



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

Т. В. Алферова, О. М. Попова

ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

КУРС ЛЕКЦИЙ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 504.3.621.3(075.8)
ББК 20.1я73
А53

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 11.06.2007 г.)*

Рецензент: ст. преподаватель каф. «Гидропневмоавтоматика» ГГТУ им. П. О. Сухого
Н. Н. Михневич

Алферова, Т. В.
А53 Экология энергетики : курс лекций по одной дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / Т. В. Алферова, О. М. Попова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 123 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-665-3.

Содержит семь основных тем: экологическая характеристика объектов электроэнергетики; природоохранные мероприятия; масштабы воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду и методы их определения; народнохозяйственный ущерб от загрязнения окружающей среды, капиталовложения в природоохранные сооружения; природа и проблемы размещения объектов электроэнергетики; проблемы концентрации мощностей на теплоэлектро-станциях.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 504.3.621.3(075.8)
ББК 20.1я73**

ISBN 978-985-420-665-3

© Алферова Т. В., Попова О. М., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Экология энергетики» имеет целью усвоение теоретических знаний и приобретение практических навыков, необходимых для проведения прикладных исследований по предотвращению загрязнения окружающей среды на промышленных предприятиях в области получаемой в вузе специальности.

Основные задачи дисциплины при ее ориентации на специальность 1-43 01 03 «Электроснабжение» могут быть сформулированы как ознакомление будущих инженеров-энергетиков с экологическим состоянием основных объектов электроэнергетики, с мероприятиями по охране атмосферного воздуха, водных объектов, земельных ресурсов; с существующими методами определения выбросов вредных веществ в атмосферу; получение навыков расчета ущерба от загрязнения окружающей среды.

В данном курсе лекций рассмотрены методы оценки масштабов воздействия на окружающую среду действующих и перспективных источников электроэнергии и электрических сетей, приведены характеристики основных природоохранных мероприятий, применяемых на различных объектах электроэнергетики; представлены стоимостные показатели и показатели ущерба, необходимые для эколого-экономического сопоставления вариантов развития и размещения объектов электроэнергетики.

Курс лекций составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины «Экология энергетики» путем подбора и систематизации материала ряда литературных источников и предназначен для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» дневной и заочной форм обучения.

Для успешного усвоения материала кратко излагаются основные теоретические положения и приводятся конкретные примеры.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

1.1. Классификационные структуры основополагающих понятий инженерной экологии

Понятийный аппарат инженерной экологии формируется на стыке многих областей знаний. Здесь рассматриваются только основополагающие понятия инженерной экологии, имеющие принци-

альное значение для формирования *прикладной теории экологического обеспечения промышленного производства*. Центральным является понятие «экологическая система», которое относится к классу сложных систем. Наделенная известными признаками сложности (невозможность строгого математического описания, многозвенность структурного состава и многосвязность составляющих структурных единиц), *экосистема* имеет свои специфические особенности, отличающие ее от стереотипных технических систем:

- неадекватность поведения естественных и искусственных объектов, составляющих экосистему;
- многомерность протекающих в системе формирующих и деградационных процессов;
- принципиальная неприменимость традиционных методов оптимизации по экономическим критериям и т. д.

Методологический анализ определяющих критериев и показателей по целевым направлениям развития слагаемых научных дисциплин дает возможность синтезировать понятийный аппарат инженерной экологии в единую классификационную структуру (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Классификационная структура формирования основополагающих понятий инженерной экологии

Вторым по значимости понятием (после экосистемы) является «биогеоценоз» – совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы, т. е. животного и растительного мира), имеющая свою особую специфику взаимодействия и внутреннего диалектического единства, а также подчиняющаяся определенным закономерностям своего развития (рис. 1.2).

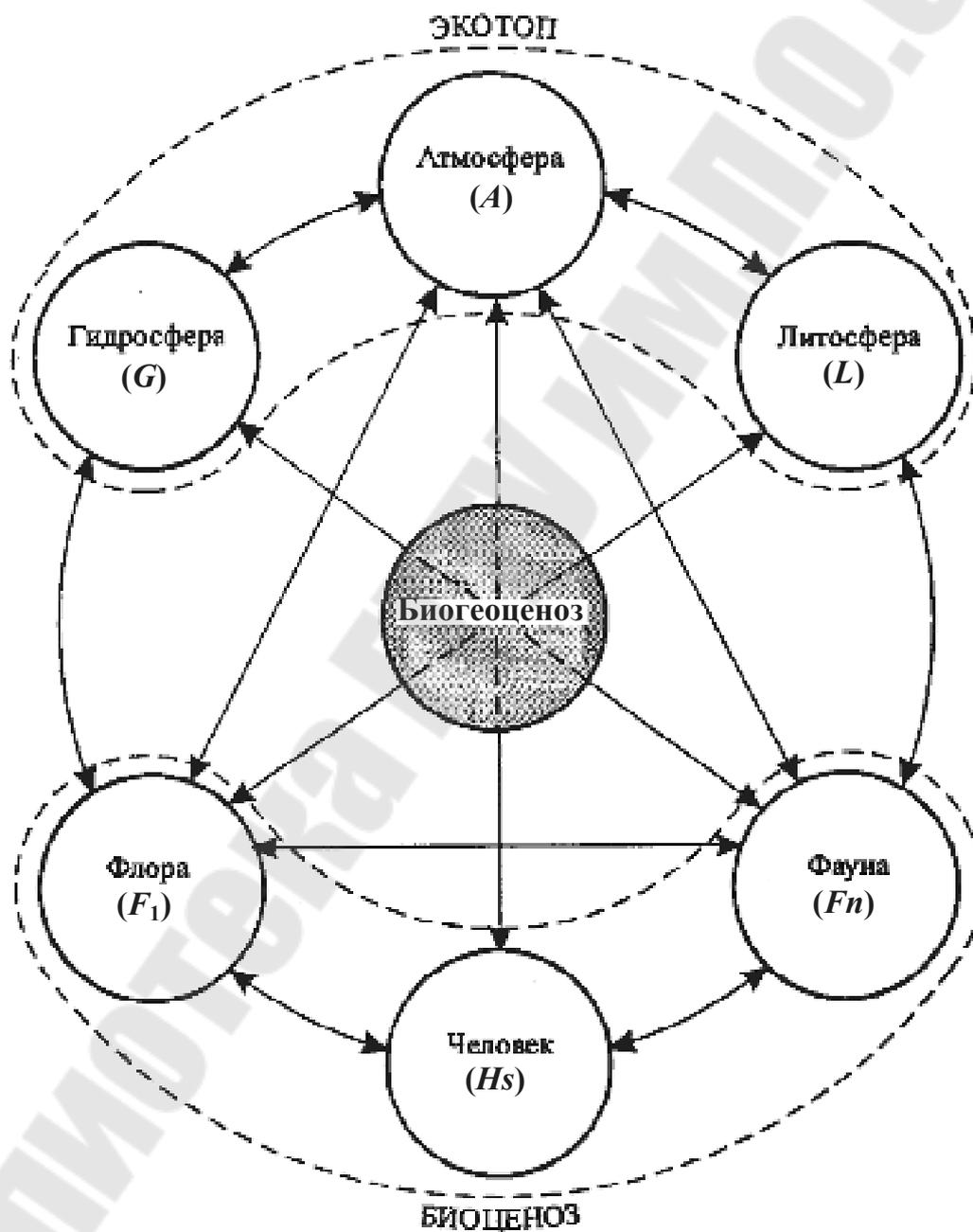


Рис. 1.2. Схема взаимодействия компонентов биогеоценоза

В понятийном отношении часто отождествляют *инженерную экологию* (или даже общую экологию) с охраной окружающей среды, что является безусловной методологической ошибкой. *Охрана окружающей среды* является практической реализацией тех целенаправленных действий, которые формируются (с научным обоснованием и опытно-экспериментальным подтверждением) в рамках самостоятельных научных дисциплин, к которым относится в первую очередь *популяционная и инженерная экология*.

Популяционная экология несет ответственность за обоснование норм жизнеобеспечения более чем 2 млн видов растительного и животного мира. Инженерная экология, опираясь на эти нормы, выраженные на языке предельно допустимых концентраций (ПДК) и воздействий (ПДВ), определяет эффективные способы и средства охраны окружающей природной среды. Методологической основой научного поиска, обоснования и разработки таких способов и средств является система инженерно-экологического обеспечения производства.

В ряду основополагающих понятий инженерной экологии особое место занимает группа понятий *надежности* экосистемы, раскрывающейся в ряду таких свойств, как *устойчивость, равновесие, живучесть, безопасность*.

Дадим общие определения вышеназванным понятиям.

Устойчивость – свойство, внутренне присущее экосистеме, характеризующее способность:

- выдерживать изменения, создаваемые внешними воздействиями (например, техногенные воздействия на природный ландшафт);
- оказывать сопротивление внешним (техногенным) воздействиям;
- обнаруживать способность к восстановлению или самовосстановлению экосистемы.

Равновесие – свойство экосистемы сохранять устойчивость в пределах регламентированных границ при антропогенных изменениях природного ландшафта.

Живучесть – свойство, характеризующее действительные показатели экологической защиты экосистемы и проявляющееся в способности биогеоценозов ландшафта к самовосстановлению.

Безопасность – свойство, определяющее риск потерь устойчивости, равновесия и живучести экосистемы.

Уже из общих определений перечисленных понятий следует факт их структурной взаимосвязи (рис. 1.3):

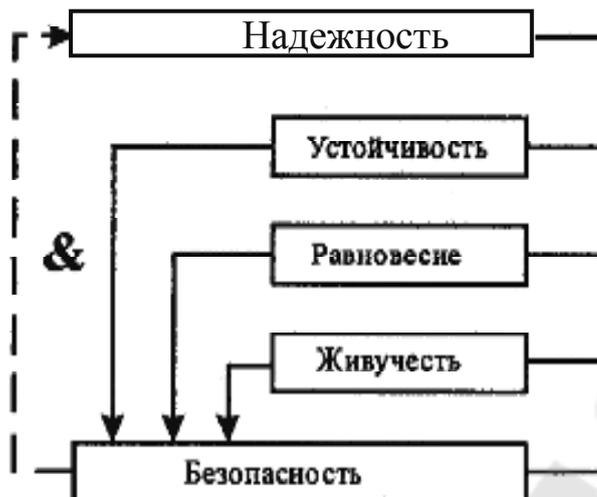


Рис. 1.3. Схема взаимосвязи надежности экосистемы

1.2. Характеристика взаимосвязей в геотехнических системах «человек – объект труда – природа»

1.2.1. Взаимодействие техники с природой

Современный энциклопедический словарь дает следующее определение техники: «Техника (от греч. *techné* – искусство, мастерство) – совокупность средств человеческой деятельности, создаваемых для осуществления процессов производства и обслуживания производственных потребностей общества». Основное назначение техники – полная или частичная замена производственных функций человека с целью облегчения труда и повышения его производительности. Нередко термин «техника» употребляют также для совокупной характеристики навыков и приемов, используемых в каком-либо деле или в искусстве. Во втором значении термин «техника» близок по содержанию к термину «технология».

Стремительный рост техники в качественном и количественном отношении ознаменовал собой так называемый период научно-технической революции. Так, считается, что за последние 50 лет человечество изобрело и создало технических средств гораздо больше, чем за все предшествовавшее время. Бурное развитие транспортных средств дало человеку возможность осваивать природу практически повсеместно, охватив своим влиянием всю территорию Земли. Освоив сверхглубокое бурение, он проник в глубь Земли на многие километры, а преодолев земное притяжение, вырвался в Космос. Находясь в органической связи с природой, современное общество преобразует

ее посредством техники, причем в таких деятельностных масштабах, которые обусловили формирование искусственной среды обитания человека, все более обретающей черты некоей целостной оболочки, трактуемой как *техносфера Земли*.

Во взаимодействии общества и природы техника играет, как правило, двоякую роль. С одной стороны, с ее помощью человек удовлетворяет многие свои потребности, но с другой – она оказывается главной причиной изменений, происходящих в природе (антропогенные изменения), которые являются нежелательными для всех обитателей биосферы.

Промышленные предприятия преобразуют почти все компоненты природы (воздух, воду, почву, растительный и животный мир и т. д.). В биосферу (атмосфера, водоемы и почва) выбрасываются твердые промышленные отходы, опасные сточные воды, газы, разные по размерам и химическому составу аэрозоли.

Атмосферные загрязнения ускоряют разрушение строительных материалов, резиновых, металлических, тканевых и других изделий. При соответствующем составе и концентрации они могут явиться причиной гибели растений и животных. Самый же большой ущерб эти сложные по химическому составу вещества наносят здоровью населения.

Взвешенная в воздухе пыль адсорбирует ядовитые газы, образует плотный, токсичный туман (смог), который увеличивает количество осадков. Насыщенные сернистыми, азотистыми и другими веществами, эти осадки образуют агрессивные кислоты. По этой причине скорость коррозионного разрушения машин и оборудования во много раз увеличивается.

В общем виде техногенные загрязнения классифицируются по двум группам: 1) *материальные* – запыление атмосферы, твердые частицы в воде и почве, газообразные, жидкие и твердые химические соединения и элементы; 2) *энергетические* – теплота, шум, вибрация, ультразвук, свет, электромагнитное поле, ионизирующие излучения.

Радиоактивные отходы могут рассматриваться как материальные и как энергетические.

В основу классификации материальных загрязнений принята среда их распространения (атмосфера, гидросфера и литосфера), их агрегатное состояние (газообразные, жидкие, твердые), применяемые методы обезвреживания и степень токсичности загрязнений.

Материальные загрязнения подразделяются на выбросы в атмосферу, сточные воды и твердые отходы. Классификация выбросов

вредных веществ в атмосферу устанавливается государственными стандартами, согласно которым выбросы подразделяются по агрегатному состоянию и массе веществ, выбрасываемых в единицу времени (обычно тонны в сутки).

Основными физико-химическими характеристиками *газообразных* загрязнений воздуха являются химический состав и плотность, для *парообразных* – химический состав, плотность, летучесть, упругость и температура. Массовая концентрация всех выбросов выражается в $\text{мг}/\text{м}^3$ или $\text{г}/\text{м}^3$ и приводится к нормальным условиям, т. е. к $20\text{ }^\circ\text{C}$ и 760 мм рт. ст.

Физико-химический состав *промышленной пыли* зависит в основном от материала, из которого она образовалась, и механизма ее образования. Механизм образования пыли определяет ее дисперсный состав: крупнодисперсные (более 10 мкм) и мелкодисперсные (менее 10 мкм), но существуют и используются и более детальные классификации пыли по размерам и структуре. По структуре пыль может быть аморфной, кристаллической, волокнистой и пластинчатой.

Производственные сточные воды характеризуются рядом параметров – количеством и физико-химическими свойствами растворенных, эмульгированных и взвешенных примесных веществ, степенью их токсичности, щелочностью или кислотностью, органолептическими характеристиками (запах, вкус, цвет).

Производственные сточные воды подразделяются на *условно чистые* и *грязные*. Условно чистыми являются воды от охлаждения технологического оборудования и аппаратуры. Эти воды охлаждаются в заводских прудах или градирнях, очищаются от масел и взвешенных частиц и затем возвращаются в производство при ограниченном добавлении чистой воды. Грязные сточные воды отличаются не только на различных предприятиях, но и на одном предприятии от разных цехов и участков.

Промышленные твердые отходы кроме классификации по токсичности подразделяются на *металлические*, *неметаллические* и *комбинированные*. К неметаллическим отходам относят *химически инертные* (отвалы пустой породы, зола и т. д.) и *химически активные* (пластмассы, резина и т. д.), к комбинированным — промышленный и строительный мусор.

Энергетические загрязнения окружающей среды включают промышленные тепловые выбросы, а также все виды излучений и полей.

Тепловое загрязнение биосферы присуще в большей или меньшей степени всем видам производств и проявляется в виде конвек-

тивного или радиационного теплообмена между нагретыми выбросами или нагретыми технологическими установками и окружающей средой, что приводит к локальному повышению температуры атмосферы, воды или почвы. Особенно нежелательно воздействие тепловых выбросов на водоемы, поскольку это нарушает водный экологический режим.

1.3. Влияние энергетики на состояние окружающей среды

Современный уровень развития общественного производства характеризуется особой актуальностью целого ряда взаимосвязанных проблем, относящихся к природопользованию – основной форме взаимодействия общества и природной среды. Термин «экология» имеет биологическое происхождение и означает учение о взаимоотношениях организмов растительного и животного мира и среды. В технической литературе этот термин давно используется для отражения взаимосвязи различных форм и проявлений современной жизни с окружающей средой. Экологические аспекты хозяйственного развития страны, включая энергетику, подчеркивают необходимость учета экологических и социальных последствий.

Научно-техническая революция во всех сферах общественного производства, а в энергетике особенно, в значительной степени усложнила характер связей в системе «человек – природа – общество» и привнесла в нее целый ряд негативных сторон. Экологические проблемы развития производительных сил приобрели глобальные масштабы. Антропогенное загрязнение атмосферы приводит к существенному изменению ее состава, который, в свою очередь, вызывает изменение теплового состояния планеты, геохимические аномалии и т. п. Некоторые зарубежные ученые рассматривают вопрос о невозможности дальнейшего развития производительных сил с сохранением среды, пригодной для обитания человека, но при этом недооценивают возможности положительных изменений в связи с развитием научно-технического прогресса в области «экологически чистых» производств.

Деградация природной среды может быть предотвращена путем вмешательства государства в хозяйственную деятельность предприятий с оптимизацией их взаимоотношений с природной средой. Экологическая ситуация в стране вызывает необходимость применения системного подхода для учета всей совокупности процессов взаимо-

действия общества с природной средой и рассмотрения их как единой эколого-экономической системы.

