправдано из-за высокой стоимости этой технологии – 1 кВт установленной мощности в 2000 г. стоил около 5 000 евро. С тех пор цены сильно упали, и в 2015 г. 1 кВт стоил уже около 1 000 евро. Тарифы имели понижающийся характер (вначале больше, затем меньше), чтобы дополнительно стимулировать развитие ВИЭ.

Цель закона заключается в том, чтобы в интересах защиты климата и окружающей среды способствовать устойчивому развитию энергообеспечения, снижать стоимость энергообеспечения путем использования долгосрочных косвенных факторов, беречь ископаемые энергоносители и продвигать технологии производства электроэнергии из возобновляемых источников.

Закон о ВИЭ составил основу для почти беспрепятствен-

ного развития всех видов устройств для получения электроэнергии из возобновляемых источников. Правительство поставило конкретные цели для развития ВИЭ, которые были достигнуты в 2015 г. и определены задачи до 2050 г., рис. 2.1.



Рис. 1.1. Доля ВИЭ в энергопроизводстве

Рис. 2.1. Доля ВИЭ в энергопроизводстве Германии

Все установки ВИЭ производили в 2015 г. около 31% электроэнергии в Германии. Около 2% производимой электроэнергии приходится на сжигание биомассы. В Германии активно развивают ветровую энергетику. Старые маломощные установки заменяют на новые высокомоощные (Repowering). Только в 2015 г. было введено в эксплуатацию 1 115 новых ветровых установок на суше с общей мощностью 3 536

МВт. Из большого количества гидроэлектростанций мощность выше 1 МВт имеют только 406. Количество установленной мощности фотоэлектрических установок снизилось в 2015 г. на 1,3–2 ГВт. Тарифы за 1 кВтч электроэнергии из фотоэлектрических установок уменьшились с 57 евроцентов в 2000 г. до 12 – в 2015-м.

Согласно закону о ВИЭ, эксплуатирующие организации передающих и распределительных сетей, обязаны принимать электроэнергию из этих установок и оплачивать по названным тарифам. Так, только в 2015 г. владельцам ВИЭ за производимую и подаваемую в общую сеть электроэнергию было выплачено около 20 млрд евро. Электроэнергия из ВИЭ продается в Евросоюзе на биржах (в Париже и Лейпциге). Биржевая цена за электроэнергию значительно ниже, чем установленные тарифы, поэтому выручка от продажи электроэнергии из ВИЭ составляет лишь около 25–30%. Таким образом, появляется убыток в размере 70–75%, который распределяется на всех конечных потребителей. В счетах за электроэнергию эта сумма указывается как так называемая перекладка за возобновляемую энергетику (EEG-Umlage). С возрастанием количества установок ВИЭ вырос и размер этой перекладки, который в 2015 г. достиг почти 6,4 евроцент/кВтч. В среднем цена за электроэнергию для населения выросла с 2000-го до 2015 г. с 14 до 29 евроцент/кВтч – увеличение более чем на 100 %. С 2000-го до 2015 г. немецкий закон о возобновляемой энергетике был неоднократно пере-

работан и приведен в соответствие с современными условиями. Первое обновление закона было в 2004 г. Тогда были поставлены конкретные цели развития возобновляемых источников энергии, а именно: к 2010 г. – до 12,5% и к 2020-му – до 30%. В среднем цена за электроэнергию для населения выросла с 2000-го до 2015 г. с 14 до 29 евроцент/кВтч.

Второй раз закон обновлялся в 2009 г. Была сделана его полная переработка. Разделы о структуре и распределении электроэнергии были написаны заново. Количество статей увеличивалось с 24 до 66. Эксплуатирующие организации сетей получили право не принимать электроэнергию из ВИЭ в случае перегрузки сети, но в таких случаях они обязаны компенсировать потери владельцам ВИЭ за непринятую электроэнергию. В дальнейшем были определены размеры годового снижения тарифов для электроэнергии из ВИЭ (депрессия). Кроме того, разрешалась прямая продажа электроэнергии конечным потребителям.

Третье обновление закона состоялось в 2012 г. Предыдущий закон был основательно переработан. Согласно энергетической программе, правительства были закреплены конкретные цели дальнейшего развития ВИЭ. Доля электроэнергии из ВИЭ в энергопотреблении должна составлять в 2020 г. не менее 35%, в 2030-м – не менее 50%, в 2040-м – не менее 50% и в 2050 г. – 80%. Особое внимание уделено рыночной, сетевой и системной интеграции. Цель – в оптимизации общей системы для улучшения взаимодействия

ВИЭ и традиционной энергетике.

Особенное внимание уделено регулированию производства электроэнергии из фотоэлектрических установок. Для этого был принят отдельный законодательный акт (27.06.2012 г., PV-Novelle). В нем установлены новые тарифы в зависимости от места нахождения установки, ее мощности и месячной дегрессии (пропорциональное налогообложение с понижением процента для уменьшающихся по величине доходов) тарифа, таблица 2.1.

Таблица 2.1. Зависимость тарифов от мощности, места установки и генерации по месяцам года, евроцент/кВтч

Установленная мощность ФЭУ на крышах зданий

На полях

< 10 МВт

Дегрессия, %

2012 г.

< 10 кВт

10–

40 кВт

40–

1 000 кВт

1–10

МВт

Апрель

19,50

18,50

16,50

13,50

13,50

1

Май

19,30

18,31

16,34

13,37

13,37

1

Июнь

19,11

18,13

16,17

13,23

13,23

1

Июль

18,92

17,95

16,01

13,10

13,10

1

Август

18,73

17,77

15,85

12,97

12,97

1

Сентябрь

18,54

17,59

15,69

12,84

12,84

1

Октябрь

18,36

17,41

15,53

12,71

12,71

1

Ноябрь

17,90

16,98

15,15

12,39

12,39

2,5

Декабрь

17,45

16,56

14,77

12,08

12,08

2,5

Кроме того, была установлена мощность предельного развития фотоэлектрики в Германии в размере 52 ГВт. Годовой коридор для увеличения мощности сохраняется в пределах 2,5–3,5 ГВт. Если было построено больше, чем 3,5 ГВт в год, то дегрессия повышалась дополнительно на 3%, если более 4,5 ГВт – на 6 % и свыше 5,5 ГВт – на 9%. Если, наоборот,

цель постройки новой мощности не была достигнута, то депрессия уменьшалась. В случае если было построено менее 2,5 ГВт в год, то на 2,5 %, менее 1,5 ГВт – на 5 % и менее 1 ГВт – на 7,5%.

По-новому регулировались тарифы для электроэнергетики, получаемой с ГЭС. Так, при мощности до 500 кВт – 12,7 евроцент/кВтч, до 2 МВт – 8,3 евроцент/кВтч, до 5 МВт – 6,3 евроцент./кВтч, до 10 МВт – 5,5 евроцент./

кВтч, до 20 МВт – 5,3 евроцент/кВтч и до 50 МВт – 4,2 евроцент Втч.

Четвертое обновление закона пришлось на 2014 г. Закон снова получил широкую и основательную переработку, вырос до 104 статей и 4 приложений на 74 страницах. Были установлены следующие размеры увеличения мощности:

1. Ветровая энергетика на суше – 2 500 МВт в год.
2. Ветровая энергетика на море – 6 500 МВт до 2020 г. и 15 000 МВт – до 2030 г.
3. Фотоэлектрические установки – 2 500 МВт в год.
4. Все виды биомассы вместе – 100 МВт в год.

В главе 4 регулируются тарифы для каждого вида ВИЭ отдельно. В зависимости от отклонения от планируемой мощности тарифы уменьшаются быстрее или медленнее.

Германия в сентябре 2022 года подключила 1Гвт ветровой и солнечной энергии к энергосети. Переход Германии к возобновляемым источникам энергии начался около 30 лет назад, как и в ряде других европейских стран, что связано

с климатическим кризисом. Однако технологии не позволяют быстро отказаться от традиционных источников энергии. Процесс перехода растянулся на десятилетия. Однако правительство Германии решило полностью отказаться от угля к 2030 году. Цель, к которой стремится страна – получать до 80% электроэнергии из возобновляемых источников, которая имеет свои плюсы и минусы по сравнению с атомной энергетикой. Однако в последнее время благодаря развитию технологий, стоимость энергии от возобновляемых источников стала существенно снижаться, и уже ее себестоимость даже ниже атомной энергии.

ГЛАВА 3. СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ И ПОЛУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

3.1. Совершенствование технологий производства

Для более объективной и полной оценки отрицательно-го воздействия предприятий теплоэнергетики на природную среду, живое вещество биосферы и экономику необходимо учитывать все элементы: от добычи сырья, получения продукции (энергии), утилизации отходов до ликвидации самого предприятия. Мероприятия по снижению загрязнений воздушной среды выбросами ТЭС решают в основном двумя способами: использованием технологических методов подавления их образования и установкой пыле-газоочистного оборудования.

В связи с постоянным ростом энергопотребления в ближайшее время человечество ощутит ограниченность ископаемого топлива. Избежать этого можно, по-видимому, двумя способами.

1. *Экономия энергии.* Применение ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий обеспечило значительное

сокращение потребления топлива и материалов в развитых странах.

2. Развитие экологически более чистых видов производства энергии.

Экологическое совершенствование технологии производства. Интенсивность образования NO_x определяется температурным уровнем и концентрацией кислорода в факеле. Интенсивность образования топливных NO_x (за счет наличия азота в топливе) определяется концентрацией кислорода в зоне сгорания летучих компонентов, а температура играет второстепенную роль. Специально организуя топочный процесс, можно изменить количество образующихся оксидов азота при горении. Нашли практическое применение следующие методы.

1. Впрыск влаги или пара в топку – как средство снижения выбросов NO_x . Отличается простотой, легкостью регулирования и низкими капитальными затратами (на газомазутных котлах этот метод позволяет снизить выбросы NO_x на 20–30 %).

2. Ступенчатая подача топлива. При двухступенчатом сжигании через все горелки подают топливо с недостатком воздуха так, чтобы кислорода не хватало для образования NO_x , а в конечную часть факела вводят недостающий для полного сгорания воздух. При трехступенчатом сжигании выше основных пылеугольных горелок в топке устанавливают дополнительные горелки, в которые подается часть топ-

лива с недостатком воздуха, и создается зона с восстановительной средой. Еще выше располагают сопла для ввода третичного воздуха, необходимого для завершения топочного процесса.

3. Снижение избытка воздуха в топке на всех видах топлива приводит к уменьшению выброса NO_x . Пределом применимости этого способа служит появление в уходящих газах продуктов неполного сгорания, увеличение содержания горючих в уносе, увеличение интенсивности шлакования поверхностей нагрева и высокотемпературная коррозия экранов.

4. Предварительный подогрев топлива до 700°C , когда выделяется значительная часть летучих веществ, а азотсодержащие компоненты топлива переходят в прочную молекулу N_2 , позволяет в 2,5 раза снизить выбросы топливных NO_x .

5. Технология кипящего слоя. Принцип сжигания твердого топлива в кипящем слое его частиц заключается в следующем. Дробленое топливо и сорбент (известняк CaCO_3), связывающий SO_2 , подаются в топку, и топливо сгорает при $800\text{--}900^\circ\text{C}$ в кипящем слое, образованном золой или кварцевым песком (если топливо малозольное). Выносимые из топки частицы золы, сорбента и топлива улавливаются в циклоне и далее многократно циркулируют по контуру «топка – циклон – топка». При низких температурах горения не происходит разложения золы и шлакообразования, а также образования NO_x . Подаваемый в кипящий слой известняк

разлагается под действием высокой температуры, становится пористым. Проникающий в поры диоксид серы соединяется с CaO с образованием CaSO . Развитие технологий кипящего слоя направлено на обеспечение эффективного сжигания низкокачественного высокозольного топлива в широком диапазоне изменения нагрузок котлов без использования газообразного и жидкого топлива, а также на максимальное сокращение выбросов оксидов серы, азота и летучей золы. Таким способом Япония сумела весьма существенно сократить выбросы от крупных ТЭС, работающих на угле.

6. Золоулавливание на ТЭС. Чтобы предотвратить выброс золы в атмосферу и защитить дымососы котлов от абразивного износа, на электростанциях осуществляется очистка газов в золоуловителях: механических (циклоны, центробежные скрубберы, тканевые фильтры и др.) и электрических (электрофильтры).

7. Методы очистки газовых выбросов ТЭС. Различают мокрые (жидкофазные) и сухие методы очистки газовых выбросов от токсичных компонентов. Как мокрые, так и сухие методы могут быть циклическими и не циклическими, каталитическими и не каталитическими. Мокрые методы очистки связаны с использованием в качестве поглотительного агента жидкости: воды, водных растворов, других веществ или жидкостей. Сухие методы очистки основаны на взаимодействии газа с твердыми веществами-поглотителями (сорбентами).

Мировые затраты на охрану окружающей среды непрерывно растут. Для снижения вредного воздействия выбросов на ТЭС строятся дорогостоящие трубы высотой 200–300 м для рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, устанавливается все более эффективное и дорогое оборудование по улавливанию и очистке выбросов. Большинство промышленно развитых стран уже подошло к тому рубежу, когда установка такого оборудования становится главным лимитирующим фактором дальнейшего роста производства энергии, поскольку приводит к увеличению себестоимости генерации энергии и превышению издержек над прибылью.

3.2. Некоторые направления развития малоуглеродной энергетики

На данный момент ученые активно ищут способы решения энергетической проблемы. Подавляющее большинство стран пользуются методом поиска новых месторождений полезных ископаемых для своей деятельности.

Второе направление заключается в развитии методов борьбы с загрязнением атмосферы, а именно:

- оптимизация процесса сжигания топлива;
- очистка топлива от элементов, образующих при сжигании загрязняющие вещества;
- очистка дымовых газов от загрязняющих веществ;
- рассеивание загрязнителей в атмосферном воздухе.

Перечисленные методы не позволяют радикально сократить выход токсических веществ, так как эти способы порождают строительство очень дорогих сооружений, а некоторые способы основаны на применении аммиака, который сам вреден.

Некоторые исследования направлены на развитие малоуглеродной и безуглеродной энергетики.

Третье направление представляет собой активное развитие атомной энергетики, и хоть оно является недостаточно экологичным, все равно остается в приоритете у современных ученых. Стоит отметить, что это относится только к но-

вым атомным реакторам.

Большие надежды возлагаются на международный проект, разрабатывающий термоядерную станцию, которая будет вырабатывать энергию за счет синтеза тяжелых изотопов водорода с образованием гелия. Такая реакция не будет давать газообразных и жидких радиоактивных отходов.

Четвертое направление предполагает использование водорода и его соединений для заправки производственных машин. Тип двигателя, поддерживающий водород и его соединения – абсолютно новый и только начинает набирать популярность. Также ученые разрабатывают новый электрохимический генератор, который также будет работать на водородном топливе. Этот способ должен работать во много десятков раз мощнее, чем использование угля и газа в качестве топлива.

Пятым направлением можно считать создание и использование турбогенератора, который работает при помощи криогена. Ротор должен охлаждаться гелием, благодаря чему достигается очень высокая проводимость.

Шестое направление, пожалуй, самое экологичное и безопасное, оно предусматривает прямое преобразование тепловой энергии в энергетическую. Данный способ максимально безопасен для людей и животных, а также всей окружающей среды.

Конечно, все способы решения энергетической проблемы использоваться не будут, поскольку среди них есть как бо-

лее, так и менее успешные. Ученые считают, что в ближайшее время энергетика очень сильно изменится и человечество начнет применять наиболее безопасные и эффективные способы добычи топлива, с условием, что месторождения не так колоссально страдают. На данный момент больше всего упор идет на использование природной энергии, а именно:

- воды;
- ветра;
- солнца;
- геотермальной энергии.

Таким образом удастся сохранить огромное количество полезных ископаемых по всей планете. Также очень много надежд возлагается на биотопливо, так как оно способно давать намного больше энергии, чем нефть или уголь. В любом случае, некоторые источники полезных ископаемых будут дальше истощаться, так как не все корпорации используют новые технологии. Большинство развивающихся стран Европы внедряют и используют новые технологии, в то время как Российская Федерация, Украина, Беларусь, Индия, Китай и другие страны все еще не могут полностью перейти к более современным технологиям. Именно поэтому здесь энергетическая проблема распространяется более обширно. На сегодняшний день эти государства не могут снизить потребление энергии и топлива, поэтому затраты постоянно нестабильны. Также они постоянно развивают металлургическую промышленность, что не только негативно влияет на

экологию, но и довольно сильно истощает запасы топлива, поскольку оборудование не экономичное.

3.2.1. Улавливание и хранение

углерода

Электростанции на угле производят около трети всех мировых выбросов двуоксида углерода, а к 2035 г., согласно прогнозу Международного энергетического агентства, их доля может увеличиться до 45%. Несмотря на напряженные усилия по поиску и разработке возобновляемых источников энергии, пройдет немало времени, прежде чем такие технологии смогут составить серьезную конкуренцию углю и другим ископаемым видам топлива.