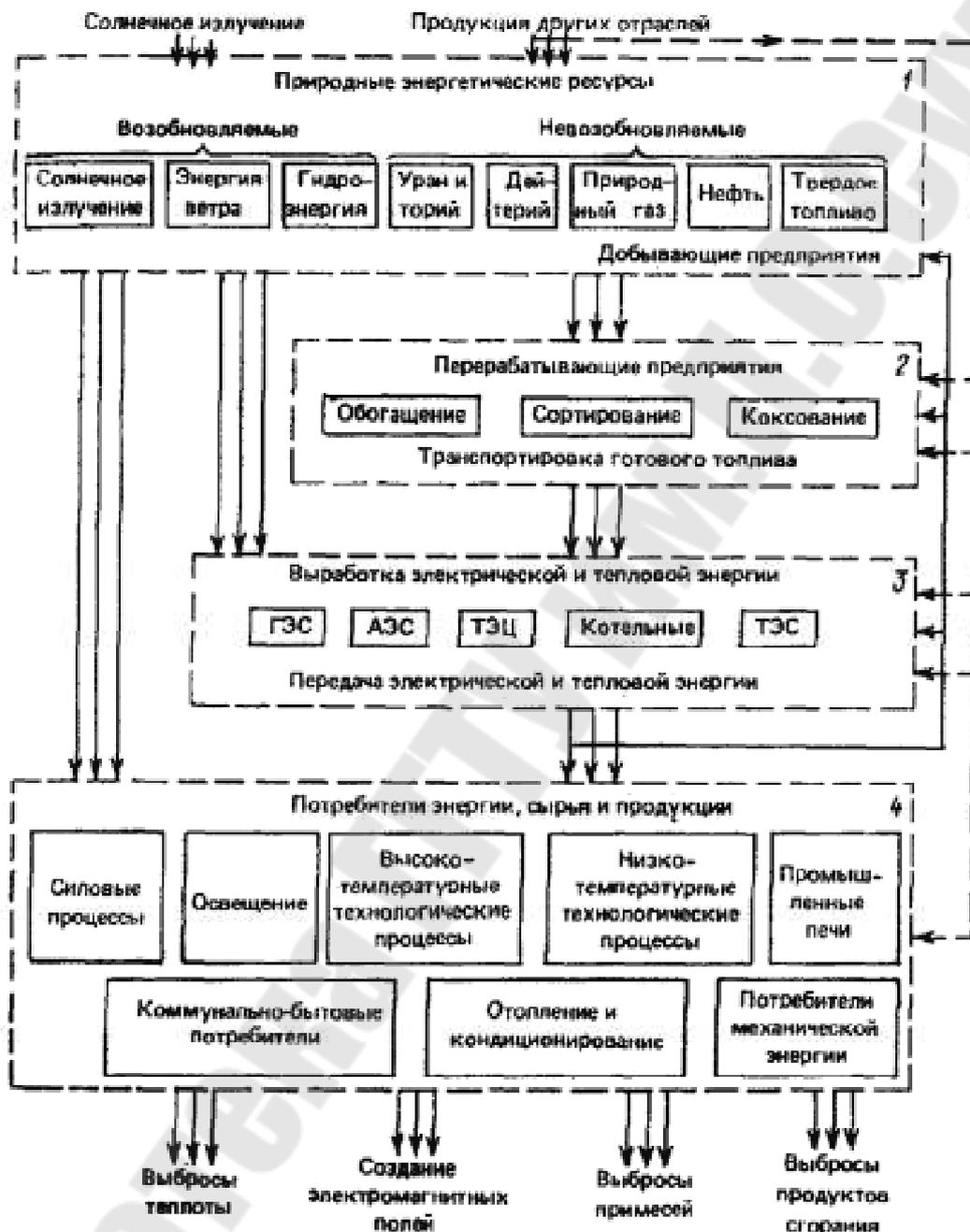


Рис. 1.4. Схема основных связей в большой системе «Энергетика»

В процессе хозяйственной деятельности общества выделяются следующие виды воздействия на окружающую среду, включая большие системы энергетики (рис. 1.4, 1.5):

- пространства;
- изъятие ресурсов для хозяйственного пользования;

- механические нарушения;
- биологическое воздействие на ландшафт и его компоненты;
- тепловое воздействие;
- радиоактивное воздействие;
- шум;
- химическое загрязнение;
- физическое загрязнение (радиоволны, вибрация, электрическое поле).

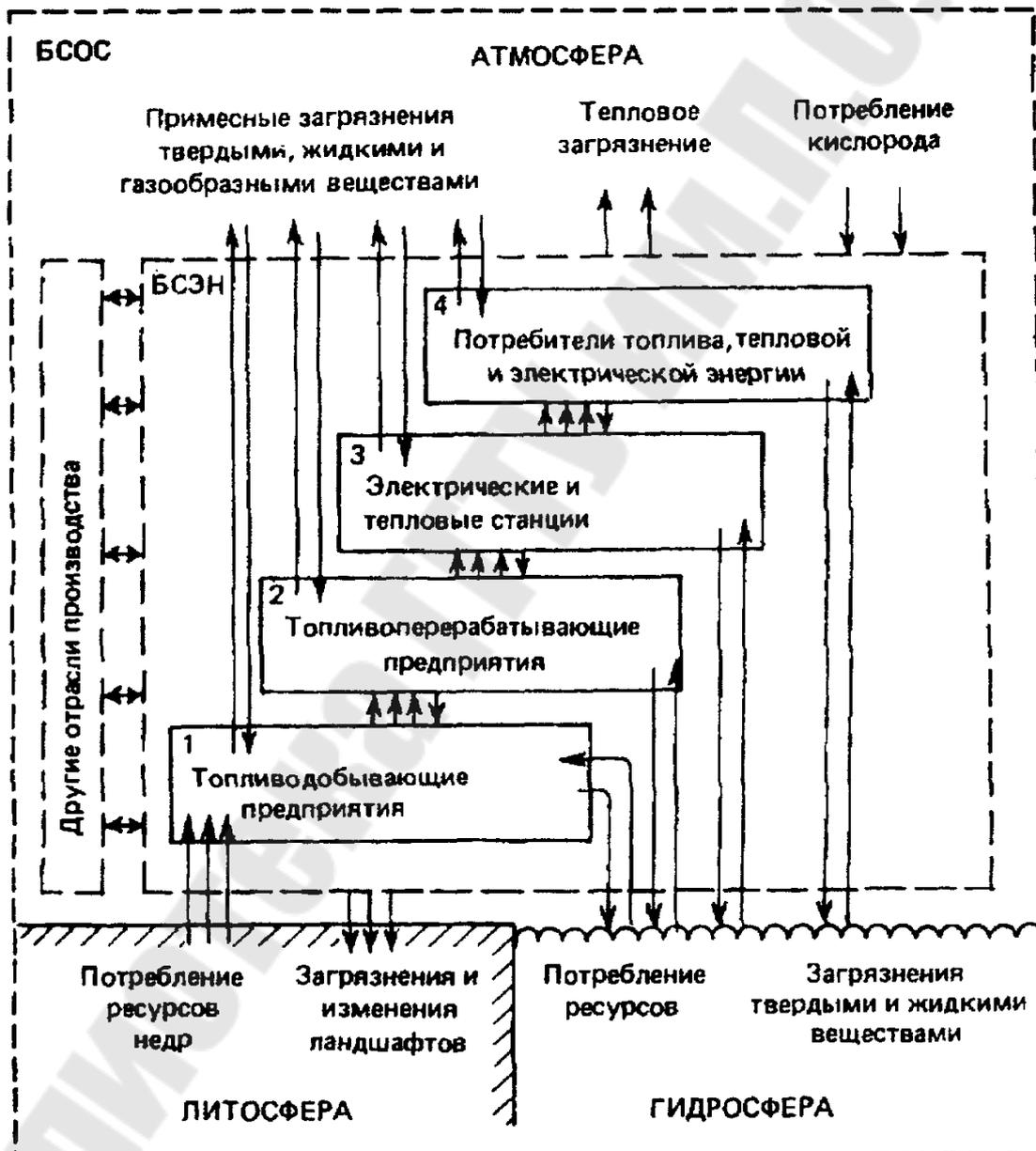


Рис. 1.5. Структурная схема большой системы «Энергетика» по влиянию на окружающую среду (БСЭНОС)

По характеру воздействия на окружающую среду энергетика относится к сильно воздействующим отраслям, что нашло свое отражение в санитарно-экологической классификации производств, градации размеров санитарно-защитных зон.

Система взаимодействия ТЭС и окружающей среды приведена на рис. 1.6.

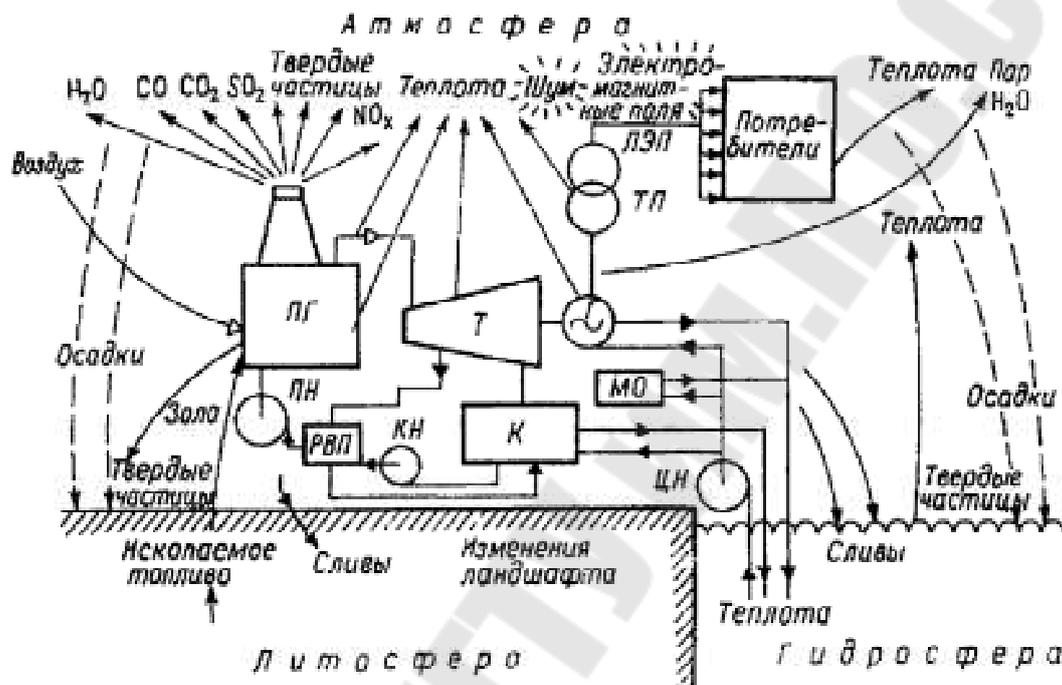


Рис. 1.6. Схема взаимодействия тепловой электрической станции (ТЭС) и окружающей среды

По данным Международного энергетического агентства (IEA, 1998 г.), потребление первичной энергии в мире будет в ближайшие годы возрастать на 2 % ежегодно и составит 14995 млн т н. э. (н. э. – нефтяной эквивалент) в 2020 г. при 9245 млн т н. э. в 1995 г. В частности, потребление природного газа возрастет с 1810 млн т н. э. в 1995 г. до 3468 млн т н. э. в 2020 г.

Мировые разведанные запасы ископаемых ТЭР (нефти, природного газа и угля) к 1997 г. составляли 1236 млрд т у. т., что на 11 % больше, чем в 1994 г. В запасах ТЭР на уголь приходится 45 %; нефть – 34,8 %; природный газ – 15 %; ядерное топливо – 5 %. Данные о запасах ископаемых и уровне их добычи свидетельствуют о том, что при перспективных уровнях их потребления угля хватит на 230 лет, природного газа – на 70; нефти – на 45 лет, урановой руды (с применением ядерных реакторов-размножителей) – на 3000 лет. Запасы и годо-

вая добыча ТЭР распределяются следующим образом: уголь — 104000 и 4520 млн т; природный газ — 138000 и 1978 млрд м³; нефть — 137000 и 3130 млн т; урановая руда — 4150000 и 66500 т. В настоящее время структура мирового потребления ТЭР характеризуется следующими данными (в %): нефть — 40; природный газ — 23; уголь — 27.

В энергетике РБ в последнее время ежегодно сжигается порядка 12 млн т у. т. В структуре топливного баланса природный газ превышает 80 %, остальное — сернистый мазут, попутный газ и др. Суммарные ежегодные выбросы токсичных веществ составляют порядка 100 тыс. т, в том числе окислов серы — 60 тыс. т, оксидов азота — 30–32 тыс. т, оксида углерода — 5 тыс. т. В масштабах страны во всех отраслях народного хозяйства, а в энергетике в особенности, на природоохранную деятельность выделяются значительные средства, что позволяет целенаправленно решать экологические проблемы по многим направлениям. Энергетика является частью (подсистемой) в сложной эколого-экономической системе взаимоотношений человека, общественного производства с окружающей средой.

1.4. Сравнительная экологическая характеристика объектов электроэнергетики

Краткая экологическая характеристика основных объектов электроэнергетики, на базе которых может осуществляться ее развитие, свидетельствует о том, что все они оказывают то или иное отрицательное воздействие на окружающую среду. Практически нет объектов, которые совсем не влияют на окружающую среду.

В то же время ни в коем случае нельзя считать все объекты электроэнергетики экологически равноценными. Наглядное представление об их относительной экологичности дают оценки, приведенные в таблице 1.1.

Как видно из данных, приведенных в таблице, наибольшее число отрицательных воздействий связано с развитием и эксплуатацией ТЭС.

Тепловые электростанции, сжигающие органические виды топлива, неблагоприятно влияют практически на все сферы окружающей среды и подвергают природу всем рассмотренным видам воздействий, включая выбросы радиоактивных веществ в составе летучей золы дымовых газов, которые по оценкам ряда специалистов превышают объем радиационных выбросов АЭС при их нормальной эксплуатации. Радиоактивные вещества, содержащиеся в первичном топливе, выносятся за пределы ТЭС с твердыми частицами (золой) и рассеиваются с дымовыми газами на огромной территории.

Таблица 1.1

Основные направления воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду

Сферы и виды воздействия	Гидроэлектростанции	Электростанции на органическом топливе	Топливная база	Транспорт топлива для ТЭС	Атомные электростанции	Топливная база АЭС	Переработка и транспортирование топлива для АЭС	Солнечные электростанции	Ветроэлектростанции	Приливные электростанции	Геотермальные электростанции	Электрические сети
Загрязнение атмосферы твердыми и газообразными веществами	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
Загрязнение атмосферы радиоактивными частицами	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Загрязнение окружающей среды тепловыми выбросами	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-
Загрязнение водных источников	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-
Загрязнение земли	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-
Использование земельных ресурсов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+

Сферы и виды воздействия	Гидроэлектростанции	Электростанции на органическом топливе	Топливная база	Транспорт топлива для ТЭС	Атомные электростанции	Топливная база АЭС	Переработка и транспортирование топлива для АЭС	Солнечные электростанции	Ветроэлектростанции	Приливные электростанции	Геотермальные электростанции	Электрические сети
Использование невозобновляемых ископаемых ресурсов	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Использование водных ресурсов	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
Использование воздушных ресурсов (кислород)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Воздействие электромагнитных полей	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Воздействие радиации	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
Воздействие шума	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+
Парниковый эффект	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Сумма позиций</i>	3	24			23			2	2	2	7	3

Отрицательное воздействие ТЭС усугубляется тем, что их работа должна обеспечиваться постоянной добычей топлива (топливная база), сопровождаемой дополнительными отрицательными воздействиями на окружающую среду: загрязнением воздушного бассейна, воды и земли; расходом земельных и водных ресурсов, истощением невозобновляемых запасов топлива (природных ископаемых ресурсов).

Загрязнение природной среды происходит также при транспортировании топлива как в виде его прямых потерь, так и в результате расхода энергоресурсов на его перевозку, которая в среднем по бывшему СССР производится на расстоянии около 800 км.

Общая сумма позиций, по которым определяется отрицательное воздействие объектов электроэнергетики на окружающую среду, оказалась наибольшей для ТЭС, использующих органическое топливо, – 24 (табл. 1.1).

По такой качественной оценке воздействия на окружающую среду на втором месте находятся атомные электростанции с их топливной базой. Число факторов неблагоприятного воздействия АЭС составило 23. Среди них такие грозные, как радиационная опасность.

Наименьшее количество воздействий среди традиционных источников электроэнергии оказывают гидроэлектростанции (три пункта). Это дает основание считать их наиболее экологически чистыми источниками электроэнергии из числа традиционных. При этом ряд сред (воздух, земля) вообще не загрязняется при работе гидроэлектростанций.

Большое преимущество ГЭС заключается также в том, что их воздействие ограничивается локальными зонами водохранилищ и что они используют только возобновляемую энергию водотока, не нуждаются в топливных базах и транспортировании топлива и не расходуют невозобновляемых полезных ископаемых.

Среди неблагоприятных воздействий ГЭС главным является затопление обширных территорий, которое и определяет экологическое лицо ГЭС.

Число отрицательных воздействий на окружающую среду нетрадиционных источников электроэнергии, как правило, невелико (две позиции по табл. 1.1), за исключением геотермальных электростанций, для которых оно оценивается семью факторами.

Всего три фактора воздействий характеризуют экологичность электросетевого строительства.

Представленные в таблице данные свидетельствуют не только о количестве воздействий различных объектов электроэнергетики

на окружающую среду, но и о том, что характер этих воздействий и круг затрагиваемых ими сфер неодинаковы. Это затрудняет обеспечение достаточно полной экологической сопоставимости сравниваемых вариантов и ведет к необходимости выполнения многофакторного анализа.

Следует также отметить, что среди перечисленных в таблице факторов имеются и особенно важные, способные оказать решающее воздействие на результаты экологического сопоставления вариантов. Для ГЭС это, как уже отмечалось, размеры используемых земельных ресурсов, для АЭС – опасность радиационного заражения в аварийных условиях.

1.5. Глобальная задача управления энергетикой

Развитие человеческого общества, его успехи на пути цивилизации и прогресса прямо связаны с повышением производительности труда и улучшением материальных условий жизни людей. Необходимое условие научно-технического и социального прогресса состоит в увеличении количества потребляемой энергии и освоении новых, более эффективных ее видов. Энергетические проблемы возникали, как выше показано, на всех стадиях человеческого общества, и всякий раз усилия ученых, инженеров, изобретателей помогали решать эти проблемы.

Процесс потребления энергии на нашей планете исторически протекал крайне неравномерно. Ориентировочное представление о нем может дать рис. 1.7, на котором показано изменение расхода энергии человечеством во времени.

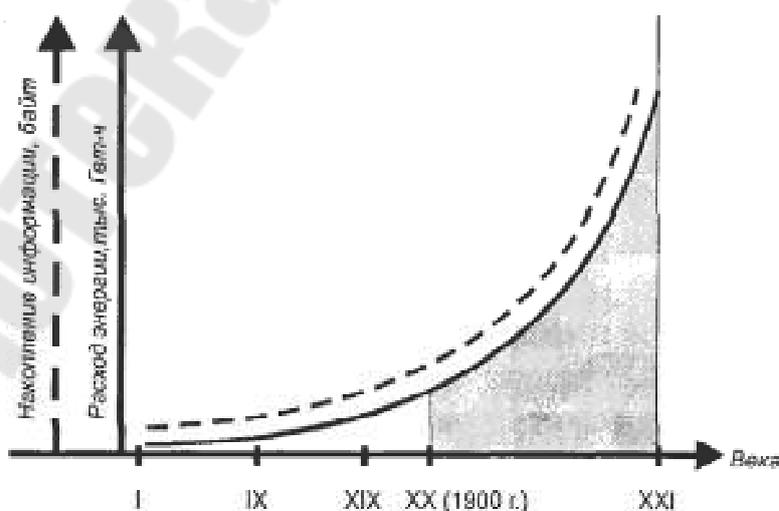


Рис. 1.7. Динамика потребления энергии на Земле и развития цивилизации человечества

Кривая указывает на резкое возрастание потребления энергии начиная с XX в. Человечество за всю историю своего существования израсходовало около 900–950 тыс. ТВт·ч энергии всех видов, причем почти 2/3 этого количества приходится на последние 40–50 лет.

Характерна также неравномерность в потреблении энергии различными странами и на душу населения. В доисторическую эпоху каждый человек, использовавший свою мускульную силу и энергию впервые зажженного костра, тратил примерно одинаковое количество энергии. Приблизительно можно считать ее распределение в те далекие времена равномерным – 1:1; в настоящее время неравномерность потребления энергии на душу населения стала огромна: для различных стран она выражается отношением 1:40. Неравномерность в потреблении электроэнергии еще больше. Так, на одного жителя в 1996 г. приходилось, МВт · ч:

Норвегия – $21,35 \cdot 10^3$;

США – $10,5 \cdot 10^3$ – $11,5 \cdot 10^3$;

Страны ЕС – $4,7 \cdot 10^3$ – $4,8 \cdot 10^3$;

Россия – в 1990 г. – $5,9 \cdot 10^3$; в 1993 г. – $4,7 \cdot 10^3$;

Беларусь – в 1990 г. – $4,0 \cdot 10^3$; в 1993 г. – $2,8 \cdot 10^3$;

Индия – $0,18 \cdot 10^3$;

Бурунди (Африка) – $0,011 \cdot 10^3$.

Увеличение расходуемой энергии связано с развитием цивилизации, расширением, углублением знаний человека об окружающем мире. Объем знаний со временем увеличивается по мере того, как развивается культура – искусство, наука и т. д. Обеспечение энергией – это необходимая основа для того, чтобы человек мог творчески создавать новую технику, заниматься науками, искусством, литературой – всем тем, что обобщенно называется культурой. Приблизительно знания, отражающие уровень развития цивилизации, можно оценить количеством накопленной информации, измеряемой условной единицей – байтом. Потребление энергии и накопление информации имеют примерно одинаковый характер изменения во времени, как это видно из рис. 1.7, где штриховой линией изображена зависимость накопления человечеством информации, отражающего уровень развития его цивилизации, во времени [1]. Очевидно, что **рост потребления энергии человечеством и развитие его цивилизации – исторически взаимосвязанные и взаимообусловленные процессы.**

1.6. Динамика потребления энергии

Становление и развитие цивилизации человечества неразрывно связано с ростом потребления энергоресурсов. По существующим экспертным оценкам в настоящее время наблюдается непрерывный, устойчивый прирост мирового потребления топливно-энергетических ресурсов в среднем на 1–2 % ежегодно, а также увеличение энергетической зависимости от третьих стран, которая, по прогнозам, к 2020 г. достигнет 70 % от общего потребления.

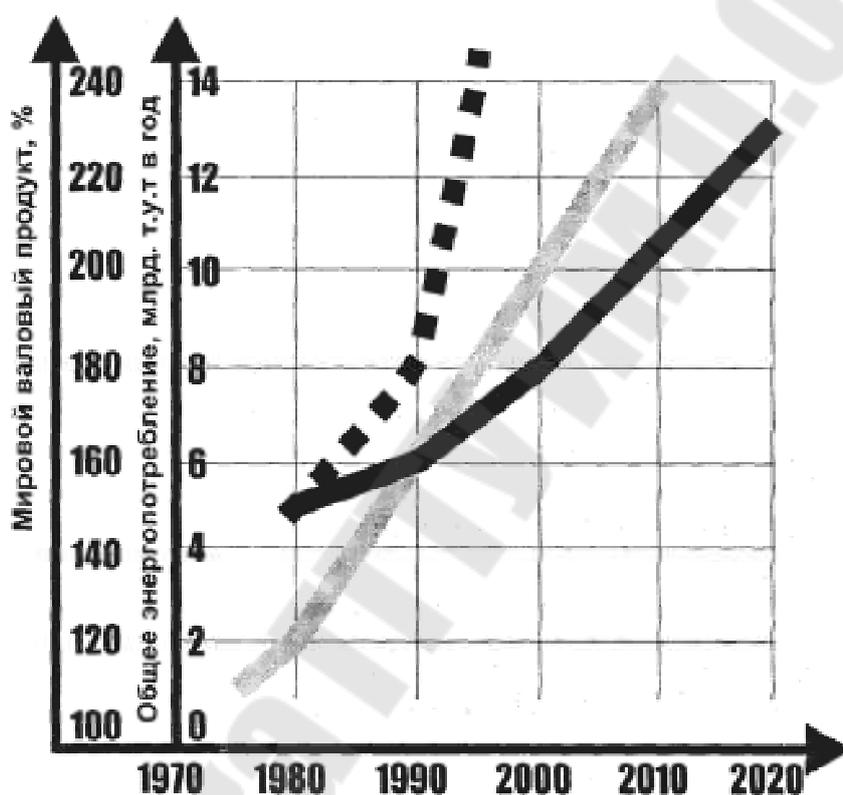


Рис. 1.8. Динамика мирового энергопотребления:

- по прогнозам 90-х гг.
- по прогнозам 70–80-х гг.
- динамика мирового валового продукта (МВП)

Быстрый рост энергопотребления вызван, прежде всего, постоянным увеличением мирового производства. Поэтому при рассмотрении динамики энергопотребления его уровень необходимо соотносить с изменением основного показателя, характеризующего уровень развития мировой экономики. Таким показателем является **объем мирового валового продукта (МВП)**, который **определяется общей рыночной стоимостью всех готовых товаров и услуг, произведенных в мире в течение года.**

2. ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

2.1. Общие положения

Увеличение мощности и выработки электроэнергии, необходимое для обеспечения прироста потребительского спроса на электроэнергию, создает предпосылки для усиления отрицательного воздействия электроэнергетики на окружающую среду. Дополнительные воздействия могут выражаться в изъятии земельных и водных ресурсов, загрязнении земель, вод и атмосферного воздуха.

В связи с этим одной из важнейших проблем экологической оптимизации развития электроэнергетики является всемерное сокращение этих воздействий с использованием различных природоохранных мероприятий.

Среди природоохранных мероприятий в электроэнергетике могут быть выделены две принципиально различные группы. К первой из них относятся технические мероприятия, осуществляемые на объектах электроэнергетики и способствующие сокращению на них вредных выбросов и сбросов, снижению концентрации вредных веществ, а также ресурсосбережение, утилизация отходов производства и т. д. Ко второй группе природоохранных мероприятий могут быть отнесены такие, которые обеспечивают снижение отрицательного воздействия на окружающую среду за счет оптимизации топливно-энергетического баланса электроэнергетики, оптимизации структуры и размещения электростанций.

Возможности первой группы природоохранных мероприятий определяются техническим прогрессом в энергомашиностроении, качеством разработки проектных решений по объектам электроэнергетики, полнотой учета при проектировании требований охраны окружающей среды, экономической и социальной приемлемостью предлагаемых решений.

Мероприятия второй группы исследуются и применяются с учетом того, что на объектах в полной мере реализуются мероприятия первой группы, т. е. мероприятия второй группы не заменяют, а дополняют комплекс мероприятий первой группы. Возможности второй группы природоохранных мероприятий в структурной оптимизации определяются качественными и количественными характеристиками топливно-энергетических ресурсов рассматриваемого региона, набором альтернативных источников, которые могут быть использованы для покрытия

прироста электропотребления (ГЭС, АЭС, ГРЭС и т. д.), их размещением, экологическими и экономическими характеристиками.

На условия оптимизации развития и размещения объектов электроэнергетики существенное влияние может оказать состояние окружающей среды в районе, включая наличие земельных и водных ресурсов, уровень фонового загрязнения окружающей среды. Очевидно, что в случае повышенного уровня загрязненности окружающей среды могут возникнуть условия, при которых размещение здесь электростанции без нарушения санитарных норм окажется невозможным даже при использовании всех доступных мероприятий первой группы. В этом случае радикальным средством охраны природы в данном районе может быть вынос электростанции в другой, более благоприятный в экологическом отношении район, либо изменение вида топлива или типа электростанции. Важно при этом подчеркнуть, что в любых вариантах развития и размещения электростанций, при любом наборе объектных природоохранных мероприятий обязательным является обеспечение норм охраны природной среды и безопасности человека.

Из изложенного следует, что реализация системных мероприятий в значительной мере зависит от специфических особенностей рассматриваемого региона, которые в каждом отдельном случае должны изучаться индивидуально.

2.2. Охрана атмосферного воздуха

Загрязнение воздушного бассейна объектами электроэнергетики связано в основном с выбросами дымовых газов, образующихся при сжигании органического топлива в котлах электростанций. В связи с этим для снижения вредного воздействия электроэнергетики на воздушный бассейн может быть использовано как минимум три пути:

1) уменьшение количества и улучшение качества органического топлива, сжигаемого для производства электроэнергии и теплоты;

2) подавление и улавливание вредных компонентов дымовых газов и сокращение благодаря этому выброса электростанциями вредных веществ в атмосферу;

3) уменьшение концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы в результате рассеивания вредных выбросов высокими трубами электростанций, более рационального их размещения, усиления контроля за выбросами и экологическое управление режимами энергетических предприятий с использованием экологически чистых резервных топлив.

2.2.1. Уменьшение количества и улучшение качества сжигаемого топлива

Снижение объема вредных выбросов в атмосферу в первую очередь может быть обеспечено за счет сокращения количества и улучшения качества сжигаемого топлива.

Глобальным направлением в этой области является всемерное повышение коэффициента полезного действия электростанций и соответствующего снижения удельных расходов топлива.

На тепловых электростанциях удельный расход условного топлива последовательно сокращался. Снижение расхода топлива на 1 кВт·ч отпущенной электроэнергии достигался за счет ввода новых, более эффективных электростанций, демонтажа и модернизации устаревшего оборудования, улучшения качества его обслуживания.

Для усиления этого процесса необходимо не только все более совершенствовать оборудование, но и интенсифицировать демонтаж и реконструкцию устаревшего оборудования, доля которого в энергосистемах страны с каждым годом увеличивается.

Основное новое направление в повышении КПД топливоиспользования на электростанциях в настоящее время связывается с развитием парогазовых установок (ПГУ), за счет повышения температуры газов в газотурбинных установках (ГТУ).

То есть экономия топлива и соответственно снижение выбросов при использовании таких установок могут составить 27,5–40 % по сравнению с обычными ТЭС.

Существенный эффект может быть получен и при использовании на ГТУ твердых топлив с применением внутрицикловой газификации углей, что позволяет также повысить КПД.

Снижение количества используемого в системе топлива может быть достигнуто и путем соответствующих структурных изменений, например, увеличение выработки электроэнергии на основе ТЭС, АЭС, где отсутствуют выбросы твердых частиц и газообразные – оксидаты серы и азота.

Для эколого-экономической оценки значимости этого преимущества необходимо иметь возможность определить объем вредных выбросов в атмосферу в зависимости от структуры генерирующих мощностей и экономический ущерб от вредных выбросов электростанций в воздушный бассейн.

Важным природоохранным мероприятием является и повышение качества используемого топлива. С позиций охраны воздушного

бассейна преимущества имеют те виды топлива, которые содержат меньше нежелательных примесей, в первую очередь золы, серы и азота. Поэтому во избежание излишнего загрязнения воздушного бассейна преимущество по возможности должно отдаваться малозольным, малосернистым и другим подобным топливам. Наиболее чистым органическим топливом является природный газ. При его сжигании не выделяются твердые частицы и практически отсутствуют выбросы сернистых соединений.

В связи с этим в условиях возможной переориентации газомазутных электростанций на сжигание преимущественно природного газа и сокращения доли высокосернистого мазута может привести к не менее ощутимому результату, чем установка на электростанциях, сжигающих высокосернистые топлива, дорогостоящих сероочистных сооружений.

Топочные мазуты вырабатываются в основном из сернистых нефтей и содержат до 3,5 % серы. Концентрация серы в продуктах сгорания таких мазутов недопустимо велика, что особенно неблагоприятно при расположении ТЭС вблизи или в черте городов со значительным фоном загрязнения атмосферы.

По имеющимся оценкам для мазутных ТЭС наиболее целесообразным является облагораживание топлива в процессе его производства на нефтеперерабатывающих заводах со снижением содержания серы на рабочую массу S^p мазута до 1 % и менее. Народнохозяйственные затраты в этом случае оказываются в 1,3–2 раза ниже, чем при установке на электростанциях сероочистных сооружений. При этом упрощается эксплуатация электростанций и возрастает надежность электро- и теплоснабжения потребителей.

Дополнительного уменьшения выбросов оксидов серы можно достичь повышением доли использования малосернистых твердых топлив.

В настоящее время осуществляется газификация твердого топлива и получение на этой базе транспортабельного газообразного топлива с высокой удельной теплотой сгорания.

Среди методов газификации твердого топлива представляет интерес термохимический способ переработки топлива на электростанциях, позволяющий получить очищенный газ для сжигания в котлах и в виде побочных продуктов серу, бензол, толуол и др. Создание оптимальной технологии переработки топлива по этому методу позволит получить при его реализации в энергетике дополнительный экономический эффект за счет извлечения побочной продукции.

2.2.2. Методы подавления и улавливания вредных компонентов дымовых газов на электростанциях

Для охраны воздушного бассейна наиболее важными являются мероприятия, сокращающие выбросы с дымовыми газами электростанций твердых частиц (зола), оксидов серы и азота.

Количество твердых частиц золы и недожога топлива, образующихся в топках котлов и уносимых из топки дымовыми газами, пропорционально количеству сжигаемого топлива, его зольности и степени шлакоулавливания.

Количество летучей золы, выбрасываемой в атмосферу энергетическими установками, определяется эффективностью очистки газов в золоуловителях, устанавливаемых за котлами.

В нашей стране и за рубежом взят курс на максимально возможную очистку газов от золы. Принято, что КПД золоуловителей должен быть для электростанций, сжигающих средние угли, 99 %, зольные топлива – 99,5 %.

По принципам действия золоуловители разнообразны: электрофильтры, мокрые инерционные, сухие инерционные.

Наиболее дешевы мокрые золоуловители. Такие аппараты относительно компактны, работают устойчиво, обеспечивая степень очистки газов 95–97 %. Основные трудности эксплуатации этих аппаратов связаны с износом футеровки, а также с обеспечением надлежащего качества орошающей воды. Наиболее надежны и удобны в эксплуатации сухие инерционные золоуловители. Однако область их применения ограничивается сравнительно низкой эффективностью. Для перспективных мощных электростанций создаются новые электрофильтры.

В настоящее время должная эффективность работы электрофильтров обеспечивается не всегда: степень очистки определяется физико-химическими свойствами золы и дымовых газов, а также скоростью движения и температурой этих газов.

Совершенствование конструкции электрофильтров происходит в направлении изменения интервалов встряхивания электродов на отдельных ступенях электрофильтров, установки двойных клапанов между электрофильтром и системой золоудаления, препятствующих присосу воздуха через неплотности, кондиционирования газов. Их эффективность может быть доведена до 99–99,5 %.

Сложности с очисткой возникают при улавливании золы сухих малосернистых топлив, для которых наиболее эффективны комбини-

рованные схемы очистки, в которых на первой ступени осуществляются понижение температуры и увлажнение газов.

Несмотря на то, что методы обеспыливания дымовых газов в настоящее время наиболее разработаны для очистки дымовых газов от вредных составляющих, но аппараты во многих случаях не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям.

Большинство применяемых золоуловителей избирательно улавливают относительно крупные фракции золы, тогда как именно в мелких фракциях концентрируются тяжелые металлы и другие токсичные компоненты.

Установлено, что по дисперсному составу зола в известной мере копирует угольную пыль, и поэтому тонина помола угля непосредственно влияет на очистку газа, т. к. крупная зола лучше улавливается. Таким образом, уже на этапе топливоподготовки можно предусматривать мероприятия, обеспечивающие снижение выброса золы.

При сжигании мазута дополнительные загрязнители поступают в атмосферу в виде сажи, которые наносят существенный ущерб окружающей среде, поскольку являются носителями кислот и канцерогенов. На электростанциях, работающих на мазуте, необходимо применение золоулавливающих установок специальных типов. За рубежом для этих целей используются электрофильтры, сухие инерционные аппараты, скрубберы мокрой очистки и тканевые фильтры с эффективностью улавливания твердых частиц 80–99 %. Для отечественных мазутных котлов имеются специальные золоулавливающие установки (батареи циклонов, электрофильтры и др.) для очистки дымовых газов при высоких температурах (350–400 °С).

Защита от оксидов серы. Диоксид серы и продукты его взаимодействия с другими загрязнителями осаждаются на почву, попадают в водоемы в виде аэрозолей и растворов, которые выпадают с атмосферными осадками (кислотные дожди). В районах расположения крупных ТЭС наблюдается повышенное содержание сульфатов в почвах, в связи с чем снижается их продуктивность.

Вредное влияние диоксида серы усиливается при наличии в воздухе оксидов азота, поэтому санитарными нормами введено требование суммации концентраций оксидов серы и азота.

Основное количество серы в дымовых газах находится в виде диоксида серы SO_2 (до 99 %) и только 1 % приходится на триоксид серы SO_3 . Однако концентрация SO_3 в дымовых газах решающим образом влияет на температуру точки росы, которая, в свою очередь, определяет коррозию элементов газовоздушного тракта.

Существует большое количество методов очистки дымовых газов от SO_2 , основанных на селективном поглощении серы различными соединениями. Наиболее экономичные мокрые способы очистки имеют один существенный недостаток – ухудшают способность дымовых газов рассеиваться, в результате чего зачастую концентрация SO_2 в приземном слое электростанции, несмотря на очистку, оказывается выше допустимых норм.

Наиболее полно разработаны три метода, основанных на селективном поглощении серы: аммиачно-циклический, магнезитовый и известняковый.

К особенностям сероулавливающих установок электростанций относится их крупномасштабность. Площадь, занимаемая сероулавливающими установками, соизмерима с площадью основных сооружений электростанции.

Эксплуатация сероулавливающих установок связана с потреблением значительного количества реагентов (известняка, извести, аммиака и др.) и образованием соответствующего количества отходов сероулавливания, которые могут иметь и товарную ценность.

Химическая продукция, получаемая при очистке дымовых газов от диоксида серы, зависит от выбранного технологического процесса. При очистке аммиачно-циклическим методом в качестве готовых продуктов можно получить 100%-ный сжиженный диоксид серы и сульфат аммония. При использовании магнезитового метода получается промежуточный продукт – кристаллы сульфата магния, которые после их обработки (сушка, обжиг) поступают в сернокислотное производство.

Защита от оксидов азота. Образование оксидов азота при высокотемпературном сжигании топлива обусловлено в основном окислением молекулярного азота воздуха непосредственно в зоне горения. При низкотемпературном сжигании топлива увеличивается доля оксидов азота, образовавшихся в результате окисления связанного азота, входящего в состав топлива. Этот процесс происходит легче и быстрее, чем окисление молекулярного азота воздуха при относительно низких температурах, например, для угля при 250–280 °С.

С увеличением мощности энергетических котлов выход оксидов азота возрастает.

Максимальный выход оксидов азота наблюдается в зоне активного горения. В остальных зонах, где уровень температуры относительно ниже, атмосферный азот практически не окисляется. Это озна-

чает, что снижение температуры горения топлива способствует уменьшению содержания оксидов азота в выбросах.

Снижение выбросов оксидов азота с дымовыми газами электростанций обеспечивается режимными и конструктивными мероприятиями, направленными на уменьшение образования газов в топках котлов (двухступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов в зону горения, сжигание топлива при малых избытках воздуха, разработка новых типов горелок и различное конструктивное решение топочных устройств). На выбор оптимального метода снижения содержания оксидов азота в топочной камере существенно влияют мощность котла и вид топлива (газообразное, жидкое, твердое).

На газомазутных энергетических котлах режимными и конструктивными мероприятиями удастся сократить выброс оксидов азота на 35–40 %. При этом увеличение стоимости ТЭС не превышает 2 %. При сжигании твердых топлив применение даже комплекса конструктивных и режимных мероприятий позволяет снизить выброс оксидов азота не более чем на 25 %.

Перспективным способом снижения выбросов оксидов азота является очистка дымовых газов.

Азотоочистительные установки следует использовать лишь после исчерпания возможностей – подавления реакций образования оксидов азота сравнительно дешевыми технологическими методами, т. к. очистка дымовых газов от азота сравнительно дорогое мероприятие. Наиболее распространенный аммиачно-каталитический метод разложения оксидов азота имеет КПД до 85 %.

Большого эффекта можно достичь при сжигании твердых топлив в топках с «кипящим слоем», а также при газификации топлив и использовании парогазовых установок. При сжигании газифицированных топлив количество оксидов азота может быть снижено на 80–90 %.

2.2.3. Комплексные газоочистные мероприятия

Наиболее перспективным направлением считается создание экологически чистого энергетического оборудования, прежде всего новых котлов, оснащенных пылегазоочистным оборудованием, обеспечивающим гарантийные показатели содержания золы, оксидов серы и азота в дымовых газах электростанций.

Особое комплексное воздействие в направлении уменьшения вредных выбросов в атмосферу связано с разработкой и освоением

котлов, сжигающих топливо в «кипящем слое», позволяет на 80–90 % очистить газы от соединений серы и в 1,5–2 раза сократить выход оксидов азота.

Весьма прогрессивным направлением в решении экологических проблем является применение парогазовых установок (ПГУ) даже при работе на природном газе.