Разработка более экологически чистых способов сжигания угля приобрела чрезвычайную важность. Все серьезные прогнозы показывают, что уголь, нефть и газ еще многие годы будут оставаться важнейшими энергоносителями. Их сжигание сопровождается образованием парниковых газов. Проблема сокращения выбросов этих газов в атмосферу одновременно с обеспечением мировой экономики достаточным количеством энергии уже сейчас довольно остра. Для уменьшения выбросов требуется ряд мер: повышение энергоэффективности, улавливание и хранение углерода (УХУ), переход на новые виды топлива (например, от угля к природному газу), развитие ядерной энергетики, использование возобновляемых источников энергии.

С учетом того, что в обозримом будущем мировая эко-

номика продолжит зависеть от ископаемых видов топлива, важнейшей из перечисленных мер становится широко-масштабное внедрение технологии УХУ. Она заключается в улавливании углекислого газа и сохранении его в глубинных геологических формациях, откуда он не сможет попасть в атмосферу. Новый пакет документов по изменению климата, принятый Евросоюзом, включает директиву о хранении углекислого газа, а также поправки в систему торговли квотами на выбросы в рамках ЕС, призванные стимулировать внедрение УХУ. Всесторонняя поддержка этой технологии входит в число мер по сокращению углеродных выбросов, принимаемых в США, Канаде, Норвегии, Великобритании и Австралии.

На пути к превращению технологии улавливания и хранения углеродов в один из действенных механизмов смягчения влияния на климат стоят четыре препятствия:

- 1.Стоимость технологии улавливания. В настоящее время она превышает расходы на оплату выбросов углекислого газа.
- 2.Отсутствие серьезной законодательной базы.
- 3.Недостаточная осведомленность общества.
- 4.Нерешенные вопросы по инфраструктуре УХУ.

Для реализации всего потенциала УХУ необходимо, чтобы внедрение и использование этой технологии было экономически целесообразным. Высокие расходы на улавливание углекислого газа, образующегося в процессе сжигания топ-

лива, объясняются необходимостью сбора и хранения больших объемов топочного газа и его по следующего нагревания для выделения CO_2 . При этом общепринятых расценок на углеродные выбросы не существует. В развивающихся странах, где потребность в энергии возрастает очень быстро, распространение технологии УХУ невозможно без финансовой и технической поддержки извне.

На сегодняшний день не реализовано ни одного крупномасштабного проекта по выделению углекислого газа на электростанциях, промышленных предприятиях. Таким образом, нет опыта определения размеров затрат.

На плавильном заводе в Монгстаде (Норвегия) фирма Statoil планирует установить систему улавливания углекислого газа на станции по комбинированному производству электроэнергии и тепла, а также на различных точках выброса топочных газов из плавильного цеха. Для этих целей Statoil при участии норвежских властей и промышленных партнеров создала в Монгстаде Европейский испытательный центр по углекислому газу. В этом центре будут опробованы две технологии улавливания, рассмотрены возможности повышения их производительности и снижения стоимости.

Для полномасштабного внедрения УХУ необходимо наличие инфраструктуры, в частности, сети путей сообщения и мест хранения. При наличии множественных источников уловленного углекислого газа необходимо предусмотреть соответствующую систему сбора для последующей транспор-

тировки к местам хранения. Ее разработка и создание должны проводиться одновременно с крупномасштабным строительством очистных установок. Существует необходимость в многочисленных местах хранения.

Фирма Statoil длительное время занимается вопросами сохранения углекислого газа в геологических породах в рамках разработки месторождения Sleipner в Северном море. В данном случае попаданию углекислого газа в атмосферу препятствует 800-метровая толща скальной породы над местом хранения. К концу 2008 г. в этом хранилище находилось 11 млн т углекислого газа. Улавливание и хранение CO₂ важно для снижения выбрасываемых в атмосферу газов. Уже известны технологии, необходимые для отделения CO₂ от других газов и его улавливания. В дальнейшем необходимо развитие и применение этих технологий в широких масштабах.

Процесс улавливания и хранения CO₂ выполняется в очень небольших масштабах, однако может значительно повлиять на объем диоксида углерода в атмосфере. Процесс состоит из двух фаз: «захватить» CO₂, не дав ему улечься, и хранить газ безопасно и долго. Идея выделения CO₂ из выбросов, чтобы уменьшить объем газа в атмосфере, принципиально нова. Однако используемая для этого технология разрабатывалась совсем для других целей.

Лучшее место для улавливания CO₂ – крупные источники загрязнений. Электростанции являются источником трети общемировых выбросов CO₂. Углекислый газ также яв-

ляется побочным продуктом при производстве железа, стали и цемента, выделяется из природного газа перед использованием последнего в качестве топлива.

Основное органическое топливо для электростанций – природный газ и уголь – сжигается при наличии воздуха. Когда сжигается природный газ, то содержащийся в метане водород связывается с кислородом, образуя воду. Но используемый в процессе горения воздух содержит преимущественно азот, который не участвует в процессе горения. Чтобы эффективно хранить CO_2 , его прежде всего необходимо отделить от других газов. Для этого есть три стратегии:

1. Отделить CO_2 после сжигания.

2. Убрать углерод из топлива до сжигания, таким образом в горении будет участвовать только водород, а образовываться вода.

3. Сжигать органическое топливо при наличии не воздуха, а кислорода, с образованием концентрированного CO_2 . Для растворения CO_2 перед выходом в атмосферу могут быть использованы химические процессы.

Сейчас применяются так называемые амины. Они поглощают CO_2 , образуя химические связи, особенно при высоком давлении и низкой температуре. Этот процесс называется «мокрой очисткой газа». Результат – химический раствор, который затем нагревается при пониженном давлении и выделяет концентрированный CO_2 .

Без химического связывания CO_2 растворяют другие ве-

щества. Данный процесс физический, в нем CO_2 растворяется под давлением, а затем вымывается при помощи растворителя при пониженном давлении. Растворитель может использоваться повторно.

Другой способ улавливания CO_2 – охладить дымовые газы до точки сжижения CO_2 . Такой процесс требует существенных затрат энергии на охлаждение. Преимущество в том, что жидкости легко транспортировать на грузовом автомобиле или корабле. Можно также отделить газы при помощи тонких пленок – мембран. Часть газов проходит через мембрану быстрее, чем другие. Это отделяет одни газы от других.

Топливо в виде природного газа – метан (CH_4), при сгорании которого образуются CO_2 и H_2O . Если мы удалим углерод перед сгоранием, то останется только водород, при сжигании которого образуется чистая вода. Чтобы осуществить это, топливо необходимо соединить с кислородом или паром для образования монооксида углерода (CO) и водорода. После этого CO реагирует с паром, образуя CO_2 и водород. Наконец, CO_2 выделяется, а водород используется в качестве топлива для газовой турбины.

Сжигание при наличии кислорода. Воздух на 78% состоит из азота. В процессе горения количество азота практически не меняется – это основной газ, разбавляющий CO_2 в смеси. Топливо сжигается в чистом кислороде, а не в воздухе. Задача состоит в том, как отделить кислород от остатков

воздуха, состоящего по большей части из азота. Воздух можно подогреть – так кислород разжижается. Мембраны, пропускающие кислород и азот с разной скоростью, отвечают за разделение. Есть также вещества, которые поглощают азот, отделяя его от кислорода. Их можно восстановить, удалив из них азот, и использовать вновь.

Технологии хранения. Как только концентрированный CO₂ собран, следующим шагом является хранение газа. Существует несколько вариантов хранения.

Геологические полости. Долгосрочное хранение CO₂ в геологических полостях – наиболее многообещающий в плане широкого распространения метод. Некоторые проекты уже реализуются. Чтобы уменьшить выбросы парниковых газов и остановить глобальное потепление, хранимый CO₂ необходимо уберечь от попадания в атмосферу сотни тысяч лет. Нефтяные и газовые месторождения, глубокие водно-солевые слои и угольные пласты существуют миллионы лет и при этом претерпевают не значительные изменения. Очевидно, что при правильном подходе использование этих месторождений дает возможность длительно хранить CO₂.

Многие технологии, применяемые для хранения CO₂ на месторождениях, уже используются в процессе повышения нефтеотдачи скважин. Один из вариантов – закачивать в месторождения CO₂. Это увеличивает давление, и нефть легче поднимается на поверхность. Углекислый газ растворяет нефть, делая ее менее вязкой и более текучей. Газ увели-

чивается в объеме, возрастает давление. В месторождение CO_2 закачивается через специальные скважины-инъекции. Это подталкивает нефть к добывающей скважине, где она и поднимается на поверхность. При повышении нефтеотдачи в месторождение через инъекционную скважину закачивается CO_2 , где он сталкивается с нефтью, образуя зону смешивания. Давление CO_2 и расширяющейся нефти выталкивает углеводороды вверх к скважине, где они попадают на поверхность. После этого CO_2 отделяется от нефти и может быть снова подан в скважину. Побочный эффект повышения нефтеотдачи в том, что CO_2 , используемый для выталкивания нефти из месторождения, теперь изолируется. Использование инъекций CO_2 для повышения нефтеотдачи применяется на многих скважинах (например, на месторождении Вейберн в Канаде).