В парогазовых установках будет использоваться твердое топливо с предварительной газификацией угля в газогенераторе. Генераторный газ можно сжигать при значительно более низкой температуре, чем уголь, что позволяет уменьшить образование и выход оксидов азота, а содержащаяся в угле сера переходит в сероводород, который легко извлекается селективным путем. Необходимый для процесса газификации воздух отбирается из компрессора газовой турбины, а пар – из отбора паровой турбины. Таким образом, газификационная установка органически входит в состав ПГУ, что дает основание говорить о ПГУ с внутрицикловой газификацией угля.

Опыт эксплуатации ПГУ показал, что при работе на генераторном газе выброс оксидов серы уменьшается на 90 %, оксидов азота – на 50 % по сравнению с сжиганием натурального топлива.

2.2.4. Рассеивание вредных веществ в атмосфере

Экологическое управление режимами электростанций

Выше были рассмотрены условия, определяющие сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу с дымовыми газами электростанций.

Отметим условия обеспечения требуемой концентрации вредных веществ путем их разбавления и рассеивания.

В соответствии с «Указаниями по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (СН 369–74. – Москва : Стройиздат, 1975) концентрация примесей в приземном слое атмосферного воздуха, мг/м³, определяется по формуле

$$c_M = \frac{AmnMF}{H^2} \sqrt{\frac{N}{V\Delta T}}, \quad (2.1)$$

где A – коэффициент температурной стратификации атмосферы, определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, с^{2/3} · мг · К^{1/3}/г; M – количество вредного вещества (зола, диоксид серы, оксиды азота), выбра-

сываемого в атмосферу, г/с; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья дымовой трубы; H – высота трубы, м; ΔT – разность между температурой выходящих из трубы газов T_r и температурой окружающего воздуха T_v , °С, принимаемый по средней температуре самого жаркого месяца в 13 ч (для ТЭЦ по летнему и зимнему режимам работы); V – объем газовой смеси, м³/с.

Как видно из формулы (2.1), концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы зависит не только от объема вредных выбросов, но и от климатических и метеорологических условий местности, а также от конструкции дымовой трубы.

При заданных природных условиях и заданных размерах выбросов вредных веществ в атмосферу уровень их концентрации зависит от конструкции дымовой трубы, в первую очередь от ее высоты (концентрация обратно пропорциональна квадрату высоты трубы).

В связи с этим рост требований к охране воздушного бассейна при прочих равных условиях ведет к необходимости увеличения высоты дымовых труб, наиболее высокие из которых в настоящее время превысили 300 м.

Создание высоких труб обходится достаточно дорого, причем их стоимость по мере увеличения высоты возрастает почти по квадратической зависимости. Тем не менее, стоимость дымовых труб значительно ниже, чем сооружений по очистке дымовых газов, что с экономической точки зрения говорит в пользу труб. Однако в настоящее время сооружение высоких дымовых труб не признается в качестве генерального направления охраны воздушного бассейна, т. к. вредные выбросы из высоких дымовых труб рассеиваются на весьма значительные расстояния. Отрицательное воздействие электростанций на обширные территории страны может иметь различные неблагоприятные последствия, в том числе такие, как кислотные дожди, ухудшение состояния атмосферы в удаленных районах в результате наложения выбросов на повышенные антропогенные и природные концентрации вредных веществ и т. п.

В связи с этим в настоящее время приоритет отдается методам, позволяющим максимально снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, после чего для обеспечения должного ПДК допускается выбирать соответствующую высоту труб.

При таком подходе игнорируются экономические условия оптимизации природоохранных мероприятий, а намечаемый круг дорогостоящих очистных сооружений является в известном смысле компенсацией недостаточной изученности рассматриваемой проблемы.

Вряд ли такой путь можно признать достаточно оправданным, тем более что практически без должного учета экономических и социальных последствий назначаются и нормативы ПДК. Каждое ужесточение санитарных норм сопряжено с огромными дополнительными затратами средств, необходимых для удовлетворения новых требований. Поэтому подготовка каждого нового этапа эскалации санитарных норм должна сопровождаться подготовкой технической и материальной базы для их практического осуществления чего, однако, не делается. В связи с этим представляется необходимым при решении проблем охраны окружающей среды больше внимания уделить как техническим, так и экономическим ее аспектам и предусмотреть достаточное количество сил и средств для ее решения.

Учитывая, что затраты на природоохранные мероприятия измеряются сотнями миллиардов рублей, можно ожидать, что технико-экономический аспект такой проработки может обеспечить значительный экономический эффект без какого-нибудь снижения необходимого уровня охраны окружающей среды.

Значительные концентрации вредных примесей могут наблюдаться вследствие того, что условия погоды не обеспечивают рассеивания и удаления промышленных выбросов из приземного слоя атмосферы.

В таких районах требуется обратить особое внимание на организацию мероприятий по защите воздушного бассейна.

В этих условиях большой интерес представляют возможности кратковременного снижения выбросов предприятий в периоды, неблагоприятные для рассеивания вредных веществ.

Если прогнозируются условия, способствующие значительному росту концентрации вредных веществ, то на промышленные предприятия и тепловые электростанции заблаговременно (от нескольких часов до суток) передаются предупреждения. Предприятия принимают меры к временному сокращению выбросов. Для этого используют методы, имеющие общий характер и пригодные для всех отраслей промышленности, а также специфичные только для конкретных предприятий.

К мероприятиям общего характера относятся:

– усиление контроля за соблюдением технологического режима производства и работой очистных устройств; запрещение отключения очистных сооружений для ремонта и профилактического осмотра. Если к моменту поступления предупреждения об опасности увеличения загрязнения атмосферы очистные устройства отключены, то принимаются все меры их скорейшего ввода в работу:

- предотвращение залповых выбросов;
- смещение во времени технологических процессов, связанных с большим выделением вредных веществ в атмосферу;
- остановка второстепенных производств, сильно загрязняющих воздух;
- переход на сжигание малосернистого и малозольного топлива;
- использование высококачественного сырья, чтобы минимизировать поступление вредных веществ в атмосферу;
- уменьшение до минимума низких неорганизованных выбросов;
- ограничение погрузочно-разгрузочных работ с пылящими материалами, запрещение чистки цистерн и других емкостей и т. д.;
- приостановка сжигания отходов производства;
- усиление контроля за полнотой сжигания топлива;
- остановка технологического оборудования на ремонт, если планируемая дата начала ремонта близка к сроку наступления неблагоприятных метеоусловий;
- запрещение работы оборудования в форсированном режиме;
- отключение аппаратов и оборудования периодического действия, работа которых связана со значительным загрязнением воздуха;
- переход от автоматического к ручному управлению работой электрофильтров для обеспечения максимально возможной токовой нагрузки;
- проведение дополнительных измерений количества выбросов в атмосферу и концентраций примесей в приземном слое воздуха под факелами объектов.

Для ГРЭС, ТЭЦ и котельных разработаны специфические мероприятия, позволяющие кратковременно сократить выбросы в периоды неблагоприятных метеоусловий, а именно:

- 1) в отдельные периоды – снижение нагрузки ТЭЦ и котельных вплоть до полного отключения котлов, работающих на высокосернистом и высокозольном топливе (расчеты показывают, что часто от-

ключение таких котлов незначительно снижает общую нагрузку ТЭЦ, но вследствие особенностей выбросов в несколько раз уменьшает загрязнение приземного слоя воздуха);

2) в районах с опасными метеоусловиями кратковременное снижение нагрузки электростанции до 30 % и соответственно сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу;

3) предотвращение пыления с поверхности золоотвалов путем их смачивания.

2.2.5. Основные направления охраны окружающей среды в электроэнергетике

В отношении охраны воздушного бассейна в качестве первоочередных мер предусматривается:

– внедрение на всех действующих котлах технологических методов подавления образования оксидов азота;

– осуществление комплекса мер по снижению количества выбросов золы в атмосферу. В этих целях намечены: реконструкция и модернизация всех устаревших и низкоэффективных золоуловителей на действующих ТЭС; оснащение новых энергетических котлов электрофильтрами с КПД 99 % и выше; разработка и внедрение золоуловителей с рукавными фильтрами преимущественно для ТЭС, сжигающих кузнецкие и экибастузские угли, зола которых из-за неблагоприятных электрофизических свойств плохо улавливается в электрофильтрах, а также для ТЭС, работающих на канско-ачинских углях, со связыванием в этих аппаратах части оксидов серы;

– сооружение сероулавливающих и азотоочистных установок на новых и действующих ТЭС, в первую очередь расположенных в районах и городах с напряженной экологической обстановкой, при исчерпании всех возможностей подавления образования оксидов азота технологическими методами;

– использование на ТЭС малосернистого мазута и обогащенного угля;

– внедрение нового энергетического оборудования с улучшенными экологическими характеристиками.

Задача состоит в том, чтобы вновь сооружаемые и расширяемые ТЭС удовлетворяли повышенным экологическим требованиям.

2.3. Охрана водных объектов

2.3.1. Характеристика сточных вод технологических систем тепловой электрической станции (ТЭС)

По масштабам воздействия на качественное состояние водных объектов тепловые электростанции не относятся к числу очень «грязных» предприятий. Однако при отсутствии мер по ограничению загрязненных сбросов ТЭС могут наносить ощутимый вред водным объектам.

Сточные воды тепловых электростанций в зависимости от назначения технологической системы, в которой они образуются, или основного загрязнителя разделяются на следующие виды:

- воды системы охлаждения, т. е. воды, охлаждающие конденсаторы турбин;
- воды, загрязненные нефтепродуктами;
- регенерационные и промывочные воды водоподготовительных установок (т. е. установок подготовки воды для подпитки пароводяного цикла) и конденсатоочисток;
- воды системы гидрозолоудаления;
- обмывочные воды хвостовых поверхностей нагрева парогенераторов;
- отработавшие растворы после химической очистки теплосилового оборудования и его консервации.

Кроме перечисленных основных видов производственных сточных вод на ТЭС имеются хозяйственно-бытовые сточные воды, воды гидравлической уборки помещений тракта топливоподачи, дождевые (ливневые) воды, стекающие с территории.

Количество сточных вод и степень их загрязнения зависят от ряда факторов, основными из которых являются мощность ТЭС, тип установленного оборудования и его состояние, вид топлива, технический уровень эксплуатации оборудования. Фактором, оказывающим существенное влияние на количество и загрязненность сточных вод, является качество используемой природной воды.

Сточные воды всех перечисленных выше систем ТЭС, кроме системы охлаждения, относятся к категории стоков, подлежащих очистке, которая обязательно предусматривается при проектировании электростанции. Сточные же воды системы охлаждения относятся к стокам, не требующим очистки. Обычно их называют нормативно-чистыми, но их температура на 8–12 °С выше, чем у природной воды.

Воздействие подогретых вод ТЭС на водные объекты совместного пользования неоднозначно. Оно может иметь как положительные, так и отрицательные последствия, хотя в научной литературе в основном подчеркиваются негативные экологические последствия подогрева.

Среди положительных воздействий на термический, гидрохимический и биологический режимы водоемов отмечаются видовое обогащение состава гидробионтов; продвижение на север представителей теплолюбивой фауны и флоры; увеличение развития кормовых объектов для рыб; ускорение процессов минерализации; повышение фотосинтетической деятельности водорослей, особенно зимой; предотвращение зимних заморов рыбы; удлинение вегетационного периода, ускорение полового созревания водных животных и др.

Подогрев может привести к значительному развитию в водных объектах отдельных организмов, избыток которых вызывает ряд неблагоприятных последствий, ухудшая санитарные и технические качества воды. Повышение температуры воды в водоеме одновременно с загрязнением его бытовыми и производственными стоками угнетает развитие водных животных, в том числе и рыб; кроме того, это способствует ухудшению органолептических свойств воды, используемой для хозяйственно-питьевого водоснабжения, и т. д.

Все остальные системы тепловой электростанции, как уже отмечалось, сбрасывают сточные воды, требующие очистки.

Загрязнение воды нефтепродуктами на ТЭС происходит при эксплуатации и ремонте мазутного хозяйства вследствие утечек трансформаторного масла, утечек турбинного масла при ремонте оборудования, аварийной утечки и разлива масла и мазута, при охлаждении подшипников различных вращающихся механизмов. Концентрация нефтепродуктов в сточных водах ТЭС в среднем равна 100 мг/л.

Сточные воды ВПУ образуются при проведении операций промывки механических фильтров, регенерации ионитных фильтров, продувки осветителей, смыва целлюлозы, а также за счет дренажей реагентного хозяйства, утечек воды через неплотности арматуры и т. п. Они содержат механические примеси, растворенные соли кислоты, щелочи и др. Соле содержание сточных вод ВПУ колеблется в широких пределах и достигает 20–30 г/л. Значение рН этих сточных вод изменяется от 1 до 13.

На большинстве ТЭС удаление золы и шлака из котельной в золоотвал осуществляется гидравлическим способом. При этом твердые вещества выпадают в золоотвале в осадок, осветленная вода в разомкнутых (прямоточных) системах сбрасывается в водоем, в замкнутых (оборотных) – возвращается обратно на ТЭС для повторного использования в системе ГЗУ. Осветленные воды золоотвалов содержат гидрооксид кальция, сернистую и серную кислоты, а также фтор, мышьяк, ванадий, ртуть и другие токсичные элементы.

В процессе эксплуатации парогенераторов образуются отложения на конвективных поверхностях нагрева котлов и регенеративных воздухоподогревателей. Это приводит к росту сопротивления газового тракта парогенератора и повышению температуры уходящих газов. В связи с этим возникает необходимость в обмывке хвостовых поверхностей нагрева водой. При обмывке РВИ парогенераторов, работающих на сернистом мазуте, сточные воды содержат серную кислоту в концентрации до 0,5 % и токсичные соединения – ванадий, никель, медь; при обмывке хвостовых поверхностей нагрева парогенераторов, сжигающих твердое топливо, стоки в зависимости от характеристики топлива содержат механические примеси, растворенные соли, фтор, мышьяк и другие загрязнители.

На ТЭС, работающих на органическом топливе, сточные воды появляются при химических промывках основного оборудования, которые необходимы для поддержания чистоты внутренних поверхностей нагрева парогенераторов и трубных систем теплообменных аппаратов, а также при консервации теплоэнергетического оборудования для его защиты от коррозии в периоды остановок. Эти сточные воды носят «залповый» характер и отличаются большим разнообразием содержащихся в них веществ, что зависит от технологии промывок: органические и минеральные кислоты гидразин, поверхностно-активные вещества и т. п.

К сточным водам АЭС, которые отводятся в водные объекты, относятся сточные воды систем охлаждения и водоподготовки. На АЭС имеются также замасленные стоки.

В отличие от ТЭС на органическом топливе в процессе работы атомных электростанций в результате эксплуатации или ремонта реактора образуются жидкие радиоактивные отходы. Эти отходы не сбрасываются в водные объекты. Они подвергаются обработке, очистке, после чего сточная вода используется повторно, а концентрированные жидкие радиоактивные отходы поступают в специальные хранилища – бетонные емкости, облицованные нержавеющей сталью.

Жидкие радиоактивные отходы представляют собой в основном остатки из выпарных аппаратов с солесодержанием примерно 300 г/л и пульпы фильтроматериалов и ионообменных смол. Источник этих пульп – намывные механические и ионообменные фильтры очистки контурной воды, конденсаторов и др.

В водные объекты могут сбрасываться только очищенные, так называемые дебалансные радиоактивные сточные воды, которые появляются при переполнении емкостей для хранения очищенных вод. Удельная активность сбросных дебалансных сточных вод мала. Она не превышает допустимой концентрации для питьевой воды, установленной действующим санитарным законодательством. Обусловлена эта активность тритием, попадающим в жидкие отходы из реактора, и небольшим количеством радионуклидов, не уловленных системой водоочистки.

Специфичными для АЭС являются также радиоактивные душевые воды, которые сбрасываются непосредственно в канализацию без очистки, т. к. их удельная активность не превышает установленного предела.

Таким образом, часть воды, используемой атомными электростанциями, загрязняется химическими примесями и радиоактивными веществами, которые совместно с подогревом воды могут представлять экологическую опасность для водных объектов.

В связи с этим изучение поведения радионуклидов в водохранилищах-охладителях АЭС представляет большой интерес и имеет важное практическое значение. Результаты таких исследований являются информационной базой для нормирования поступления радиоактивных веществ в водоемы.

На основании результатов рассмотренных выше исследований сформулировано важное эмпирическое обобщение: природную среду нельзя рассматривать в качестве пассивного разбавителя поступающих в нее радионуклидов. В силу структурно-функциональных особенностей и физико-химических свойств природные экосистемы способны вовлекать радиоактивные вещества в биогеохимические циклы миграции, в результате чего концентрации радионуклидов и соответственно дозовые нагрузки облучения в отдельных звеньях экосистем могут достигать высоких значений. Эти особенности следует учитывать при нормировании и прогнозировании содержания радионуклидов в компонентах экосистем водоемов.

2.3.2. Анализ санитарных и природозащитных требований к тепловым электростанциям по охране водных объектов совместного пользования от загрязнения

Способы охраны водных объектов от загрязнения сточными водами тепловых электростанций (ГРЭС, ТЭЦ, АЭС) зависят от количества и качества этих вод в каждой технологической системе ТЭС, поэтому вопросы водоохраны рассматриваются по каждой технологической системе отдельно.

Водоохранные мероприятия, определяющие необходимую степень очистки сточных вод, предусматриваются в зависимости от предельно допустимых концентраций лимитированных вредных веществ в воде водных объектов (ПДК), которые соответствуют принятому уровню гигиенических и гидрологических оценок возможного отрицательного воздействия загрязненной воды на человека и экологические системы водоемов. В то же время ПДК определяют уровень затрат на обеспечение нормативного качества воды в водоемах.

В настоящее время действуют «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Правила требуют соблюдения нормативных показателей качества воды в зонах водопользования, но не для всех видов водопользования.

В связи с тем, что сброс загрязнений производится не всегда в зону водопользования, а расчеты, основанные на том, что сбросные сточные воды разбавляются чистой водой, не всегда соответствуют действительному положению вещей из-за неучета загрязнений, поступающих в водоем в рассеянном виде, предлагается дополнить нормативы качества воды в ПДК нормативами качества в предельно допустимых сбросах (ПДС).

Предлагается дополнить нормативы качества воды экологическими нормативами (ПДЭ), которые следует разработать для разнотипных водоемов в различных физико-географических условиях. В основу разработки этих нормативов должен лечь принцип экологического равновесия в водоеме.

Во многих странах ограничивается повышение температуры воды в результате сброса в водные объекты подогретых вод. Летняя температура воды после сброса сточных вод должна повышаться не более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года в пунктах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. При использовании водных

объектов для рыбохозяйственных целей температура воды должна повышаться по сравнению с естественной не более чем на 5 °С при общем ее повышении не более чем до 20 °С летом и 5 °С зимой для водоемов, в которых обитают холодноводные рыбы (лососевые и сиговые), и не более чем до 28 °С летом и 8 °С зимой для остальных водоемов.

2.3.3. Водоохранные сооружения на тепловых электростанциях

В зависимости от способа извлечения загрязняющих веществ из сточных вод водоохранные очистные сооружения делятся на три класса:

- сооружения механической очистки;
- сооружения физико-химической очистки;
- сооружения биологической очистки.

Большинство тепловых электростанций оборудовано сооружениями механической очистки: отстойниками, нефтеловушками, флотаторами, механическими и угольными фильтрами. Многие ТЭС имеют шламоотвалы или шламонакопители, некоторые ТЭС – пруды-отстойники и др. На отдельных ТЭС установлено усовершенствованное оборудование механической очистки.

Сооружения механической очистки сточных вод имеются почти на всех работающих АЭС.

Основным оборудованием для физико-химической очистки на тепловых электростанциях являются баки-нейтрализаторы.