Улавливаемый из выбросов или удаляемый из воздуха углекислый газ может в течение долгого времени храниться в растениях, почве и подземных коллекторах, инжектироваться глубоко в океаны или преобразовываться в очень твердые материалы. Сжиженный CO_2 может использоваться для улучшения извлечения нефти из нефтяных месторождений и метана из непригодных для промышленной разработки угольных пластов. После этого отработанный CO_2 может безопасно и постоянно храниться в недрах земли.

Водоносные слои. Существует много герметичных геологических ниш под землей, в которых никогда не было нефти

или газа. Их поры наполнены водой. Такие образования называются водоносными слоями. Эти места хорошо подходят для хранения CO_2 глубоко под землей. Они наполнены соленой водой, поэтому в качестве источника пресной питьевой воды непригодны. CO_2 будет частично растворяться в воде. В некоторых видах пород он будет реагировать с минералами, образуя стабильные карбонатные отложения, что позволит постоянно и надолго удерживать CO_2 . Перед хранением необходимо провести те же геологические исследования, как для нефтяных и газовых месторождений, подтверждающие герметичность зоны. Первая в мире программа по инъекциям CO_2 с целью сохранения климата проводилась в прибрежной зоне Норвегии. Газ закачивался в водоносный слой Северного моря. Это происходило на месторождении Слейпнер.

Угольные пласты. Еще один источник хранения CO_2 – угольные залежи, находящиеся на недостижимой для добычи глубине. Уголь по большей части состоит из углерода. Он будет поглощать CO_2 и связываться с ним навсегда. Обычно угольные залежи содержат метан. Когда в шахту закачивается CO_2 , уголь поглощает его, выделяя метан. Улавливание и хранение углерода представляет собой совокупность технологий по улавливанию, сжатию и хранению двуокиси углерода с целью уменьшения описанной проблемы. За последние пять лет было построено несколько небольших предприятий для проверки технологий УХУ. Два крупнейших ми-

ровых потребителя угля в энергетической отрасли – США и Китай – стремятся к мировому лидерству в УХУ. Две наиболее распространенные технологии улавливания двуокси углерода – улавливание до сжигания и улавливание после него. Во втором случае CO_2 удаляется после сжигания угля. Данная технология разработана для традиционных электростанций, где уголь используется в качестве твердого топлива для производства тепловой и электрической энергии.

Процесс улавливания и хранения углерода состоит из множества этапов охлаждения, нагрева, конденсации и повторного испарения, вследствие чего затраты на энергию составляют значительную часть стоимости процесса. Эффективные теплообменники являются ключевым фактором для снижения стоимости УХУ, поскольку позволяют увеличить рентабельность процесса.

Правительство США заявляет о крупнейших в мире инвестициях в технологии УХУ с целью создания многочисленных опытных проектов. Министерство энергетики страны использует около 4 млрд долл. федеральных средств, а частные инвестиции превышают 7 млрд долл.

3.2.2. Интегрированный газифицированный комбинированный

цикл

В настоящее время доля генерации электроэнергии в ежегодных, связанных с энергетикой, глобальных выбросах CO₂ составляет 40%. Около 70% всей электроэнергии в мире производится на основе ископаемого топлива. Спрос на электроэнергию опережает спрос на другие ее виды, в связи с чем обезуглероживание производства электроэнергии становится важнейшей задачей. В странах Европы 60% электроэнергии вырабатывается на основе ископаемых видов топлива, однако по разным странам этот показатель колеблется от 0 до 100% и очень сильно зависит от того, какое топливо используется: уголь, природный газ или нефть. Обеспеченность региона значительными природными ресурсами угля и природного газа создает благоприятные условия для централизованного производства электроэнергии, но в некоторых частях региона увеличивается генерация на основе возобновляемых и других распределенных источников энергии.

Как ожидается, ископаемое топливо сохранит свое значение в качестве экономичного источника топлива для производства электроэнергии на глобальном и региональных уров-

нях в среднесрочной перспективе. Однако развитие электроэнергетических систем, особенно внедрение технологий хранения энергии и «умных» электросетей, создает неопределенность относительно роли ископаемого сырья в будущем.

При анализе жизнеспособности генерации на основе ископаемого топлива в будущих устойчивых электроэнергетических системах следует обратить внимание на два основных аспекта: снижение углеродоемкости производства электроэнергии и повышение гибкости генерации на основе ископаемого топлива с использованием различных возобновляемых источников.

В ряде государств при поддержке правительств начат масштабный процесс по демонстрации и развертыванию технологий улавливания, использования и хранения углерода. Повышение гибкости действующих и новых угольных электростанций позволит создать предпосылки для более широкого освоения ресурсов возобновляемой энергетики, тем самым сократить углеродоемкость всей системы генерации электроэнергии.

Действующие и новые угольные электростанции будут играть важную роль в глобальных энергетических системах в краткосрочной и долгосрочной перспективе. По расчетам, повышение КПД угольной электростанции на 1% сокращает выбросы CO₂ и других загрязнителей воздуха на 2–3%. При строительстве новых угольных электростанций можно ис-

пользовать ряд технологий, обеспечивающих высокий КПД и низкие выбросы (HELE) генерирования электроэнергии на основе угля. Перспективной технологией является газификация угля, которая представляет собой универсальный экологически чистый способ преобразования угля в электроэнергию, водород, а также в другие ценные энергетические продукты.

Сущность этих технологий заключается в новейшей и рентабельной экологической защите посредством комбинации сложной подготовки угля, сгорания и газификации, процессов преобразования с улучшенной очисткой после сгорания и современных электронных измерительных приборов и управления. Одной из таких технологий является интегрированный газифицированный комбинированный цикл (ИГКЦ, Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC). Станции комбинированного цикла, работающие на угле, получают из него синтетический газ, который после кондиционирования может сжигаться как природный газ в цикле газовой турбины ИГКЦ. Концепция ИГКЦ имеет и другие преимущества в сравнении с обычной технологией, основанной на распылении угля. По сравнению с ней ИГКЦ приводит к очень низким выбросам SO_2 и NO_x – они снижены на 99 и 90% соответственно. Особенно важным преимуществом ИГКЦ является модульность. Мощность можно добавлять постепенно. ИГКЦ предоставляет улучшенную эффективность конверсии комбинированного цикла, экологи-

ческие преимущества газификации и экономические выгоды модульного конструирования. Электрические станции, сжигающие уголь, позволяют «растворить» или «связать» диоксид серы (SO_2) из дымовых газов (или огарка), выбрасываемый при работе станции в обычном режиме, посредством процесса, называемого десульфуризацией дымовых газов (ДСДГ) – ($\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_4 + \text{CO}$ или $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2$, или любая комбинация для связывания серы). Этот очень дорогой метод используется в течение последних 15 лет. Преимущества в технологиях чистого угля на электростанциях ИГКЦ доказывают наличие наиболее жизнеспособного режима для будущей генерации электроэнергии в больших масштабах.

Характерными особенностями ИГКЦ являются:

– улучшение эффективности конверсии (или уменьшение затрат на генерацию) с 33–37% в последовательных распыленных системах паровых турбин на сгорании угля до 38–45% на энергостанциях комбинированного цикла;

– экологические выгоды (высокая эффективность станций комбинированного цикла компенсирует неизбежные потери эффективности, которые имеют место при конвертировании угля в газ).

Основные элементы, составляющие систему ИГКЦ, показаны на рис. 3.1. Это газификатор, теплообменник, очистка газа и блок генерации мощности комбинированного цикла. ИГКЦ разрешает проблемы с выбросами SO_2 и решает их

большую часть с NO_x , источниками кислотных дождей, которые влияют на разрушение экосистем в лесах, насаждениях, реках и лугах. Выбросы SO_2 и NO_x преобразовываются во вторичные выбросы в виде сульфатов и нитратов, которые в комбинации с водой могут образовывать кислоты, выпадающие в качестве дождей и иных осадков. Газификация угля (в диапазоне от 1 300 до 2 400°C) в системах ИГКЦ приводит к производству синтетического газа, почти полностью состоящего из CO и H_2 и известного как синтез-газ. Синтез-газ охлаждается в охладителе (обычно в теплообменнике), и с помощью выделенного тепла получается обычный насыщенный пар, используемый для генерации электроэнергии.

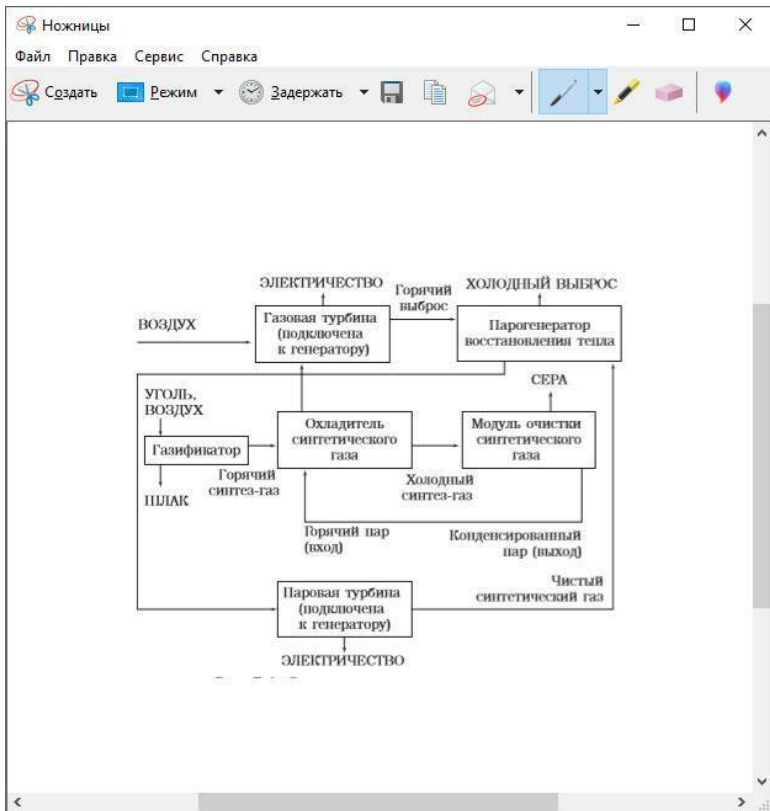


Рис.3.1. Схема станции интегрированного газификационного комбинированного цикла

Холодный газ очищается (десульфуризируется) в подсистеме очистки и заново нагревается в том же теплообменнике. Чистый сингаз при температуре около 1100°C направляется

на высокоэффективную газовую турбину комбинированного цикла для производства электроэнергии. Тепло в выходном газе от газовой турбины (примерно 500°C) нагревается в парогенераторе для получения перегретого пара, который используется для генерирования дополнительной электроэнергии в паровой турбине (комбинированный цикл).

На рис.3.2 показана концепция будущих интегрированных предприятий. Такие предприятия имеют модульную конструкцию с переработкой продуктов выбросов в воздух или твердых отходов.

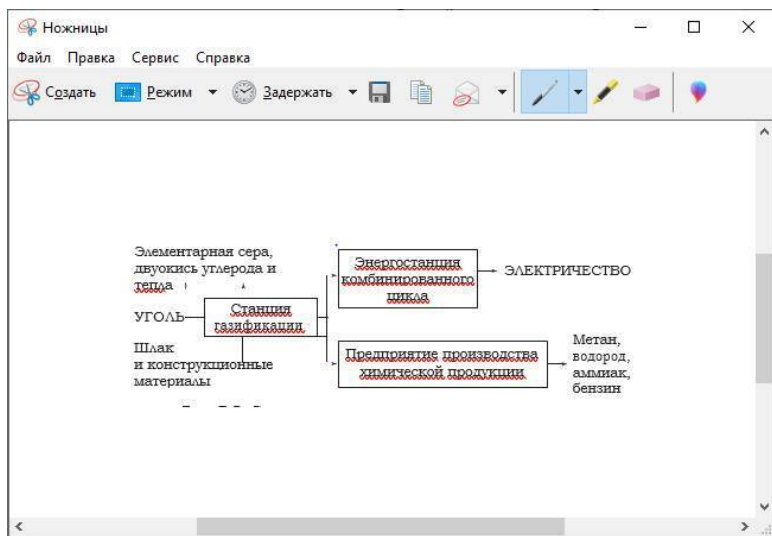


Рис.3.2. Схема интегрированного энергетического предприятия, основанного на переработке угля

Газификация угля также открывает возможности для совместного производства электроэнергии и химических продуктов. ИГКЦ является только первым шагом к методологии процесса использования угля, который ведет к «интегрированным энергетическим предприятиям», очистке угля и ресурсов или «многоэнергетичности», способности преобразования синтетического газа из угля в широкое разнообразие химических продуктов, таких как сера, дополнительно к производству электроэнергии. Тепло, отходящее от станции, может использоваться для отопления или промышленных надобностей.

Тепловые нормы (топливо/электроэнергия) станций с хорошо распыляемым углем равны примерно 9 300 БТЕ/ кВтч (британских тепловых единиц на киловатт-час), что эквивалентно 37% эффективности теплопреобразования. Затраты на модули десульфуризации дымовых газов составляют примерно 40% общих затрат новой угольной станции и потребляют 2–4% общей произведенной энергии.

Исследования EPRI показали, что ИГКЦ может достичь нормы тепла до 8 200 БТЕ/кВтч, или 42% эффективности. Ожидается, что новая линия интегрированных газификационных энергостанций, включая модифицированные газовые турбины, достигнет эффективности намного выше сегодняшнего уровня в 37% – а именно 60% в 2021г. В табл.

3.1 представлены оценки затрат технологических режимов генерации электроэнергии. Режимы генерации, основанные на газификации, располагают большим потенциалом сокращения выделяемых в воздух капель выбросов, чем модули десульфуризации дымовых газов или сжижаемого пластового сгорания, и минимизируют количество твердых отходов. Станции, основанные на процессе газификации угля, аналогичном ИГКЦ, производят выбросов намного меньше, чем это возможно на текущем поколении угольных станций. Как сказано выше, сера может быть выделена химически из синтетического газа в элементарной форме и затем осаждена в твердой фазе. Образование оксидов азота исключено во время сжигания с насыщением сингаза водяным паром под давлением с уменьшением температуры пламени. Выбросы SO_x и NO_x существенно уменьшены – с 4 до 1 фунта/МВтч. Даже в сравнении с иными конкурирующими технологиями чистого угля, такими как технология сжиженного пластового сгорания (и технология распыленного сжигания угля), ИГКЦ дает намного меньше твердых отходов.

Таблица 3.1 Оценки затрат технологических режимов генерации электроэнергии

Оценки затрат технологических режимов генерации
электроэнергии

Тип станции	Издержки производства, долл./кВт	Нормы тепла, БТЕ/кВт·ч	Стоимость топлива, долл./ММБТЕ	Переменные затраты на эксплуатацию, 10 ⁻³ кВт·ч	Постоянные затраты на эксплуатацию, долл./кВт в год	Усредненные затраты на электроэнергию, 10 ⁻³ /кВт·ч	Затраты на исключение SO ₂ , 10 ⁻³ /кВт·ч	Затраты на исключение CO ₂ , 10 ⁻³ /кВт·ч	Общественная стоимость электроэнергии, 10 ⁻³ /кВт·ч
РПГУ	1 500	11 000	1.41	10	16	47.9	40.2	15.6	103.7
ИГКЦ	1 650	9 200	1.41	12	10	48.3	0.3	13.1	61.7
КЦГТ	600	8 100	2.32	5	5	32.6	0.0	6.1	38.6

Примечание.

РПГУ – пар из распыленного горящего угля.

ИГКЦ – интегрированный газификационный комбинированный цикл.

КЦГТ – комбинированный цикл горения газа.

Показатель мощности – 70 %, годовая норма дисконта – 7 %, издержки производства – 1 900 долл., показатели цен на топливо – 1992 г.

Источник данных: EIA (1993), FASE (1990), USOTA (1992).

Произведенные методом ИГКЦ твердые отходы весят лишь 2 фунта/МВт (в системах распыления, основанных на угле, – 6 фунтов). Более того, производится инертный шлак, который может использоваться как конструкционные материалы. Потребление воды меньше, чем на обычных угольных станциях, так как две трети энергии вырабатываются системой газовой турбины, которая не требует охлажденной воды для конденсации пара. Энергостанции ИГКЦ, работающие на угле, дороже станций комбинированного цикла на газе, но дешевле систем на распыленном угле. После первона-

чального успеха ИГКЦ проекта станции Cool Water на 100 МВт (Калифорния, США) некоторые электростанции решили принять эту технологию как часть программ расширения генерации электроэнергии.

Комбинированный цикл комплексной газификации каменного угля олицетворяет собой новое поколение угольных электростанций, которые в техническом отношении и в плане экологической безопасности значительно превосходят обычные электростанции, работающие на каменном угле. Это объясняется их способностью газифицировать каменный уголь, снижая уровни выбросов оксидов серы, окиси азота, макрочастиц и ртути до сгорания. Электростанции, применяющие комбинированный цикл комплексной газификации, также значительно сокращают выбросы углекислого газа и могут быть дополнительно настроены на улавливание углерода, что устранит потребность в очистке.