Сооружения биологической очистки действуют на гидроэлектростанциях (для очистки хозяйственно-бытовых стоков) и конденсационных электростанциях. Теплоэлектроцентрали, как правило, расположенные на территории городской застройки, часто по согласованию с санитарно-эпидемиологической службой и другими контролирующими органами сбрасывают свои хозяйственно-бытовые стоки в городскую канализацию.

Из сооружений биологической очистки на электростанциях наибольшее распространение получили решетки, песколовки, отстойники, биофильтры, аэрофильтры, емкости для хлорирования, иловые площадки. На ряде электростанций имеются контактные фильтры; разные виды отстойников – контактные, двухъярусные, вертикальные; аэротенки; септики и др. Почти все действующие атомные электростанции оборудованы сооружениями биологической очистки сле-

дующего состава: песколовки, аэрофилтры, отстойники, контактные фильтры.

Однако действующие водоохранные сооружения и оборудование не обеспечивает защиту водных объектов от загрязнения в полном объеме. Поэтому необходимы разработка, создание и внедрение качественно нового водоохранного оборудования, отвечающего современным экологическим требованиям и конкурентоспособного, а также поддержание высоких технических характеристик при организации производства этого оборудования.

2.3.4. Пути снижения отрицательного воздействия ТЭС на качественное состояние водных объектов

Для сокращения объема продувочных вод систем охлаждения внедряется технология обработки подпиточной воды с кратностями упаривания до 10 (капельный унос до 0,075 %).

Решена проблема предотвращения сброса нефтесодержащих сточных вод (за исключением загрязнения охлаждающих вод маслоохладителей). Хорошим сорбентом для установок по очистке нефтесодержащих стоков является полукочек канско-ачинских углей.

Одним из путей снижения количества сточных вод ВПУ является уменьшение пароводяных потерь, которые на многих ТЭС в 1,5–2 раза превышают нормативные.

Качественно новыми методами совершенствования ВПУ являются методы обессоливания подпиточной воды системы водоподготовки без применения реагентов. Разработка и внедрение этих методов обеспечат существенное сокращение объема минерализованных сточных вод ВПУ, а в последующем и переход к бессточной технологии водоподготовки.

Для исключения поступления в водные объекты загрязнений из систем гидрозолоудаления необходимы перевод всех прямоточных ГЗУ на замкнутый цикл и обеспечение бессточного режима работы оборотных систем ГЗУ.

Радикальными считаются предложения по переходу на сбор сухой золы в пределах ГРЭС посредством аэрожелобов. В этом случае собранная сухая зола частично отправляется потребителю. Остальная в виде пульпы подается в золоотвал.

Метод сухого складирования золы применим для нецементирующейся золы экибастузских, кузнецких углей.

Другим способом сухого складирования является способ с предварительной грануляцией золы, пригодный для видов топлива, зола

которых обладает цементирующими свойствами. Он состоит в том, что сухая зола, уловленная электрофильтрами, направляется на окомкование. Окомкование заключается в увлажнении сухой золы в смесителях, грануляции на грануляторах и выдержке гранул на промежуточном складе, где образуются зольные окатыши, которые затем по канатной дороге попадают в сухой отвал. Предварительное окомкование золы создает предпосылки для расширения ее использования в народном хозяйстве.

2.4. Охрана земельных ресурсов

2.4.1. Общие положения

Охрана земельных ресурсов регламентируется «Основами земельного законодательства. При строительстве объектов электроэнергетики охрана земельных ресурсов должна осуществляться в различных направлениях. Это прежде всего выбор состава генерирующих мощностей электростанций и мест их размещения с минимумом ущерба земельным, особенно сельскохозяйственным, угодьям; включение в проектно-сметную документацию компенсирующих мероприятий, связанных с изъятием и ухудшением качества земель и лесных площадей; защита земель, отводимых под строительство, от стихийных бедствий – наводнений, селей, эрозионных процессов, при строительстве гидроэлектростанций и создании их водохранилищ защита от затоплений, подтоплений и обрушений берегов; рекультивация земель, временно отведенных под сооружения электроэнергетических объектов и объектов, отработавших свой нормативный срок.

2.4.2. Компенсация изымаемых земель

Компенсация земель, отводимых под строительство объектов электроэнергетики, является одной из важных составляющих восстановления сельскохозяйственного фонда.

В соответствии со статьей 19 «Основ земельного законодательства» изъятие сельскохозяйственных земель под строительство промышленных объектов (в том числе объектов электроэнергетики) должно быть компенсировано освоением равновеликой площади новых земель с проведением на них соответствующих работ по окультуриванию и повышению плодородия. При отводе земель под объекты электроэнергетики такая компенсация, как правило, предусматривается в соответствующих проектах.

Основная часть площади земель, используемых электроэнергетикой (свыше 95 %), отводится под строительство гидроэлектростанций и их водохранилищ.

В состав компенсационных мероприятий, как правило, входят: освоение новых земель – целинных, залежных, неудобий, из-под леса и кустарника, малопродуктивных выгонов и сенокосов, орошение и осушение используемых земель и т. п. Практика проведения работ по компенсации земель в разных регионах страны осуществляется по-разному в зависимости от местных природных и хозяйственных условий. В лесной и особенно в таежной зоне это, как правило, освоение земель из-под леса. В лесостепной и степной зонах основным мероприятием является мелиорация используемых в хозяйстве земель, поскольку свободных земельных фондов, пригодных под сельскохозяйственные угодья, здесь очень мало. В районах орошаемого земледелия изымаемые земли компенсируются преимущественно орошением новых участков или повышением водообеспеченности имеющихся орошаемых площадей.

2.4.3. Защита земель

При строительстве электростанций всех типов в проектах в случае необходимости предусматриваются мероприятия по защите земель от селей, эрозии, оползней и других неблагоприятных процессов. Инженерная защита получила наибольшее распространение у нас в стране при сооружении гидроэлектростанций и создании их водохранилищ. При этом предусматривается защита земель от затопления, подтопления и переработки берегов в зоне водохранилища и в нижнем бьефе гидроузла. К основным видам работ по инженерной защите земель относятся: обвалование территорий (с одновременным отводом с нее поверхностных и снижением уровня грунтовых вод), укрепление естественных берегов и откосов земляных сооружений, подсыпка или намыв берегов, строительство волноломных и волноотбойных сооружений, дренаж подтопляемых территорий и некоторые другие работы. Наиболее часто инженерная защита проводится на территориях, где находятся города и поселки, также отдельно расположенные промышленные предприятия. Применяется защита территорий, на которых кроме населенных пунктов и промышленных предприятий имеются и сельскохозяйственные угодья.

Затраты на защитные мероприятия нередко составляют значительную долю общей стоимости строительства гидроэлектростанции.

Важной задачей является, с одной стороны, найти более экономичные инженерные решения защиты сельскохозяйственных земель, а с другой – более эффективно их использовать.

2.4.4. Рекультивация земель

Сельскохозяйственные земли, которые были отведены временно под строительство электроэнергетических объектов, должны быть рекультивированы, т. е. возвращены в сельскохозяйственное производство и рациональное использование снятого с отводимой территории плодородного слоя почвы.

Рекультивация земель должна производиться за счет владельцев предприятий, временно использующих эти земли. Рекультивация осуществляется на землях, отведенных под временные дороги, карьеры, здания и сооружения, необходимость в которых по завершении строительства отпала. Кроме того, рекультивации подлежат территории золоотвалов ТЭС, отработавших свой срок, а также площадки других демонтируемых объектов.

В состав работ по рекультивации кроме разборки зданий и сооружений и их удаления входят засыпка и планировка территории, нанесение на нее плодородного почвенного слоя, распашка и боронование, внесение удобрений и другие работы, создающие возможность использования земли для сельскохозяйственного производства.

При сооружении промышленных объектов (в том числе и электроэнергетики), связанных с нарушением почвенного покрова, строительные организации обязаны снимать и хранить плодородный слой почвы, чтобы его можно было использовать для рекультивации земель и нанесения при экономической целесообразности на малопродуктивные угодья.

Если работы по рекультивации земель на объектах электроэнергетики в определенных объемах систематически ведутся, то снятие плодородного слоя пока осуществляется в единичных случаях и в самых минимальных размерах.

Нанесение плодородного слоя почвы на малопродуктивные угодья может быть одним из способов восстановления изымаемых сельскохозяйственных угодий. В этом случае возмещение потерь сельскохозяйственных земель может не производиться.

По объектам электроэнергетики кроме гидроэлектростанций, по которым данные отсутствуют, за пятилетку 1981–1985 гг. было рекультивировано около 3,5 тыс. га земель в основном в Центральном районе России, в Украине и в Казахстане.

Предполагалось, что в 12-й пятилетке рекультивация могла быть выполнена на площади около 6 тыс. га, из которых половина приходится на гидроэлектростанции. В перспективе рекультивация может быть доведена до 8 тыс. га, из которых почти половина будет приходиться на гидроэлектростанции. Конечно, эта площадь рекультивации невелика, однако, учитывая многолетний опыт работ, она может рассматриваться как реально выполняемая.

2.4.5. Защита земель от пыления золоотвалов ТЭС

Золоотвалы ТЭС являются источниками загрязнения окружающей среды, в частности почвы, пылевыми выбросами.

Летучая зола отличается повышенным абразивным воздействием на механизмы и силикозным – на организм человека из-за большого количества диоксида кремния. Пыление вызывает снижение продуктивности сельскохозяйственных полей, сокращение ресурса механизмов, работающих в зоне запыленности, и ухудшает санитарное состояние территории, что негативно влияет на здоровье человека.

Особенно неблагоприятно проявляется пыление золоотвалов в районах с большими скоростями ветра. В этих условиях золоотвал может послужить источником загрязнения территории площадью в несколько сот квадратных километров. По этим причинам мероприятия, направленные на уменьшение и нейтрализацию вредного воздействия пыления золоотвалов, важнейшие при их эксплуатации.

Имеются различные способы пылеподавления золоотвалов: увлажнение их поверхности. На золоотвалах устраивают дождевание. В особо тяжелых случаях предпринимаются попытки поддержания в секциях золоотвалов более высокого уровня воды путем подачи в них осветленной воды или части пульпы. Когда обводнение золоотвала невозможно, его засыпают привозным грунтом. Консервация, включающая отсыпку растительного слоя земли, посев смеси луговых трав, подкормку минеральными удобрениями и полив в течение 2 лет до образования сомкнутого травяного покрова.

2.5. Защита от радиации

2.5.1. Снятие с эксплуатации и демонтаж АЭС

Срок эксплуатации современной атомной электростанции около 30 лет. Поэтому во всем мире встанет вопрос о крупномасштабном выводе АЭС из эксплуатации.

Снятие ядерных установок с эксплуатации – это большой комплекс научных и технических проблем, среди которых важнейшей является обеспечение радиационной безопасности этих работ. Технические решения должны обеспечивать безопасные дозовые нагрузки на персонал, занятый на этих работах: предотвращение отрицательного воздействия вывода АЭС из эксплуатации на население и окружающую среду; разработку устройств и оборудования для соблюдения максимальной радиационной безопасности таких операций.

Исходя из условия создания наибольшей радиационной безопасности, Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) рекомендует три основных варианта вывода АЭС из эксплуатации: хранение остановленного объекта под контролем, частичный демонтаж оборудования с ограниченным использованием промышленной площадки и, наконец, полный демонтаж предприятия. Во всех трех случаях имеется в виду, что ядерное топливо из реакторов будет предварительно удалено.

Первый вариант предусматривает снижение уровня радиоактивности реактора вследствие естественного распада радиоизотопов. Основным преимуществом такого отсроченного демонтажа реактора является значительное уменьшение доз облучения персонала при его проведении. Согласно расчетам отсрочка демонтажа на 10 лет уменьшает общую дозу облучения приблизительно в 40 раз, на 30 лет – более чем в 60 раз. При этом варианте после выгрузки ядерного топлива корпус реактора остается в том же состоянии, в каком он был в процессе эксплуатации, но все отверстия в корпусе закрываются и герметизируются. Внешняя противоаварийная оболочка реактора сохраняется в нетронутом виде. АЭС находится под непрерывным наблюдением и контролем. Недостаток состоит в необходимости постоянного радиометрического контроля за законсервированным предприятием.

Во втором случае оборудование, имеющее низкий уровень радиоактивности, демонтируется. Все жидкие теплоносители и некоторые, ставшие радиоактивными, материалы удаляются. Оборудование, имеющее высокий уровень радиоактивного загрязнения или наведенной активности, остается на месте и герметизируется в специальных сооружениях, где оно должно находиться до тех пор, пока его активность в результате естественного радиоактивного распада не снизится до безопасного уровня. Этот вариант не может быть использован для вывода из эксплуатации реакторов большой мощности, находившихся в эксплуатации 30–40 лет. В таких реакторах в результате нейтронной

активизации накапливаются значительные количества долгоживущих радиоизотопов. Подобные реакторы должны выводиться из эксплуатации путем их демонтажа.

Третий вариант предполагает полное удаление всех радиоактивных материалов с территории электростанции после ее остановки. Оборудование, активность которого после дезактивации остается выше допустимого уровня, демонтируется. При необходимости крупные узлы оборудования должны быть разрезаны, после чего упакованы и транспортированы в хранилища. Во всех оставшихся зонах АЭС радиоактивное загрязнение должно быть снижено до уровня, при котором разрешается неограниченное использование территории. Площадка и другое остающееся оборудование и материалы могут быть переданы для других целей без каких-либо ограничений в отношении радиологической опасности. Недостатками этого варианта являются более высокие дозы облучения персонала, занятого демонтажем, и потребность в больших площадях для размещения всех видов радиоактивных отходов.

Стоимость полного демонтажа ядерной установки по зарубежным источникам колеблется в пределах 10–35 % капиталовложений на ее строительство, а по отдельным источникам и более.

Имеющийся мировой опыт показывает, что вывод АЭС из эксплуатации – сложный и продолжительный процесс, требующий разработки и изготовления специального оборудования, длительной подготовки и значительных трудовых и материальных ресурсов.

2.5.2. Хранение и захоронение отходов атомных электростанций

Создание ядерной энергетики породило сложные проблемы хранения и захоронения радиоактивных отходов. Сложность этих проблем прежде всего связана с необходимостью обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами.

При эксплуатации АЭС образуется три основных типа радиоактивных отходов: отработавшее топливо, отходы эксплуатации реакторов, отходы демонтажа.

Отработавшее ядерное топливо представляет собой спрессованные спеченные таблетки диоксида урана, заключенные в герметичную оболочку – твэлы, которые связаны решетками, образующими тепловыделяющую сборку (ТВС). Радиоактивность отработавших ТВС очень высокая.

Отходы эксплуатации реакторов включают: отходы очистки теплоносителя от радиоактивности, отходы при технологическом обслуживании и ремонте реакторов и регулирующие стержни.

О количестве радиоактивных отходов можно судить по следующим цифрам: по прогнозу МАГАТЭ только общая масса отходов отработавшего топлива в странах мира к 2000 г. достигнет 200 тыс. т. В то же время переработано будет не более 1/4 этого количества топлива, все остальное должно храниться и захораниваться.

При сооружении первых АЭС при них создавались бассейны для хранения отработавшего топлива, рассчитанные на выдержку в них топлива в течение 2–3 лет, после чего предполагалось, что оно будет доставляться на перерабатывающий завод. Однако в большинстве стран первоначальные программы по переработке топлива были отложены и возникли проблемы безопасного хранения топлива на самих АЭС и создания централизованных долговременных хранилищ.

В первые годы использования ядерной энергии обработке отходов уделялось мало времени. Низко- и среднеактивные отходы обычно захоранивались в поверхностных слоях земли после минимальной предварительной обработки. Некоторые страны сбрасывали такие отходы в море. Высокоактивные жидкие отходы хранились обычно в больших емкостях, изготовленных из углеродистой или нержавеющей стали, которые размещали на уровне и немного ниже уровня земли. С начала 70-х годов по методам обращения с радиоактивными отходами стали проводиться значительные исследования. Эти исследования были направлены на создание методов обработки и захоронения высокоактивных отходов, поскольку они содержат значительную часть общей активности. Большое внимание было уделено изучению методов перевода жидких высокоактивных отходов в твердые формы, сводящие к минимуму возможность рассеяния их при транспортировке, хранении и захоронении. Отверждение высокоактивных отходов считается основным методом подготовки их к захоронению. Разрабатываются три способа отверждения: кальцинация, остекловывание и включение в металлические матрицы.

В связи с образованием больших объемов низкоактивных жидких и твердых отходов на АЭС также потребовалось быстрое расширение исследований. Главное внимание уделяется обработке низкоактивных отходов для уменьшения их объемов.

Проблему хранения отработавшего топлива можно решать несколькими путями. Первый путь – расширить вместимость существ-

вующих приреакторных бассейнов за счет использования компактных стеллажей, двойных ярусов и уплотнения стержней.

Другим перспективным решением проблемы промежуточного хранения ТВС на АЭС является повышение вместимости бассейна выдержки посредством введения поглощающих материалов. Вместимость бассейна выдержки при этом возрастает в 2–3 раза. В оболочках из циркония и нержавеющей стали топливо может храниться в бассейнах выдержки более 20 лет.

Другим методом хранения отработавшего топлива является его сухое хранение в специально сооруженном хранилище. Такое, как считают специалисты, надежное хранение возможно в воздушной среде, в инертном газе или в диоксиде углерода.

Исследования показали, что этот метод как с технической, так и с экономической точки зрения может конкурировать с технологией хранения топлива в водных бассейнах и с другими методами сухого хранения.

Проблемы широкого захоронения радиоактивных отходов, отработавшего ядерного топлива связаны с высоким остаточным тепловыделением. Наличие в их составе долгоживущих радионуклидов и трансурановых элементов требует изоляции ядерных отходов на десятки тысяч лет. Критерием достаточности хранения отходов является уровень их активности, сравнимый с содержанием естественно-радиоактивных нуклидов в горных породах. В первый год хранения отходов высокой активности их радиационная опасность обусловлена преимущественно долгоживущими продуктами деления стронция и цезия. В дальнейшем уже доминируют изотопы америция, а затем плутония.

При условии объединения АЭС, радиохимического завода с установками для переработки отходов высокой активности и «могильника» может быть устранен радиационный риск для населения, связанный с перевозкой отработавшего топлива и отходов высокой активности. Для размещения АЭС и захоронения отходов высокой активности на дне и под дном океана могут быть использованы искусственные острова.

Проблемы широкого захоронения радиоактивных отходов находятся только на стадии изучения. Имеющийся опыт еще недостаточен для решения всех вопросов, связанных с крупномасштабным хранением и захоронением отходов ядерных установок. Необходимы постановка широкого круга исследований, экспериментальных работ

и практическое применение разработанных методов, чтобы отобрать наиболее надежные из них с целью обезопасить население и окружающую природную среду от вредного воздействия радиоактивных отходов всех категорий.

2.6. Защита от воздействия электромагнитных полей

Для обеспечения экологической безопасности ВЛ 500 кВ и выше в соответствии с требованиями Санитарных норм и правил [73] предусматриваются соответствующие расстояния от проводов до земли (габариты). Так, для ВЛ 1150 кВ, исходя из допустимой напряженности электрического поля под проводами в ненаселенной местности не более 15 кВ/м, минимальный габарит от проводов до земли принят 17,5 м, в то время как по электрической прочности воздушного промежутка между проводом и землей этот габарит мог быть установлен около 11 м. Такое увеличение габарита от проводов до земли требует либо повышения опор на 5–6 м, либо сокращения длины пролетов ВЛ, что вызывает рост стоимости строительства ВЛ 750 и 1150 кВ на 3 и 5 %.

В стоимостных показателях ВЛ 750 кВ и выше удорожание строительства, вызванное необходимостью обеспечения экологической безопасности, учитывается автоматически.

Снижение напряженности электрического поля, воздействующего на персонал подстанций (ПС) 500 кВ и выше, достигается повышением габарита подвески проводов, выделением маршрутов обхода и экранированием рабочих мест, что также приводит к удорожанию строительства подстанций.

Площади земли, отводимые под электросетевые объекты в постоянное пользование в расчете на 1 км длины ВЛ и 1 МВ·А мощности ПС, определяются соответствующими проектами. Действуют укрупненные нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,4–500 кВ (СН 465-74).

На ВЛ в постоянное пользование отводится только площадь, занимаемая опорами, с учетом участка земли вокруг опор радиусом 2 м. Средние удельные значения площади земли, отводимые в постоянное пользование для ВЛ, составляют:

Таблица 2.1

Напряжение ВЛ, кВ	Площадь, м ² /км
500	700–800
750	1700–1800
1150 и 1500	3500–4500

При существующих ценах на рекультивацию изымаемых земель затраты на отчуждение земли в постоянное пользование оказываются весьма незначительными (около 1,5 % стоимости строительства ВЛ).

Согласно данным СН 465–74 для ПС 500 кВ с развитой схемой (10 ячеек в ОРУ 500 кВ) отводимая площадь составляет 18 га. Ее размер уточняется по фактическим площадям проектируемых подстанций с учетом состава сооружений и конструктивного выполнения отдельных элементов ПС.

После освоения и широкого применения компактного элегазового оборудования для распределительных устройств на ПС 500, 750 и 1150 кВ площади этих подстанций могут уменьшиться на 30–40 %.

Площадь ПС 1150 кВ с применением обычного оборудования достигает 46,5 га, а с применением элегазовых комплектных устройств (КРУЭ) снижается до 27 га.

Стоимость освоения новых сельскохозяйственных земель взамен изымаемых в постоянное пользование для строительства ВЛ и ПС напряжением 500 кВ и выше в настоящее время принимается по республиканским нормативами.

При строительстве ВЛ на ценных сельскохозяйственных землях, а также в районах тундры и в других аналогичных условиях необходимо максимально использовать для транспортирования материалов и конструкций, а также для проезда и производства работ на трассе вертолеты, транспортные средства на воздушной подушке и другие машины и механизмы, чтобы свести до минимума погрешности (повреждения растительности и грунта). С той же целью, когда это экономически обосновано, следует более широко использовать фундаменты, не требующие разработки котлованов: винтовые анкеры, сваи, поверхностные фундаменты и т. п.

При проектировании ВЛ в ценных лесных насаждениях (парки, заповедники, охранные зоны и т. п.) следует предусматривать минимальную ширину просек (вырубку) и рекультивацию земли (корчевку пней и планировку) на всей площади просек. С той же целью в этих

условиях следует более широко применять многоцепные и компактные ВЛ.

Для сокращения площади подстанций целесообразно устанавливать на них компактное элегазовое оборудование, распределительные устройства и шинопроводы, практиковать подземное расположение подстанций, а также применять блочные устройства.

Для защиты птиц от поражения электрическим током необходимо продолжить разработку и совершенствование различных конструкций птицевозащитных устройств на ВЛ 6–10 и 35–330 кВ.

Важным техническим средством, обеспечивающим безопасность работающих в полосе санитарно-защитной зоны ВЛ, является применение на всех машинах и транспортных средствах заземляющих устройств для снятия потенциала с машин и предотвращения опасных разрядов. Для обеспечения безопасности труда механизаторов открытые кабины и сидения тракторов, комбайнов, сеялок должны снабжаться навесами в виде козырьков и экранов из проводящего материала.

Хорошим средством оповещения являются широко используемые щиты-транспаранты, устанавливаемые вблизи границ санитарно-защитной зоны. Эти щиты, содержащие основные требования режима безопасности, особенно важны для лиц, случайно оказавшихся вблизи ВЛ.

Несмотря на то что габариты проводов ВЛ сверхвысокого напряжения определяются принятыми нормативами на напряженность электрического поля, в некоторых местах, например, над автодорогами или над плантациями культур, требующих длительной обработки, целесообразно применение экранов из заземленных тросов.

2.7. Утилизация отходов электростанций

2.7.1. Использование золошлаковых отходов ТЭС

Тепловые электростанции, работающие на твердом топливе, складировать свои золошлаковые отходы на специально построенных золоотвалах. Строительство золоотвалов требует значительных отводов земель. Золоотвалы представляют определенную опасность для окружающей природной среды, поскольку загрязняют почву, грунтовые воды в связи с пылением и инфильтрацией.

Утилизация золошлаковых отходов в народном хозяйстве – это важное природоохранное мероприятие, приносящее существенный экономический эффект.

Основные направления их использования: известкование кислых почв, добавки в бетоны и растворы, обвалование дамб золоотвалов.

В настоящее время имеются отработанные технологии использования золы и золошлаков для производства различных строительных материалов: бетонов, в том числе ячеистых, глиноземного керамзита, иглопористового гравия, шлакоблоков и др.

Для широкого вовлечения золошлаковых отходов в народнохозяйственный оборот на ТЭС необходимо развивать мощности для их отбора, для чего требуются соответствующие капиталовложения.

2.7.2. Утилизация минеральных солей

Необходимость в обессоливании стоков возникает тогда, когда концентрация солей в водном объекте, принимающем сточные воды ТЭС, близка к предельно допустимой. В таких условиях возможности разбавления, особенно в случае небольших водотоков, становятся ограниченными и возникает необходимость в полном обессоливании всех или части стоков и утилизации получаемых солей.

Основным принципом максимального сокращения количества стоков является их повторное использование или подача на другие технологические установки. Так, отработанный раствор соли предыдущей регенерации фильтров может быть использован для разрыхления катионитов следующей регенерации. При этом кроме уменьшения расхода воды достигается более полное использование соли.

Главной проблемой являются разработка эффективных схем обессоливания стоков и разделение многокомпонентных смесей.

Несмотря на то, что состав рассолов, образующихся в процессе упаривания сточных вод ТЭС, разнообразен и зависит от таких факторов, как качество воды в водоисточнике, способ ее обработки, вид сжигаемого топлива и др. В основе их находятся хлоридные и сульфатные соединения кальция, магния и натрия с примесью других элементов. Эти соли находят применение в разных отраслях промышленности (стекольной, фарфоровой, резиноасбестовой, строительных материалов и др.), а хлористый натрий (поваренная соль) может быть непосредственно использован на ТЭС для регенерации катионитовых фильтров. При непосредственном использовании выпарного хлористого натрия на ТЭС для регенерации катионитовых фильтров допустимая степень загрязнения его солью Na_2SO_4 может достигать 50 %, что существенно упрощает технологию разделения этих солей для данных целей.

Определение допустимой степени загрязнения основных утилизируемых солей побочными, упрощающее технологию их разделения, является важным моментом при их утилизации, т. к. для разделения многокомпонентных смесей с получением чистых продуктов требуется применение сложной технологии с фракционной кристаллизацией, дробным выделением некоторых компонентов в осадок и т. д. Понятно, что рентабельность такой сложной технологии в масштабах ТЭС требует доказательств.

Энергетических объектов, имеющих бессточную систему с выпаркой сточных вод до сухих солей не много. Это Северодонецкая ТЭЦ-2, имеющая бессточную схему с выпаркой сточных вод до сухих солей и их разделением с последующим использованием местной промышленностью, и Ферганская ТЭЦ-2 с запроектированной выпарной установкой, упаривающей сточную воду до сухих солей, которые предполагается складировать в нефильтрующем «могильнике».

Термообессоливающие установки более актуальны для черной металлургии, предприятия которой сбрасывают в водные объекты приблизительно в 5 раз больше солей, чем тепловые электростанции.

Утилизация минеральных солей теплоэнергетики в народном хозяйстве является сложной задачей, связанной со значительными материальными затратами, поэтому ее решение выходит за рамки отрасли.

Вопрос об утилизации солей следует решать с позиций экономической целесообразности. При этом необходимо определять, с одной стороны, рентабельность применения сложных технологий разделения многокомпонентных смесей в масштабах самих тепловых электростанций и целесообразность применения таких схем на конкретных ТЭС, с другой – выявлять круг предприятий, заинтересованных в утилизируемых продуктах, и их потребность, что позволит установить возможные объемы утилизации. Одновременно для решения данной задачи необходимо проводить исследования в направлении разработки эффективных схем обессоливания сточных вод с полной утилизацией сбрасываемых солей.

3. МАСШТАБЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

3.1. Общие положения

Масштабы воздействия объектов электроэнергетики на природную среду определяются для различных целей – от решения задач, связанных с проектированием отдельных объектов и обоснованием их эффективности, до оптимизации условий развития электроэнергетики и размещения ее основных объектов.

При проектировании конкретного объекта оценка масштабов его влияния на окружающую среду необходима для расчета и обоснования природоохранных мероприятий, экономической и экологической эффективности, т. е. оценивается, в какой мере проектируемый объект удовлетворяет санитарным требованиям, и, в первую очередь, нормативам по ПДК.

Оценки должны подтвердить (или опровергнуть) допустимость строительства объекта в данном районе с экологической точки зрения.

Для детальных объектных экологических обоснований требуются не только данные о рассматриваемом объекте, но также гидрологическая, топографическая, геологическая и экологическая характеристики площадки и района его размещения, показатель плотности населения, характеристики промышленного, сельского, коммунального хозяйств района и других внешних условий.

Экологические проблемы, связанные в основном с оптимизацией развития электроэнергетики, должны решаться с учетом необходимости обеспечения надежного и экономически эффективного энергоснабжения потребителей при удовлетворении высоких требований по охране окружающей среды при развитии электроэнергетики на достаточно продолжительный период времени (20–30 лет).

Основным методом решения такой задачи является сопоставление различных вариантов, каждый из которых обеспечивает полное удовлетворение всех нормативных требований по охране окружающей среды и размещается на территориях, где имеются соответствующие природные и экологические ресурсы.

Варианты развития электроэнергетики не исключают необходимости учета экологической составляющей воздействий на окружающую среду. Они могут различаться по количеству используемых зе-

мельных и водных ресурсов, масштабам загрязнения воздушного и водного бассейнов, воздействия на почвы, объекты народного хозяйства и т. д. Как правило, варианты будут различаться и размерами затрат на природоохранные мероприятия.

Очевидно, указанные различия вариантов по условиям воздействия на окружающую среду энергетических объектов должны учитываться при комплексном энергоэкономическом сопоставлении.

В то же время необходимо считаться с тем обстоятельством, что прогнозная оценка масштабов воздействия электроэнергетики на окружающую среду имеет свою специфику, связанную в первую очередь с тем, что при рассмотрении долгосрочной перспективы редко представляется возможность опираться на детальные проектные проработки по конкретным объектам электроэнергетики. Такие проработки по объектам возможного строительства в отдаленной перспективе, а тем более их экологическое обоснование и согласование, как правило, отсутствуют. В связи с этим возникает задача получения и использования укрупненных показателей и оценок. Для этого необходимы глубокий анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта, а также тенденций в развитии не только природоохранных технологий, но и природных и антропогенных процессов, формирующих экологическую обстановку в различных регионах.

Методы укрупненных оценок воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду, предназначенные в первую очередь для экологического сопоставления вариантов долгосрочного развития этой отрасли.

3.2. Выбросы вредных веществ в атмосферу

3.2.1. Общая характеристика

Среди большого числа загрязнителей воздуха (более 200) выделяются пять основных, на долю которых приходится 90–95 % валового выброса вредных веществ в различных регионах страны. К ним относятся: твердые частицы (пыль, зола); оксиды серы; оксиды азота; оксиды углерода; углеводороды. В электроэнергетике к основным загрязняющим атмосферу веществам относятся три первых.

Общий объем выбросов вредных веществ электростанциями бывшего СССР характеризуются данными таблицы 3.1.

Выбросы вредных веществ в атмосферу электростанциями, млн т

Виды выбросов	1980 г.	1985 г.	1990 г.
Выбросы в атмосферу, всего	19,3	17,88	13,5
В том числе:			
летучей золы	6,4	6,36	4,1
оксидов серы	10,6	9,11	6,7
оксидов азота	2,3	2,41	2,7

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу электростанциями за рассмотренный 10-летний период заметно снизилось, хотя выработка электроэнергии за тот же период возросла на 27 %.

Это снижение обеспечено за счет изменения структуры генерирующих мощностей, совершенствования систем золоочистки, увеличения доли используемого природного газа, уменьшения количества сжигаемого на электростанциях высокосернистого мазута и снижения средней сернистости углей.

Выбросы электроэнергетики достигают 1/3 общего количества вредных веществ, поступающих в атмосферу от стационарных источников.

Представление о соотношении природных и искусственных загрязнителей атмосферного воздуха дает таблица 3.2.

По уровню опасности основные выбросы электростанций относятся к III классу, т.е. не являются самыми опасными.

Наряду с рассмотренными выше основными загрязняющими атмосферу веществами в дымовых газах электростанций имеется некоторое количество еще более вредных, в том числе канцерогенных, веществ, относящихся к I классу опасности.

Установлено, что существенные количества – канцерогенных веществ образуются при слоевом сжигании топлива. Сжигание же топлива в пылеугольных топках снижает количество выбросов канцерогенных веществ на четыре порядка.

Бензапирен и другие канцерогенные вещества хоть и присутствуют в продуктах сгорания электростанций, но в таких небольших дозах, что определяют не более 3–4 % токсичности продуктов сгорания мощных ГРЭС.

Основные загрязнители атмосферного воздуха

Загрязнители	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе, мг/м ³	Химические процессы взаимодействия с окружающей средой	Воздействие на здоровье человека	Воздействие на окружающую среду
	природные	искусственные				
Твердые частицы (пыль, зола и др.)	Вулканические извержения, пылевые бури, лесные пожары, испарения морской соли и др. (около $3760 \cdot 10^6$ т/год – 94 % от общего количества)	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках (около $240 \cdot 10^6$ т/год – 6 %)	В городских районах 0,04–0,4	В зависимости от химического состава и размера частиц	Зависит от химического состава	Снижение солнечного освещения и видимости, увеличение облачности и туманности. Разрушение и загрязнение материалов. Возможное снижение температуры Земли в результате длительного воздействия
Сернистый ангидрид, SO ₂	Вулканические извержения, окисление серы и сульфатов, рассеянных в море (около $150 \cdot 10^6$ т/год – 70–50 % от общего количества)	Сжигание топлива, нефтепереработка, черная и цветная металлургия ($175 \text{--} 150 \cdot 10^6$ т/год – до 50 %)	В городских районах до 0,5–1	Атмосферное окисление до SO ₃ приводит к образованию тумана, содержащего пары H ₂ SO ₄	Заболевания дыхательных путей	Хроническое поражение растений, снижение урожайности в сельском хозяйстве, уничтожение лесов

Загрязнители	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе, мг/м ³	Химические процессы взаимодействия с окружающей средой	Воздействие на здоровье человека	Воздействие на окружающую среду
	природные	искусственные				
Оксиды азота NO _x	Лесные пожары (770·10 ⁶ т/год – около 93 % от общего количества)	Окисление атмосферного азота и азота топлива при высокой температуре – энергетика, промышленность, автомобили (около 55·10 ⁶ т/г – 7 %)	В районах с развитой промышленностью и автотранспортом – до 0,2, в других – до 0,05	В процессе горения образуется 95–100 % NO, который окисляется в атмосферном воздухе до NO ₂ атмосферным озоном. В выбросе отопительных установок, газовых турбин и дизелей – 70–90 % NO, 10–30 % NO ₂	Уменьшение содержания гемоглобина в крови	Поглощение солнечного света NO ₂ , образование коричневой дымки, которая является одним из главных компонентов фотохимических туманов – смогов. Разрушение ряда материалов, снижение урожайности в сельском хозяйстве, уничтожение лесов
Оксид углерода CO	Лесные пожары (11·10 ⁶ т/год), выделения океанов (10·10 ⁶ т/г), окисление терпенов (12·10 ⁶ т/год – 5–10 % от общего количества)	Неполное сгорание топлива (автомобили, промышленность до 250–350·10 ⁶ т/год – 90–95 %)	1–50 (в зависимости от интенсивности автотранспорта, близости металлургических производств)	Медленное окисление до CO ₂ в нижнем слое атмосферы. Химическая инертность по отношению к другим компонентам городской атмосферы	То же	Никакого воздействия на высшие растения при концентрации менее 1 мг/м ³

Загрязнители	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе, мг/м ³	Химические процессы взаимодействия с окружающей средой	Воздействие на здоровье человека	Воздействие на окружающую среду
	природные	искусственные				
Летучие углеводороды и их продукты	Лесные пожары, поступления природного метана (из почвы болот) и природных терпенов ($2600 \cdot 10^6$ т/год – 97 %)	Неполное сгорание органического топлива (автомобили), дожигание отходов, испарения растворителей и продуктов нефтепереработки ($80 \cdot 10^6$ т/год – 3 %)	В районах с развитым автотранспортом и промышленностью – до 3	Реакция СО и О ₃ с образованием альдегидов, кислот и других соединений	Раздражающее действие некоторых продуктов окисления углеводородов (альдегидов) на глаза и дыхательные пути	Поражение растений некоторыми соединениями при концентрации выше 0,02 мг/м ³ . Понижение видимости; частое появление запаха
Полициклические ароматические углеводороды	–	Неполное сгорание органического топлива в стационарных установках и двигателях автомобилей и самолетов, выбросы химических, металлургических, нефтеперерабатывающих и асфальтобетонных заводов (100 %)	Вблизи асфальтобетонных заводов и при сжигании твердого топлива в слое – до 0,01	Нет данных	Понижение видимости, поражение ряда растений; некоторые углеводороды могут вызывать заболевания раком	Нет данных

Строительство крупных ТЭС, сжигающих твердое топливо в пылеугольных топках или природный газ, способно существенным образом улучшить канцерогенную обстановку в населенных пунктах за счет отказа от большого числа мелких котельных, в выбросах которых на четыре порядка больше канцерогенных веществ, чем у крупных электростанций, тем более что и осуществляются эти выбросы через низкие трубы, не способствующие их достаточному рассеиванию.

При сгорании в топках котлов электростанций органического топлива образуются твердые и газообразные вредные вещества (так называемые «отходящие»), транспортируемые в составе дымовых газов по газоходам котла в дымовую трубу. Часть «отходящих» вредных компонентов поглощается другими составляющими дымовых газов (например, оксиды серы частично поглощаются золой) в котле и в процессе движения по газоходам. На выходе из дымовой трубы они улавливаются специальными устройствами, например золоуловителями. Все, что не поглощено и не уловлено, выбрасывается в атмосферу. Эти не уловленные и не поглощенные вредные вещества называются «вредными выбросами» или просто «выбросами».

Между количеством «отходящих» $M_{отх}$ и «выбросов» $M_{выб}$ существует следующая зависимость:

$$M_{выб} = 10^{-2} M_{отх} (100 - \eta); \quad (3.1)$$

$$\eta = 10^2 M_{ул} / M_{отх}, \quad (3.2)$$

где $M_{ул}$ – количество улавливаемых и обезвреживаемых вредных веществ; η – КПД улавливания, или количество улавливаемых и обезвреживаемых вредных веществ в отношении к общему количеству отходящих вредных веществ, %.

С дымовыми газами ТЭС в атмосферу поступает большое количество различных вредных веществ. Самая большая доля их приходится на золу (твердые частицы), оксиды серы и азота, выбросы которых нормируются и рассчитываются на перспективу.

Другие выбросы (СО и СО₂) не учитываются и не контролируются, т. к. в условиях нормальной эксплуатации монооксид углерода в выбросах ТЭС отсутствует. В связи с этим выбросы монооксида углерода не учитываются, как и выбросы диоксида СО₂, объем которого очень велик. Этот газ не токсичен и в природном цикле служит источником получения кислорода в процессе фотосинтеза растений.