3.3. Направления развития безуглеродной энергетики

Электроэнергетика является той отраслью техники, где широкое использование явления сверхпроводимости и криогенной техники оказывается многообещающим и особенно плодотворным.

3.3.1. Использование сверхпроводимости в энергетике

Необычный мир низких температур постоянно привлекает внимание исследователей из самых различных областей знаний и является источником новых идей и открытий.

Явления, эффекты и свойства, проявляющиеся в низкотемпературной области, открывают перед учеными и инженерами широкий круг новых возможностей. Достижения низких и сверхнизких температур ценно для нас тем, что в этих условиях мы встречаемся с новыми явлениями и фактами, которые помогают проникать в суть строения материи, позволяют использовать новые методы исследования; наконец, низкие температуры являются важным инструментом технического прогресса, особенно в области новой техники. Задачи, стоящие перед энергетикой, не могут решаться только за счет увеличения числа и единичной мощности электроэнергетических объектов. Особенное значение в этих условиях приобретает поиск новых, более перспективных физических принципов производства, передачи и

потребления электроэнергии. обоснованию зон применения таких устройств и т.д. Кроме того, при высоких уровнях потребления становится огромной реактивная мощность, которую должны вырабатывать ее источники. При малых нагрузках, особенно кабельной сети, из-за преобладания емкостных токов затрудняется регулирование напряжения сети. Все более усложняется проблема управления, контроля и устойчивости электрических систем при авариях, а также проблема покрытия пиковых нагрузок.

Использование явления сверхпроводимости стало возможным в результате открытий и достижений в области физики твердого тела и низких температур. На его основе создаются сильные магнитные поля в больших объемах практически без потерь мощности.

Сверхпроводимостью называется квантовое явление, заключающееся в том, что некоторые материалы при доведении их температуры до определенной критической начинают проявлять нулевое [электрическое сопротивление](#). Перешедший в сверхпроводящее состояние проводник начинает проявлять то, что называется [эффектом Мейснера](#), когда [магнитное поле](#) из его объема полностью вытесняется наружу, рис.3.3.

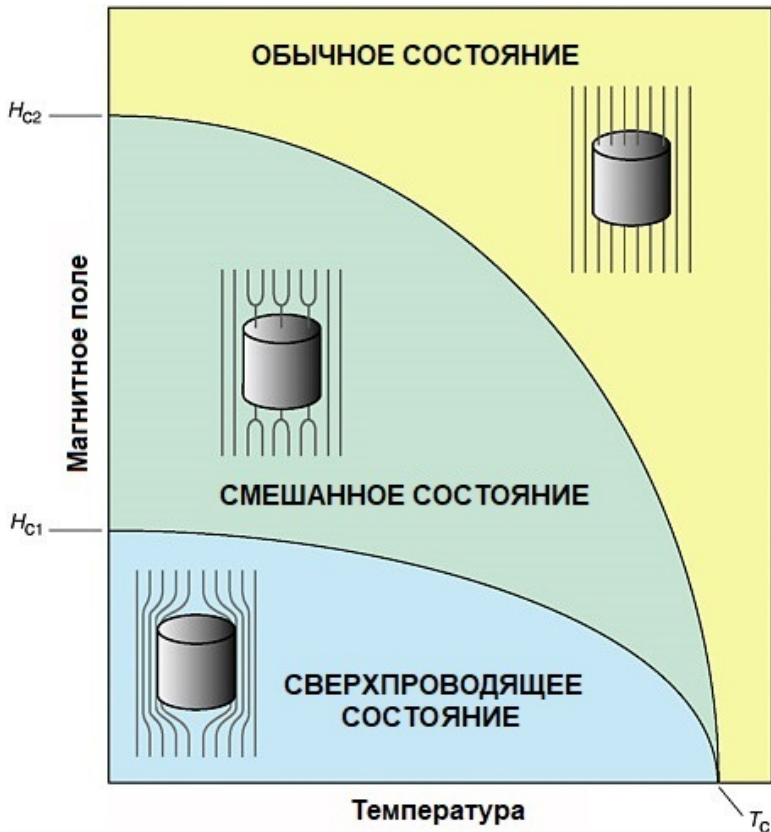


Рис.3.3. Схема для наглядности перехода проводника в сверхпроводящее состояние

В период с 1986 по 1993 годы был открыт целый ряд высокотемпературных сверхпроводников, то есть таких, которые

переходят в сверхпроводящее состояние уже не при столь низких температурах как температура кипения жидкого гелия (4,2К), а при температуре кипения жидкого азота (77 К). На сегодняшний день ученым известно уже несколько сотен элементов, сплавов и керамик, способных вести себя подобным образом. Большое значение получили такие сверхпроводящие сплавы как ниобий-титан и интерметаллид ниобий-олово, из которых технически несложно получить стабильные тонкие сверхпроводящие нити и многожильные проводники. Существенное уменьшение электрического сопротивления очень чистых металлов (алюминия, меди, бериллия, натрия) с понижением температуры, главное – сохранение некоторыми сплавами сверхпроводимости в сильных магнитных полях при больших плотностях тока создали принципиальные возможности для применения глубокого холода в новых сферах, из которых наиболее важное значение имеют электротехника и электроника.

Таким образом, использование материалов с нулевым или пониженным активным сопротивлением позволяет удовлетворить практически все требования потребителей, не прибегая к промежуточному повышению напряжений. Понижение активных сопротивлений обычных проводниковых материалов высокой чистоты (гиперпроводники) или достижение бесконечно большой электропроводности (сверхпроводники) имеет место при очень низких температурах до 4 – 70°К.

На данный момент, конечно, можно говорить о значительных успехах в плане продвижения к получению высокотемпературных сверхпроводников. Однако большинство подобных решений связано с тем, что получаемые образцы хрупки и нестабильны, поэтому в технике по-прежнему остаются актуальными упомянутые выше сплавы ниобия.

Реализация этих возможностей позволяет значительно усовершенствовать существующую конструкцию электротехнических устройств, в частности электрических машин. Так, если использовать эффект сверхпроводимости и применить сверхпроводящие материалы для обмотки ротора (обмотки возбуждения), то потери в роторной обмотке можно практически свести к нулю, так как постоянный ток не будет встречать в ней сопротивления. Вследствие этого, повысится КПД машины. Протекающий по сверхпроводящей обмотке возбуждения ток большой силы создает столь сильное магнитное поле, что уже не будет необходимости применять стальной магнитопровод, традиционный для любой электрической машины. Устранение стали снизит массу ротора и его инерционность.

Сделан анализ и определены ожидаемые технические показатели сверхпроводящих электроэнергетических устройств по сравнению с обычными, таблица 3.2.

Таблица 3.2, Ожидаемые технические показатели сверхпроводящих электроэнергетических устройств по сравнению с обычными.

Характеристика объекта

Предел по обычному исполнению

Предел по сверхпроводящему варианту

Электрические генераторы, номинальная мощность, Гва

2 – 6*

10

Электропередачи: рабочие напряжения, кв передаваемая

мощность, Гва

1 200 – 1500 6 – 10

300 – 500

100

Токопроводы: рабочие токи, КА

150 – 200

500

Трансформаторы, номинальная мощность, Гва

6 – 8

6 – 8

Выключатели, разрывная мощность, Гва

35 – 40

40 – 50

Накопители электроэнергии, Мвт ч

—

30 000

В России, в 80-е годы, были построены крупные электромагнитные системы. Была запущена первая в мире экспериментальная установка Т-7, предназначенная для изучения возможности инициирования реакции термоядерного синтеза, где для создания тороидального магнитного поля требовались сверхпроводящие катушки. В больших ускорителях элементарных частиц сверхпроводящие катушки также применяются – в пузырьковых камерах для жидкого водорода.

Расходомеры, измерители уровня, барометры, термометры – для всех этих высокоточных приборов отлично подходят сверхпроводники. Главными же крупными направлениями промышленного применения сверхпроводников остаются два: магнитные системы и электрические машины.

Раз сверхпроводник не пропускает магнитного потока, значит изделие такого рода экранирует магнитное излучение. Данное свойство сверхпроводников применяется в точных микроволновых устройствах, а также при защите от столь опасного поражающего фактора ядерного взрыва, как мощное электромагнитное излучение.

В результате низкотемпературные сверхпроводники остаются незаменимыми при создании магнитов в таком науч-

но-исследовательском оборудовании, как ускорители частиц и установки термоядерного синтеза.

Сверхпроводники также используются в магнитных левитационных системах, которые позволяют транспортировать грузы без трения и сопротивления. Магнитные левитационные системы используются, например, в магнитных поездах, где сверхпроводящие магниты создают сильное магнитное поле, которое поддерживает поезд в воздухе и позволяет ему двигаться без трения. Это позволяет достичь очень высоких скоростей и снизить энергопотребление.

По расчетам американских специалистов сверхпроводящие магниты позволяют поднять над трассой 100-местные поезда весом приблизительно 22 т, для привода которых в движение со скоростью 300 миль/ч потребуется мощность около 5500 л. с. Основным преимуществом поездов на магнитной подушке перед высокоскоростными поездами обычного типа будет являться практически полная бесшумность при движении. Поезда на магнитной подушке, активно эксплуатируемые сегодня в Японии, уже способны двигаться со скоростью 600 км/ч и давно доказали свою реализуемость и эффективность.

Одно из основных применений сверхпроводников в энергетике – это создание магнитных сепараторов. Магнитные сепараторы используются для отделения магнитных материалов от немагнитных в процессе добычи полезных ископаемых, таких как железная руда. Сверхпроводящие магниты

в магнитных сепараторах создают сильное магнитное поле, которое притягивает магнитные материалы и отделяет их от немагнитных. Это позволяет повысить эффективность процесса добычи и снизить затраты на энергию.

Сверхпроводники также используются в магнитных тормозах для транспортных средств. Магнитные тормоза используются для замедления или остановки движения транспортного средства. Сверхпроводящие магниты в магнитных тормозах создают сильное магнитное поле, которое взаимодействует с магнитными материалами на транспортном средстве и замедляет его движение. Это позволяет достичь более эффективного и безопасного торможения.

Сверхпроводники также используются для создания магнитных хранилищ энергии. Магнитные хранилища энергии позволяют хранить электрическую энергию в магнитном поле, что может быть полезно для сглаживания пиков нагрузки в электросети. Сверхпроводящие магниты в магнитных хранилищах энергии создают сильное магнитное поле, которое сохраняет энергию внутри себя без потерь. Это позволяет эффективно использовать энергию и снизить затраты на электроэнергию.

Сверхпроводниковые турбогенераторы – принципиально новое направление развития турбогенераторов. Охлаждение производится при сверхнизких (криогенных) температурах при достижении явления сверхпроводимости. Криогенными считаются температуры в диапазоне от 120 К (-153°С) до

температуры 0,7 К (-272°C).

В сверхпроводящем проводе допустима плотность тока, в 10-50 раз превышающая плотность тока в обычном электрооборудовании. Магнитные поля можно будет довести до значений порядка 10 Тл, по сравнению с 0,8. 1 Тл в обычных машинах.

Использование сверхпроводников может оказаться экономичным при создании в будущем сверхмощных электрических машин, аппаратов, линии электропередачи (ЛЭП), что представляется весьма актуальной проблемой для перспектив развития электроэнергетики. Задачами новых научных исследований на ближайший период являются: изыскание новых сверхпроводящих материалов с повышенными критическими параметрами, пониженными потерями в переменных полях и создание на их основе совершенной технологии изготовления проводников (проволочных и ленточных, – пригодных для обмоток машин и аппаратов; композиционных изделий), удешевление сверхпроводящих материалов, определение областей технико-экономической целесообразности применения сверхпроводников, а также разработка конструкции сверхпроводящих машин, аппаратов, ЛЭП и пр.

В самом деле. научно-технический прогресс электротехники не коснулся основного электротехнического материала – проводника, который оказался неизменным с присущим ему сопротивлением, ограничивающим допустимую плот-

ность тока и мощность машин и аппаратов в заданных габаритах. Снижение активного сопротивления проводника, а тем более применение сверхпроводников позволило бы в принципе существенно повысить мощность электрических машин и аппаратов в тех же габаритах, повысить к.п.д. за счет увеличения рабочей индукции и плотности тока.

Для России с ее огромными пространствами и крайне неравномерным распределением энергоресурсов (в европейской части страны около 12% энергоресурсов, а в азиатской до 88%) первостепенное значение имеет проблема создания мощных и дальних ЛЭП.

Отсутствие электрического сопротивления у сверхпроводников делает процесс передачи электрической энергии более экономичным. Так, единственный сверхпроводящий тонкий кабель, проложенный под землей, принципиально смог бы передавать МОЩНОСТЬ, для передачи которой традиционным способом понадобился бы толстый жгут проводов – громоздкая линия.

На данный момент остаются актуальными лишь проблемы стоимости и обслуживания, связанные с необходимостью непрерывно прокачивать через систему азот. Тем не менее в 2008 году в Нью-Йорке фирма American Superconductor успешно запустила первую коммерческую сверхпроводящую ЛЭП.

Комбинируя сверхпроводники с полупроводниками, ученые создают сверхбыстрые квантовые компьютеры, являю-

щие миру новое поколение вычислительной техники.

Явление зависимости температуры перехода вещества в сверхпроводящее состояние от величины магнитного поля – положено в основу управляемых резисторов – криотронов.

Сверхпроводники также могут использоваться в магнитных генераторах, которые преобразуют механическую энергию в электрическую. Сверхпроводящие магниты в магнитных генераторах создают сильное магнитное поле, которое вращается вокруг оси и генерирует электрический ток. Это позволяет эффективно использовать энергию и снизить затраты на производство электроэнергии.

Таким образом, сверхпроводники играют важную роль в энергетике, обеспечивая эффективное использование энергии и снижение затрат. Исследования в этой области продолжаются, и мы можем ожидать еще большего применения сверхпроводников в энергетике в будущем.

3.3.2. Криогенные системы хранения энергии для возобновляемых источников

Будущее, в котором 100% мировой электроэнергии будет производиться из чистых источников, становится очевидным. Эта тенденция обусловлена суровыми реалиями изменения климата. Получение энергии из ископаемого топлива – привычка, от которой человечество должно отказаться в пользу возобновляемых источников и современных технологий, в том числе криогенных хранилищ энергии. Криогенные жидкости – это вещества, обладающие крайне низкими

температурами кипения. Главными представителями криогенных жидкостей являются жидкий азот, жидкий кислород и жидкий водород.

По всей территории Соединенных Штатов более 100 городов поставили перед собой амбициозные цели по обеспечению 100% чистой энергии. В конце 2018 года Xcel Energy сделала знаменательное объявление, взяв на себя обязательства к 2050 году поставлять только безуглеродное электричество на всей территории обслуживания в восьми штатах США.

Европа добилась еще большего прогресса. Большинство европейских стран поставили аналогичные цели в области возобновляемых источников энергии, и некоторые из них достигнуты раньше заявленного срока. Германия получает 36% электроэнергии из возобновляемых источников, Дания – более 50%, а в Исландии почти 100% энергии производится из возобновляемых источников.

Качественный скачок, который мы наблюдаем на рынке, стал возможен благодаря тому, что стоимость возобновляемой энергии почти сравнялась со стоимостью производства энергии из ископаемого топлива. Нормированная стоимость электроэнергии (*LCOE*) солнечных электростанций была снижена на 85% с 350 долларов США за МВтч в 2009 году до 50 долларов США за МВтч в 2017 году. Ожидается, что к 2050 году она сократится до 37 долларов за МВтч. В [ветроэнергетике](#) наблюдается аналогичное падение цен, при

этом средний показатель LCOE энергии ветра в 2017 году упал до 45 долларов за МВтч. Конкурентоспособные цены стимулируют беспрецедентно высокий уровень использования возобновляемых источников энергии. Управление энергетической информации США прогнозирует, что с 2020 по 2050 год установленная мощность местных ветроэнергетических предприятий увеличится на 20 ГВт, а установленная мощность фотоэлектрических солнечных батарей увеличится на 127 ГВт, и это только в одной стране.

Неравномерное распределение во времени энергии, вырабатываемой из возобновляемых источников (ВИЭ), является одной из основных проблем, которые сейчас сдерживают рост ветровых и солнечных электростанций. Как правило, возобновляемые источники энергии непостоянны и характеризуются перепроизводством при низком потреблении и дефицитом энергии при пиковых нагрузках. Это создает трудности в балансировке электросети, особенно в традиционных электросетях с централизованной структурой, где потребители являются полностью пассивными участниками энергетической системы. Переход от этого типа структур к так называемым «умным сетям», где потребители являются активными участниками энергетической системы, способствует росту доли ВИЭ в структуре энергопотребления и помогает более эффективно сбалансировать производство и потребление энергии. Одним из элементов перехода к «умным сетям» является внедрение систем хранения энергии,

как в малых, так и в больших масштабах. В настоящее время лидерами в этой области являются такие страны, как Соединенные Штаты, Китай, Южная Корея, Германия, Франция, Япония, Индия, Великобритания, Австралия и Бразилия. Основу хранения электроэнергии составляют гидроаккумулирующие электростанции, доля которых превышает 96%.