Ученые ряда стран отмечают нарастание концентрации CO_2 в атмосферном воздухе, что, по-видимому, является результатом увеличения его выброса в связи с сжиганием все возрастающего количества органического топлива в мире, в том числе и на электростанциях, а также сокращения площади лесных массивов из-за интенсивной вырубки лесов во всех регионах Земли, и особенно в бассейне р. Амазонки, леса которого по праву считаются легкими планеты.

Повышение концентрации CO_2 в атмосфере планеты способно оказать глобальное влияние на климат планеты, создавая так называемый «парниковый эффект», ведущий к увеличению средней температуры воздуха, таянию ледников, повышению уровня мирового океана, затоплению обширных прибрежных районов Земли и другим неблагоприятным воздействиям.

При экологическом сопоставлении вариантов развития электроэнергетики следует учитывать, что при прочих равных условиях источники электроэнергии, сжигающие органические виды топлива и выбрасывающие большое количество CO_2 , имеют определенный минус по сравнению с электростанциями, принципиально не влияющими на создание «парникового эффекта». К их числу относятся в первую очередь гидроэлектростанции, а также АЭС и электростанций на альтернативных источниках.

Говоря о воздействии на температурные условия окружающей среды, уместно, по-видимому, остановиться на нарушениях теплового баланса в результате прямых выбросов теплоты, связанных с работой электростанций.

Практически вся тепловая энергия, выделяющаяся при использовании топлива (как органического, так и ядерного), идет на пополнение теплового баланса планеты и, естественно, баланса того локального района, в котором размещается электростанция.

При сжигании органического топлива в окружающую среду дополнительно поступает та тепловая энергия, которая была накоплена в нем за миллионы лет существования Земли. Дополнительное поступление теплоты в окружающую среду связано в первую очередь с несовершенством процесса преобразования тепловой энергии в электрическую (КПД преобразования для обычных ТЭС находится на уровне 35 %, а для АЭС 30 %). Имеют место тепловые потери в электрических сетях (8–10 %), потери в процессе преобразования электроэнергии в энергию механическую, тепловую и т. д.

Сравнивать воздействие различных источников электроэнергии на окружающую среду. Необходимо принимать во внимание только

тот прирост теплоты в общем тепловом балансе Земли или района, который связан с различными условиями использования первичных энергоресурсов.

В этом отношении наиболее чистыми источниками являются гидроэлектростанции, которые практически не влияют на тепловой баланс Земли. Они, по существу, позволяют полезно использовать только ту возобновляемую часть солнечной энергии, которая постоянно поступает на Землю и формирует ее естественный тепловой баланс.

При создании гидроэлектростанций значительная часть потенциальной энергии водотока превращается в электрическую энергию, которая полезно расходуется в народном хозяйстве. Коэффициент полезного действия ГЭС высок и находится на уровне 90–95 %.

Тепловая электростанция для производства такого же количества электроэнергии нуждается в использовании невозобновляемой энергии, накопленной в топливе, которая в меру своих масштабов нарушает тепловой баланс планеты.

Тепловой баланс АЭС складывается еще хуже. Полезно используемая энергия современных АЭС составляет только 1/3 энергии, выделяемой в результате ядерных реакций. Энергетический блок АЭС мощностью 1 млн кВт имеет тепловую мощность 3 млн кВт. Соответственно при развитии АЭС возрастают размеры поступления теплоты в баланс Земли и концентрировано в тепловой баланс района размещения АЭС.

Огромное количество сбросной тепловой энергии ТЭС и АЭС является потенциальным ресурсом для его полезного использования.

Надежные способы оценки реального вклада выбросов теплоты ТЭС и АЭС в глобальное потепление климата на Земле в настоящее время отсутствуют. Поэтому при сопоставлении вариантов развития электроэнергетики вклад электростанций в нарушение теплового баланса Земли можно учитывать только качественно, имея в виду, что практически чистыми в этом отношении являются только гидроэлектростанции, а из ТЭС и АЭС предпочтение по этому показателю должно отдаваться ТЭС на органических видах топлива.

3.2.2. Методы расчета выбросов вредных веществ в атмосферу

Количественное воздействие объектов электроэнергетики на воздушный бассейн при сопоставлении вариантов развития отрасли оценивается только по трем составляющим выбросов: твердым частицам (зола), оксидам серы и оксидам азота.

Размер выбросов указанных загрязнителей атмосферы зависит от следующих факторов:

- количества сжигаемого топлива;
- характеристик топлива, в частности его зольности и сернистости;
- технологических показателей сжигания топлива в котле;
- коэффициента полезного действия очистных сооружений.

Расчет выбросов вредных веществ в атмосферу в зависимости от задач исследования можно производить пообъектно (для каждой котельной установки отдельно) либо по всем электростанциям рассматриваемого района. В ряде случаев, когда детальные расчеты не требуются и когда отсутствуют исходные данные, необходимые для пообъектного расчета, что имеет место при разработке долгосрочных прогнозов, приходится пользоваться укрупненными методами и оценками.

Пообъектный и укрупненный методы расчета выбросов вредных веществ в атмосферу представлены в полном объеме в [4].

Укрупненные удельные показатели выбросов электростанций в атмосферу. Наиболее удобным показателем для укрупненных оценок является удельный выброс электростанций в атмосферу на 1 кВт·ч выработки электроэнергии или на 1 кВт мощности электростанций.

Удельные выбросы золы от сжигания твердого топлива, г/кВт·ч, могут быть вычислены по выражению

$$m_{\text{выб}}^3 = 3,3A^p(1 - \eta_3). \quad (3.3)$$

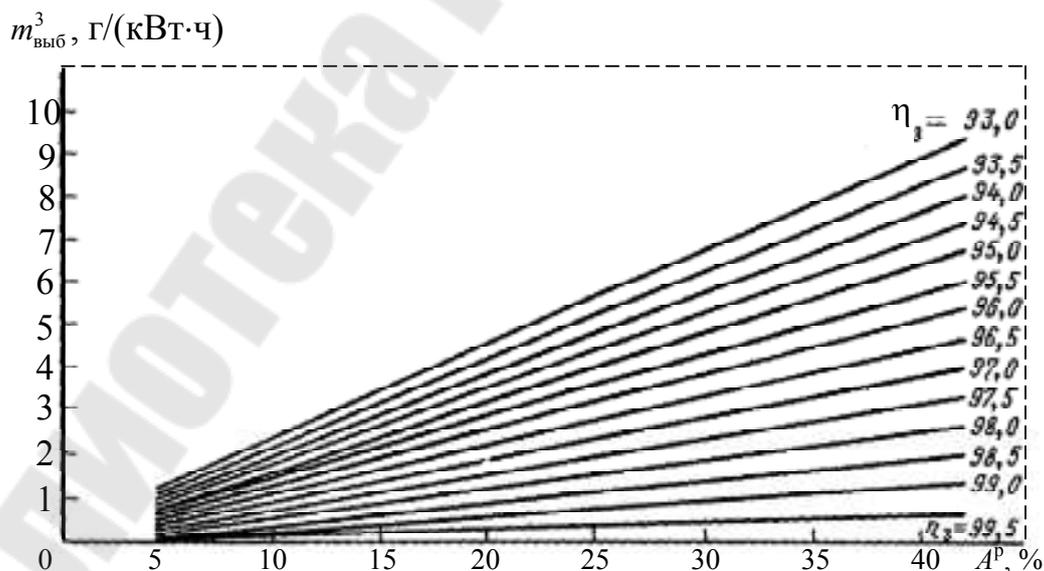


Рис. 3.1. Зависимость удельного выброса золы от зольности топлива (твердого)

В соответствии с этой зависимостью на рис. 3.1 представлено семейство кривых, позволяющих определить удельный выброс золы в зависимости от зольности топлива и КПД золоулавливания. Для удобства пользования указанными кривыми и зависимостями в таблице 3.3 приводятся показатели зольности натурального энергетического топлива, а для сопоставления и показатели зольности условного топлива.

Удельные годовые выбросы твердых частиц на 1 кВт установленной мощности электростанций могут определяться по формуле

$$m_{удN}^3 = m_{удЭ}^3 h, \quad (3.4)$$

где $m_{удЭ}^3$ – удельный выброс твердых частиц электростанции, г/кВт·ч; h – число часов использования установленной мощности электростанций.

Таблица 3.3

Сернистость топлива в расчете на натуральную и условную массу и его теплота сгорания

Бассейн, месторождение, топливо	$S_{нат}^p, \%$	$Q_n^p, \text{кДж/кг}$	$S_{усл}^p, \%$
Донецкий: АШ, АСШ	1,7	22567	2,2
ПАР	2,4	25246	2,8
ТР	2,8	24200	3,4
Ж, К, ОС	2,5	18003	4,1
ТР	3,2	22022	4,2
ДР	3,0	19594	4,5
Г	3,2	17543	5,3
ТР	0,4	26168	0,4
Кузнецкий: Ж, К, ОС	0,7	20934	1,0
Краснобродский, Красногорский,	0,3	24702	0,4
Листвянский	0,4	22567	0,5
Томь-Усинский	0,8	15868	1,5
Экибастузский	0,2	15659	0,4
Ирша-Бородинский	0,2	15659	0,4
Березовское	0,4	13021	0,9
Назаровское	0,4	12812	0,9
Итатское	0,8	21310	1,1

Бассейн, месторождение, топливо	$S_{\text{нат}}^p$, %	$Q_{\text{н}}^p$, кДж/кг	$S_{\text{усл}}^p$, %
Карагандинский, Р	2,7	10425	7,6
Подмосковный	0,9	16245	1,6
Карагандинский, К	1,0	13942	2,1
Челябинский	0,4	10383	1,1
Богословский	1,1	17878	1,8
Черемховское, Забитуйское	0,3	12477	0,7
Харанорское	3,6	21981	3,5
Волынское	6,1	19678	9,1
Кизеловское	8,4	15952	15,4
Ангренское	1,1	13816	2,3
Бикинское	0,3	9043	1,0
Воркутинское	0,8	23655	1,0
Сланец эстонский	1,6	9336	5,0
Торф	0,1	8122	0,4
Мазут	0,3	40277	0,2
	1,4	39733	1,0
	2,8	38770	2,1

Для ТЭС, сжигающих твердое топливо, число часов использования установленной мощности составляет в среднем 5500. Тогда годовые выбросы ТЭС на 1 кВт установленной мощности составят, г/кВт,

$$m_{\text{уд}N}^3 = m_{\text{уд}\Delta}^3 \cdot 5500. \quad (3.5)$$

Удельный выброс оксидов серы на конденсационных электростанциях (без сероочистки дымовых газов) зависит в основном от сернистости сжигаемого топлива, его калорийности и может быть укрупненно оценен по выражению, г/кВт·ч, или

$$m_{\text{уд}}^{\text{SO}_2} = 6S_{\text{усл}}^p, \quad (3.6)$$

или

$$m_{\text{уд}}^{\text{SO}_2} = 1,75 \cdot 10^5 S_{\text{нат}}^p / Q_{\text{н.нат}}^p, \quad (3.7)$$

где $S_{\text{усл}}^p$ – сернистость на рабочую массу условного топлива, %; $S_{\text{нат}}^p$ – сернистость натурального топлива, %; $Q_{\text{н.нат}}^p$ – теплота сгорания натурального топлива, кДж/кг.

При наличии установок, улавливающих серу в дымовых газах, выражение (3.6) превращается в следующее:

$$m_{\text{уд}}^{\text{SO}_2} = 6S_{\text{усл}}^p (1 - \eta_{\text{SO}_2}), \quad (3.8)$$

где η_{SO_2} – КПД сероочистки дымовых газов.

Удельные годовые выбросы диоксида серы на электростанции пересчитываются по формуле

$$m_{\text{уд}N}^{\text{SO}_2} = m_{\text{уд}Э}^{\text{SO}_2} h. \quad (3.9)$$

Число часов использования в этом случае может колебаться в более значительном диапазоне.

На газомазутных ТЭС, которые в какой-то пропорции сжигают газ и мазут, выбросы диоксида серы будут определяться количеством сжигаемого мазута, который в нашей стране, как правило, имеет достаточно высокую сернистость.

В перспективе доля мазута, сжигаемого на электростанциях, будет существенно сокращаться. Мазут по условиям топливного баланса страны будет заменяться газом, что, естественно, будет способствовать и улучшению экологической обстановки в районах газомазутных электростанций.

На ТЭС, сжигающих твердые топлива, мазут будет использоваться только в качестве резервного или растопочного топлива. Доля энергии, вырабатываемой на мазутном топливе, для таких ТЭС невелика.

На газомазутных электростанциях мазут будет сжигаться только в периоды пиковой нагрузки, когда газоснабжение не может быть обеспечено даже при наличии сезонных газохранилищ.

Обычно такие периоды составляют два-три зимних месяца, в связи с чем число часов использования мощности, при которой могут происходить выбросы диоксида серы на газомазутных ТЭС, составит не более 500 ч в году. При столь малой длительности работы ТЭС на мазуте установка на них дорогостоящего оборудования сероочистки дымовых газов нецелесообразна.

Удельный выброс оксидов азота, г/кВт·ч, может быть рассчитан по формуле

$$m_{\text{выб}}^{\text{NO}_x} = \frac{1}{3} K\beta_1\beta_2\beta_3c, \quad (3.10)$$

где c – коэффициент, учитывающий снижение выброса оксидов азота в результате применения специальных мероприятий технологического и иного характера.

3.3. Воздействие теплоэнергетики на водные объекты (общие положения)

Воздействие тепловых электростанций на водные объекты осуществляется по двум направлениям: использование водных ресурсов и прямое воздействие ТЭС на качественное состояние водных объектов путем сброса в них сточных вод с повышенными по сравнению с природной водой концентрациями загрязняющих веществ.

В условиях ограниченности свободных водных ресурсов и ухудшения качественного состояния водных объектов при ужесточении требований контролирующих органов к качеству воды оценка масштабов воздействия ТЭС на водные объекты становится одним из основных вопросов прогноза развития теплоэнергетики. Так, прогнозные оценки объемов водопотребления рассматриваются органами, распределяющими водные ресурсы, как заявка на воду. Эти оценки могут служить источником информации при решении вопросов о размещении новых водоемких производств в районах с ограниченными водными ресурсами.

Прежде чем перейти к методике оценки масштабов воздействия ТЭС на водные объекты при прогнозировании развития теплоэнергетики, представляется не лишним дать определения основных показателей, характеризующих использование воды теплоэнергетикой.

Свежая вода – это вода, поступающая в технологические системы тепловой электростанции из водных объектов совместного пользования.

Безвозвратные потери воды – это потери воды при производстве тепловой и электрической энергии в результате естественного и дополнительного испарения, уноса капельной влаги, утечек пара в паровом цикле и др.

Оборотная вода – это вода, использованная в технологическом цикле электростанции и после охлаждения идущая на те же цели.

Повторно-последовательно используемая вода – это вода, используемая в нескольких технологических системах электростанции с очисткой (повторно), без очистки (последовательно).

Полное водопотребление – это сумма объемов свежей и оборотной воды.

Водоотведение – это отведение вод, использованных электростанцией; воды, отводимые после использования в хозяйственно-бытовой и производственной деятельности электростанции, загрязненные и нагретые, называются сточными. Сточные воды могут либо сбрасываться в водный объем, либо частично или в полном объеме передаваться другим предприятиям.

Перечисленные показатели водопользования являются основными в государственной статистической отчетности тепловых электростанций по форме 2ТП-водхоз и в прогнозных расчетах; при определении перспективной потребности электроэнергетики в воде и оценке возможных масштабов воздействия отрасли на состояние водных объектов.

3.4. Оценка использования водных ресурсов теплоэнергетикой при прогнозировании ее развития

3.4.1. Использование водных ресурсов тепловыми электростанциями

Объем воды, который расходует тепловая электростанция, зависит от ее типа, единичной мощности турбин и параметров пара, вида применяемого топлива и района размещения.

Каждый тип ТЭС имеет свою специфику водопотребления. Общая закономерность заключается в том, что по мере повышения единичной мощности турбин и параметров пара удельный объем воды, необходимой для производства электроэнергии на тепловых электростанциях, снижается (рис. 3.2).

Потребность ТЭС в воде зависит также от вида топлива (рис. 3.3). Повышенное водоснабжение ТЭС, работающих на твердом топливе, по сравнению с ТЭС на газе связано с дополнительными потерями воды в системе гидрозолоудаления первых. Более высокое водопотребление обеспечивает компенсацию потерь воды на золоотвале.

Удельная потребность в воде ТЭЦ ниже, чем КЭС. Это связано с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии на ТЭЦ, при которой отработавший в турбинах пар частично используется. Поэтому пропуск пара в конденсатор снижается, а, следовательно, снижается и водопотребление системы охлаждения.

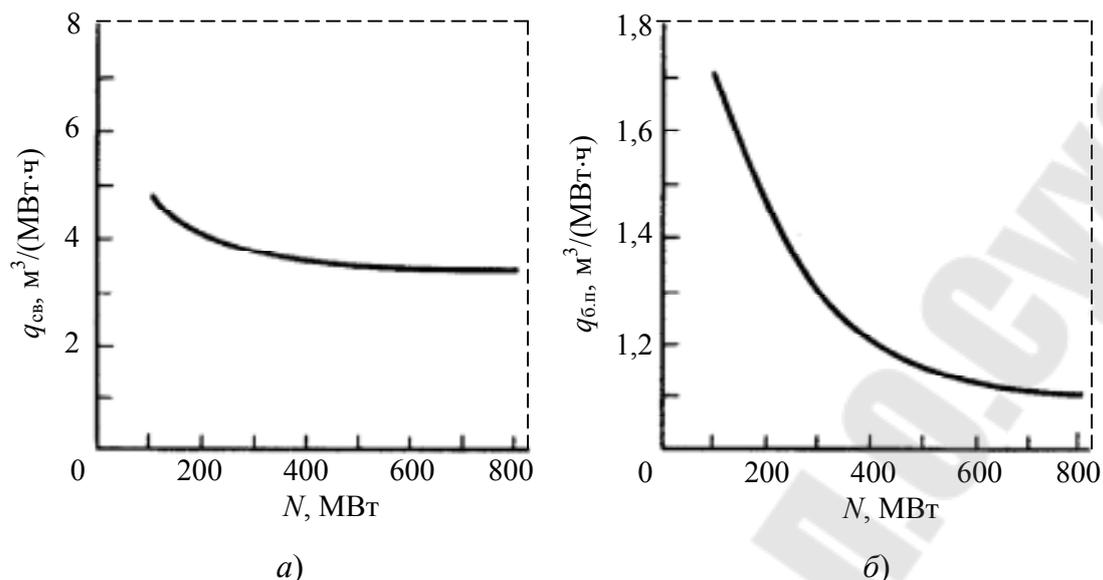


Рис. 3.2. Зависимость удельных показателей водопотребления от единичной мощности турбин для КЭС на твердом топливе с наливным водохранилищем-охладителем:

a – объем потребления свежей воды $q_{св}$;
б – объем безвозвратных потерь воды $q_{б.п}$

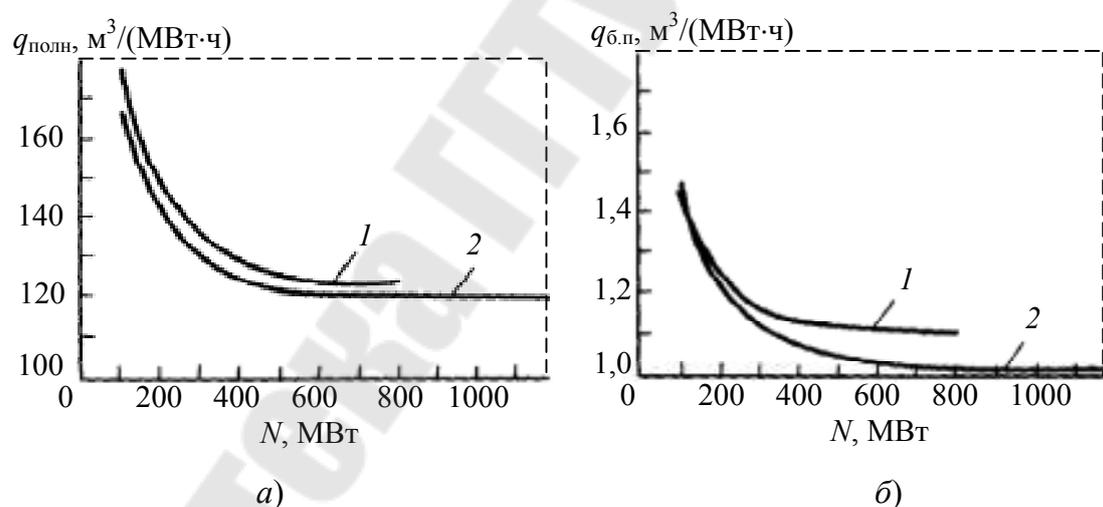


Рис. 3.3. Зависимость удельных показателей водопотребления прямоточной КЭС от вида топлива:

a – объем полного водопотребления, *б* – объем безвозвратных потерь воды; 1 – уголь; 2 – газ

Для работы конденсационной электростанции на органическом топливе мощностью 1 млн кВт в среднем необходимо $0,9 \text{ км}^3$ воды в год. Основная часть этого объема (90–95 %) расходуется на охлаждение конденсаторов турбин. Остальные 5–10 % объема воды исполь-

зуются на нужды различных технологических систем: охлаждение масла и газа в соответствующих охладителях, охлаждение подшипников механизмов; восполнение потерь пара и конденсата в рабочем пароводяном цикле; собственные нужды системы подготовки воды для котлов и теплосети; удаление золы и шлака на ТЭС, сжигающих твердое топливо; уборка помещений, полив территории и др.