Мировой энергетический совет прогнозировал, что к 2030 году в мире будет установлено до 250 ГВт накопителей энергии. Установленная мощность хранилищ энергии всех типов по странам на 2018 год представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Установленная мощность хранилищ энергии всех типов (до счетчика) по странам на 2018 год.

Страна

Установленная мощность

ГВт

Южная Корея

0,8

Китайская Народная Республика

0,6

Соединенные Штаты Америки

0,4

Германия

0,3

Другие страны

1,0

Существует множество систем хранения энергии, основанных на самых разных физических принципах. Они используют накопление тепла или холода, гидроэлектрическую энергию, сжатый воздух, криогенные вещества, маховики, суперконденсаторы, сверхпроводящие магниты, электрохимические элементы, топливные элементы и др. Однако наиболее значимые и многообещающие технологии – это криогенное хранение энергии (*CES*) и, в частности, накопление энергии с помощью жидкого воздуха, успешно реализованно компанией Highview Power Storage (Великобритания).

Чистый атмосферный воздух содержит около 78% азота и 21% кислорода. При атмосферном давлении азот кипит при минус 195,8°С, а кислород при минус 183°С. Скрытая теплота парообразования составляет 200 кДж / кг для азота и 213 кДж / кг для кислорода.

Надежное энергоснабжение сегодня требует развития технологий аккумулирования и хранения энергии. Операторы сетей все чаще обращаются к долгосрочному хранению энергии (*более четырех часов*), чтобы помочь улучшить экономику производства электроэнергии, сбалансировать элек-

тросеть и повысить ее надежность.

Криогенные системы хранения энергии, использующие жидкий воздух, лучше подходят для работы в масштабе электросети, чем громоздкие гидроаккумулирующие электростанции. Эти объекты представляют собой очень компактные автономные системы, которые при желании могут быть расположены где угодно. Криогенные хранилища занимают мало места, они не используют опасные материалы, не несут сопутствующей пожарной опасности и вполне могут соответствовать современным городским строительным нормам. Принцип их работы аналогичен тому, который используется для сжижения природного газа.

Проект, разработанный компанией Highview Power Storage, предусматривает использование излишков энергии от ВИЭ для охлаждения воздуха до температуры в минус 190°C . Полученный в результате концентрированный энергоноситель (криоген) может надежно храниться в резервуаре под давлением в 1 бар. Хранение криогенной энергии, называемое также хранилищем жидкой воздушной энергии (LAES), использует технологию аккумулирования энергии в виде криогенной жидкости CES (Cryogenic Energy Storage). Для этой цели применяют жидкий азот или воздух.

В 2018 г. английская компания Highview Power запустила в работу первый в мире промышленный криогенный накопитель энергии на жидком воздухе. Система помогает нивелировать рваную выработку ветровых и солнечных стан-

ций, не нанося вреда окружающей среде. Система хранения энергии на основе необычного рабочего тела, жидкого воздуха, позволяет надолго запастись энергией, используя недорогие ёмкости, работающие при низком давлении.

Во-первых, при этом речь идёт о тепломеханической системе, которая работает десятилетиями и не требует применения дефицитных и ядовитых материалов. Во-вторых, оборудование криогенного накопителя энергии включает хорошо отлаженные в производстве и легкодоступные на рынке готовые узлы. Некоторые компании уже более ста лет занимаются выпуском криогенных систем. В-третьих, технология хорошо масштабируется и настраивается на разные соотношения ёмкости и мощности.

В основе системы – готовый промышленный криогенный холодильник. Подобная техника выпускается, например, для предприятий чёрной металлургии, где при выплавке стали сегодня используются преимущественно кислородные конвертеры. Предварительно очищенный от пыли и влаги воздух сжимается и охлаждается до температуры сжижения азота – порядка минус 196°С. Сжиженный воздух перекачивается в большие резервуары, по устройству напоминающие термоса с металлическими колбами.

Для высвобождения энергии жидкий воздух перекачивают из «термоса» в теплообменник и там нагревают, используя доступное тепло из внешней среды. Получить его несложно: в сравнении с минус 193°С, любая плюсовая тем-

пература будет высокой. Воздух испаряется, его давление нарастает, и он совершает работу в турбодетандере, увеличиваясь в объёме до 790 раз. Турбодетандер механически соединён с электрогенератором, который вырабатывает энергию. Для повышения эффективности предусматриваются рекуперативные хранилища холода и тепла, рис.3.4.

По данным компании, электрический КПД всей системы в полном цикле равен 60% и достигает 70% при использовании внешнего сбросного тепла.

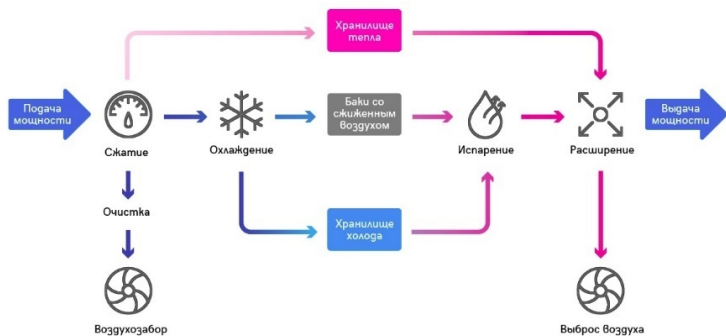


Рис.3.4. Упрощённая схема криогенного накопителя. Источник: Highview Power.

Полная система CES включает в себя не только аппаратуру для сжижения воздуха, но и оборудование, сохраняю-

щее и утилизирующее холод, получающийся на выходе воздушной турбины. Схема основного оборудования криогенной электростанции представлена на рис.3.5.

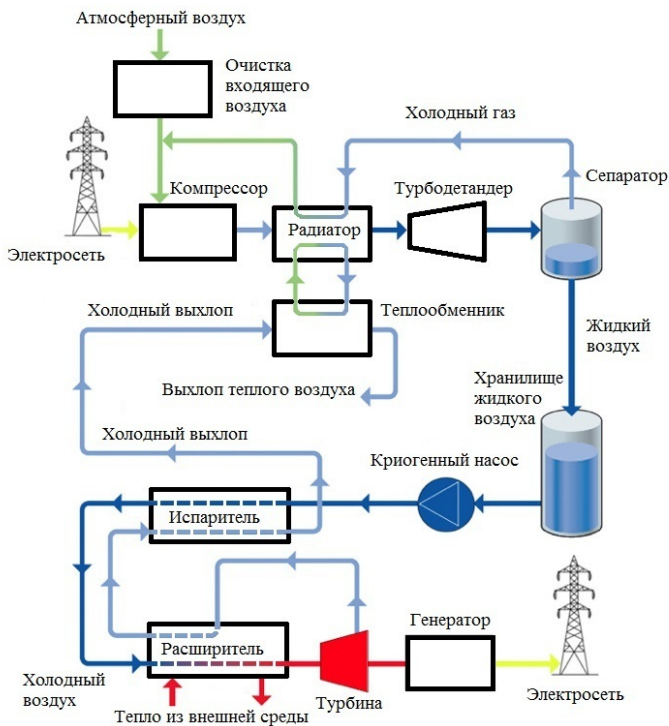


Рис.3.5. Схема основного оборудования криогенной электростанции

Процессы, происходящие в криогенной электростанции

(КЭС), делятся на три этапа.

На первом этапе атмосферный воздух, нагнетаемый в систему при помощи винтовых компрессоров, подвергается тщательной очистке от примесей. Подготовленный таким образом сжатый сухой и горячий воздух проходит через двухступенчатый турбодетандер – холодильную машину, в которой он дважды расширяется и теряет большую часть своей тепловой энергии (охлаждается). В результате закачанный в систему воздух превращается в светло-серую текучую жидкость с температурой минус 196°C . Хранение жидкой смеси азота и кислорода осуществляется при атмосферном давлении в стандартных 10-тонных криогенных емкостях-термосах с двойной вакуумно-порошковой термоизоляцией. Восстановление энергии в КЭС происходит за счет регазификации воздуха. Когда сети нуждаются в дополнительном электричестве, жидкий воздух откачивается из термоса и при помощи мощных поршневых насосов, создающих давление порядка 70 атмосфер, подается на разогретый до 110°C теплообменник-испаритель. Попадая на него, воздух расширяется и с огромной скоростью устремляется на лопатки 4-ступенчатой турбины. Крутящий момент турбины через понижающий редуктор передается на генератор переменного тока, а отработанный воздух возвращается на вторичную переработку

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.