В зависимости от системы технического водоснабжения ТЭС ее потребность в воде обеспечивается водой, забираемой из водного объекта совместного пользования (свежая вода), либо из специально сооружаемых охладителей (оборотная вода). Другими словами, соотношение объемов свежей и оборотной воды определяется типом системы технического водоснабжения ТЭС.

Наиболее распространенной системой технического водоснабжения (СТВС) конденсационных электростанций является обратная система с водохранилищем-охладителем, теплоэлектроцентралей – обратная система с испарительными градирнями. Прямоточные системы водоснабжения имеют, как правило, старые электростанции и очень ограниченное количество новых, в основном использующих для охлаждения морскую воду. С введением платы за воду в промышленности, стимулирующей уменьшение забора свежей воды, прямоточные системы водоснабжения ТЭС перестали быть и наиболее экономичными.

Проектирование сооружений системы технического водоснабжения тепловой электростанции основывается на водохозяйственных расчетах, гидрологической основой которых являются данные гидрометрических наблюдений. Расчетные гидрологические условия связаны с типом системы водоснабжения. В соответствии с СНиП при прямоточном водоснабжении за расчетные принимаются минимальные среднемесячные расходы воды 95%-ной обеспеченности. Тепловая электростанция должна быть обеспечена водой в названных расчетных гидрологических условиях. Имеющийся же объем располагаемых водных ресурсов определяет тип базовой системы технического водоснабжения. Так, для обеспечения водой тепловой электростанции мощностью 1 млн кВт расход воды в водотоке – источнике водоснабжения ТЭС в расчетных гидрологических условиях должен быть не менее 30–40 м³/с при прямоточной системе водоснабжения и 2–4 м³/с при оборотной.

При выборе источника технического водоснабжения ТЭС необходимо учитывать наличие в нем свободных водных ресурсов для

компенсации безвозвратных потерь воды в процессе производства электроэнергии. Размер этих потерь тепловыми электростанциями является наиболее важной характеристикой водопользования ТЭС.

Безвозвратные потери воды ТЭС относительно полного водопотребления невелики. Наименьшие потери воды имеют место на ТЭС с прямоточной системой технического водоснабжения. Они составляют менее 1 % ее валового водопотребления, равного сумме объемов свежей и оборотной воды. Наиболее велики потери при оборотной системе водоснабжения с испарительными градирнями: 1,5–2 % валового недопотребления и 35–40 % объема используемой свежей воды. Резерв экономии воды на электростанциях: снижение утечек воды из-за износа оборудования и низким техническим уровнем эксплуатации электростанций.

Другой путь экономии водных ресурсов – использование морской воды для охлаждения отработавшего в турбинах пара.

В настоящее время на морской воде работает Ленинградская АЭС.

Эксплуатация систем охлаждения электростанций на морской воде сложнее, чем пресноводных систем, в связи с качественными особенностями морской воды, в частности с ее высокой агрессивностью. При работе на морской воде более интенсивно засоряются водозаборные сооружения морскими наносами и организмами, развиваются биологические обрастания и карбонатные отложения на водозаборах, водоприемниках, теплообменных аппаратах и т. д., происходит более интенсивная коррозия морских трубопроводов и оборудования. Все это создает эксплуатационные сложности и удорожает электростанцию в связи с необходимостью предусматривать мероприятия, нейтрализующие отрицательное действие морской воды.

Эксплуатационные сложности использования морской воды на ТЭС преодолимы, они лишь увеличивают стоимость системы водоснабжения этих электростанций.

3.4.2. Способы оценки прогнозных показателей водопотребления тепловых электростанций

Потребность теплоэнергетики в воде при долгосрочном прогнозировании ее развития может определяться как пообъектно, так и с использованием укрупненных норм водопотребления и водоотведения. Целесообразность применения того или другого способа расчета зависит от постановки задачи.

Способ расчета зависит прежде всего от степени заблаговременности прогноза и размеров территории, для которой он разрабатывается. Когда прогноз имеет заблаговременность 20–30 лет и более и разрабатывается для крупных регионов, по-видимому, нецелесообразна излишняя детализация расчетов как по количеству оцениваемых показателей, так и по глубине их пообъектной проработки по всем типам ТЭС. При некрупных масштабах развития теплоэнергетики в крупном регионе или небольших размерах территории появляется необходимость пообъектной проработки. Чем меньше территория, для которой разрабатывается прогноз, тем детальнее должны рассчитываться объемы водопользования для теплоэнергетики на этой территории.

Отсюда видно, что возможности использования укрупненных норм водопользования ограничены. В то же время проблемам нормирования водопользования в народном хозяйстве уделяется большое внимание. Нормы водопользования для отраслей народного хозяйства включают текущие индивидуальные, перспективные (прогнозные) и оценочные нормы.

Перспективные нормы можно применять для оценки тенденции изменения водопотребления теплоэнергетики при сравнении различных вариантов прогноза ее развития. Наиболее применимы данные нормы в планирующих органах для прикидочных оценок водопользования.

При прогнозировании водопотребления для крупных регионов могут использоваться укрупненные нормы водопользования, как показывает опыт прогнозных расчетов, объемы водопотребления крупных конденсационных электростанций на органическом и ядерном топливах следует определять пообъектно на основе проектных данных.

При выполнении прогнозов для малых территорий использование укрупненных норм может привести к недостоверным результатам с погрешностью тем большей, чем меньше группа ТЭС, включенная в расчет.

Для прогноза в разрезе крупных регионов применимы укрупненные нормы, но с пообъектным учетом крупных конденсационных электростанций на органическом и ядерном топливах.

При выполнении прогноза для малой территории или при малых масштабах развития теплоэнергетики на большой территории прогнозные объемы водопотребления следует определять пообъектно.

3.4.3. Анализ современных показателей водопользования в теплоэнергетике

Анализ показателей водопользования в теплоэнергетике необходим для повышения достоверности прогнозов. Специалисты, занимающиеся прогнозированием водопользования, на основе отчетных данных корректируют характеристики водопользования ТЭС с учетом износа оборудования и других факторов.

Удельные показатели водопользования теплоэнергетики по типам электростанций позволяют судить об общем состоянии водопользования в отрасли. При анализе отчетных данных в целях получения обобщенных показателей водопользования нужна более детальная информация с выделением электростанций с прямоточной и оборотной системами технического водоснабжения.

3.4.4. Расчет объемов водопотребления конденсационных электростанций (ГРЭС, АЭС)

Объем водопотребления, м³/год, конденсационной электростанции (свежей, оборотной, безвозвратных потерь воды) вычисляется по формуле

$$W = qNh = qЭ, \quad (3.11)$$

где q – удельный объем водопотребления, м³/(МВт·ч); N – мощность электростанции или блока, МВт; $Э$ – годовой отпуск электроэнергии, МВт·ч; h – число часов использования мощности.

Удельный объем водопотребления может быть определен несколькими способами:

- для действующих КЭС – на основе анализа данных государственной статистической отчетности электростанций;
- для новых КЭС – на основе проектных проработок;
- для новых КЭС при отсутствии проекта электростанции – по укрупненным нормам водопотребления.

Показатели водопотребления КЭС с русловым водохранилищем-охладителем зависят не от мощности КЭС, а от мощности водотока – источника ее водоснабжения, поэтому квалифицированно могут быть определены специалистами.

Ориентировочно показатели водопотребления новой КЭС могут быть рассчитаны в этом случае следующим образом. По картографическим материалам планиметрированием определяется площадь во-

досбора в створе плотины водохранилища КЭС F , км²; по карте изолиний стока находится модуль стока M , л/(с·км²). Переход к годовому объему забора свежей воды КЭС с русловым водохранилищем, м³, производится по формуле

$$W_{\text{св}}^{\text{р.в}} = FM \cdot 31,6 \cdot 10^3. \quad (3.12)$$

Объем оборотной воды при системе водоснабжения с русловым водохранилищем-охладителем определяется как

$$W_{\text{об}}^{\text{р.в}} = W_{\text{св}}^{\text{н.в}} + W_{\text{об}}^{\text{н.в}} - W_{\text{св}}^{\text{р.в}}, \quad (3.13)$$

где $W_{\text{св}}^{\text{н.в}}$, $W_{\text{об}}^{\text{н.в}}$ – годовые объемы потребления свежей и оборотной воды в условиях работы КЭС на обороте с наливным водохранилищем-охладителем, м³.

Значения $W_{\text{св}}^{\text{н.в}}$ и $W_{\text{об}}^{\text{н.в}}$ определяются по (3.11), значение $W_{\text{св}}^{\text{р.в}}$ – по (3.12).

Удельный объем безвозвратных потерь воды КЭС с русловым водохранилищем-охладителем $q_{\text{б.п}}^{\text{р.в}}$ определяется по укрупненным нормам; расчет годового объема безвозвратных потерь воды $W_{\text{б.п}}^{\text{р.в}}$ производится по (3.11).

3.4.5. Расчет объемов водопотребления теплоэлектростанций (ТЭЦ)

Расчет объемов водопотребления ТЭЦ более трудоемок, чем ГРЭС, т. к. потребность ТЭЦ в воде складывается из потребности на выработку электрической и тепловой энергии. Поэтому суммарная потребность ТЭЦ в воде может быть выражена

$$W = W^{\text{э}} + W^{\text{т}}, \quad (3.14)$$

где $W^{\text{э}}$ и $W^{\text{т}}$ – годовые объемы водопотребления на выработку соответственно электрической и тепловой энергии, м³.

Объемы водопотребления ТЭЦ на выработку электроэнергии вычисляются по формуле (3.11), на производство тепловой энергии – по выражению, м³/год,

$$W^{\text{т}} = q^{\text{т}} N^{\text{т}} h^{\text{т}} = q^{\text{т}} Q^{\text{т}}, \quad (3.15)$$

где q^T – удельный объем водопотребления на выработку тепловой энергии, м³/ГДж (м³/Гкал); N^T – тепловая мощность ТЭЦ или турбины, ГДж/ч (Гкал/ч); h^T – годовое число часов использования тепловой мощности; Q^T – годовой отпуск тепловой энергии, Дж (Гкал).

Установленные тепловые мощности N наиболее распространенных турбин приводятся в справочной литературе.

Определение удельных показателей водопотребления на выработку электрической и тепловой энергии на основе данных статистической отчетности и проектных проработок достаточно сложно и требует профессионализма. Возможно применение укрупненных норм. Показатели водопотребления ТЭЦ на основе этих норм вычисляются отдельно на электроэнергию, выработанную по конденсационному циклу \mathcal{E}_k , и электроэнергию, выработанную по теплофикационному циклу \mathcal{E}_T . В настоящее время принимается, что в среднем соотношение выработки электроэнергии по этим циклам составляет соответственно 40 и 60 %. В перспективе это соотношение должно изменяться в сторону увеличения выработки электроэнергии по теплофикационному циклу до 75 %. В то же время соотношение выработки электроэнергии по конденсационному и теплофикационному циклам на действующих ТЭЦ существенно различается, поэтому жесткое закрепление этого соотношения в прогнозных расчетах вносит дополнительные случайные погрешности в оценки водопотребления ТЭЦ, тем большие, чем меньше группа рассматриваемых ТЭЦ. Чтобы обеспечить достаточную точность расчетов для малых территорий или территорий с небольшим количеством ТЭЦ, необходимо создать постанционную информационную базу с последующей механизацией расчетов.

3.4.6. Оценка количества и состава сточных вод тепловых электростанций в прогнозных расчетах

Количество сточных вод, образующихся на тепловой электростанции (водоотведение), определяется балансовым методом как разность объемов свежей воды и ее безвозвратных потерь.

Сточные воды ТЭС состоят из двух категорий стоков. Это сточные воды, не требующие очистки, или нормативно-чистые, и сточные воды, подлежащие очистке. К первой категории относятся сточные воды системы охлаждения, ко второй – стоки остальных технологических систем ТЭС.

Количество загрязненных сточных вод ТЭС составляет для электростанций, использующих газомазутное топливо, 0,1–0,6 %, уголь 2–6 %, прибалтийские сланцы 10–15 % общего объема отводимых сточных вод.

Сбрасываемые сточные воды состоят из нормативно-чистых $W_{н.ч}$, нормативно-очищенных $W_{н.о}$ и загрязненных $W_з$. Нормативно-очищенные и загрязненные сточные воды являются составляющими категории стоков, подлежащих очистке:

$$W_{п.о} = W_з + W_{н.о}. \quad (3.16)$$

Объем нормативно-чистых сточных вод определяется как разность полного объема сточных вод, сбрасываемых в водный объект, и объема стоков, подлежащих очистке:

$$W_{н.ч} = W_{сбр} - W_{п.о}. \quad (3.17)$$

Проблемой является определение удельного объема сточных вод, подлежащих очистке, $q_{п.о}$, $\text{м}^3/(\text{МВт} \cdot \text{ч})$. В прогнозных расчетах он может быть определен или на основе данных государственной статистической отчетности ТЭС, или по проектным проработкам, или принят нормативно.

Соотношение объемов сброса загрязненных и нормативно-очищенных сточных вод специфично для каждой ТЭС и изменяется во времени. В настоящее время в проектах новых ТЭС предусматривается повторное использование сточных вод, подлежащих очистке. На действующих ТЭС количество повторно используемых сточных вод также ежегодно возрастает.

В прогнозных расчетах при оценке составляющих, входящих в категорию сточных вод, подлежащих очистке (равенство (3.16)), должны быть нормативно-очищенными, т. е.

$$W_{п.о} = W_{н.о}. \quad (3.18)$$

Объем же сбрасываемых нормативно-очищенных сточных вод на первом прогнозном уровне следует сопровождать цифрой капитальных затрат, необходимых для ликвидации объема загрязненных стоков, показанного на отчетном уровне.

Основные направления снижения удельных показателей водопотребления и водоотведения в теплоэнергетике

В теплоэнергетике сокращение удельных показателей или норм водопотребления и водоотведения может достигаться путем:

- замены устаревшего оборудования более совершенным, работающим на высоких параметрах пара;
- преимущественного строительства электростанций с обратными системами технического водоснабжения для существенного сокращения расхода свежей воды;
- демонтажа старых электростанций с прямоточными системами технического водоснабжения для существенного сокращения использования свежей воды;
- внедрения систем воздушного охлаждения;
- повторно-последовательного использования воды в технологических системах электростанций, в частности повторного использования регенерационных вод ионитовых фильтров водоподготовительных установок;
- применения доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод и их повторного использования на технические нужды;
- перехода от твердого топлива на газообразное или от гидравлической системы золошлакоудаления на сухое складирование золошлаков, применения золошлаков в народном хозяйстве.

Кроме перечисленных технических решений сокращение норм водопользования в теплоэнергетике может достигаться улучшением организации производства и ростом культуры эксплуатации ТЭС.

Наибольшая экономия воды может быть достигнута при внедрении систем воздушного охлаждения. По капитальным затратам система охлаждения с ВКУ превосходит традиционные системы примерно в 1,5 раза. Эксплуатация этих систем требует более высокого профессионализма обслуживающего персонала.

Кроме финансовых расходов массовое внедрение воздушного охлаждения повлечет за собой необходимость дополнительного развития производственно-технической базы.

3.5. Оценка воздействия тепловых электростанций на качество природных вод в прогнозах развития теплоэнергетики

3.5.1. Методические подходы к оценке воздействия ТЭС на качество природных вод

Основными компонентами загрязнений сточных вод ТЭС являются минеральные соли, преимущественно хлориды и сульфаты, поступающие в водные объекты практически из всех технологических систем ТЭС, использующих воду.

Специфика загрязнения водных объектов растворимыми солями заключается в том, что в отличие от других загрязняющих веществ соли не подвергаются воздействию окружающей среды (разложению, осаждению, необратимому усвоению живыми организмами и т. д.), поэтому они могут быть извлечены из водоема только искусственно. Очистка и отведение минерализованных сточных вод – наиболее сложная проблема для ТЭС.

Формула для определения массы загрязняющего вещества m_3 , г/год, поступающего в водный объект в результате работы тепловой электростанции, имеет следующий вид:

$$m_3 = W_{\text{сбр}} (c_{3.\text{отв}} - c_{3.\text{в}}), \quad (3.19)$$

где $W_{\text{сбр}}$ – объем сточных вод, сбрасываемых в водный объект, м³/год; $c_{3.\text{отв}}$ – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, г/м³; $c_{3.\text{в}}$ – концентрация загрязняющего вещества в природной воде, г/м³.

В формуле (3.19) объем сброса сточных вод $W_{\text{сбр}}$, концентрация загрязняющего вещества в сточной воде $c_{3.\text{отв}}$ определяются для каждой системы ТЭС отдельно в соответствии с ее технологической, а, следовательно, и расчетной спецификой.

Общее количество загрязняющего вещества в сточных водах ТЭС m_3 складывается из суммы этого вещества по отдельным системам.

Концентрация загрязняющего вещества в природной воде $c_{3.\text{в}}$ определяется на основе данных наблюдений Госкомгидромета за химическим составом природных вод. Значение $c_{3.\text{в}}$ должно быть приведено к расчетным гидрологическим условиям.

Методика расчета количества загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах различных технологических систем ТЭС,

предназначена только для прогнозной оценки содержания загрязнений в сточных водах ТЭС. В методике изложены принципиальные положения расчета количества загрязняющих веществ в сточных водах ТЭС, но она применима к расчету главного ингредиента загрязнений – минеральных солей (показатель «общая минерализация»).

Одним из основных положений методики является учет в показателе m_3 , двух категорий загрязнений. Первая категория приводит к увеличению концентрации загрязняющего вещества в природной воде вследствие сброса химических реагентов, применяющихся в технологических системах ТЭС. Вторая категория – так называемое «условное загрязнение» – связана с увеличением концентрации загрязняющего вещества в водном объекте за счет «упаривания» воды в системах охлаждения, водоподготовки, гидрозолоудаления ТЭС. Главной причиной «условного загрязнения» водных объектов тепловыми электростанциями является процесс «упаривания» воды, вызываемый сбросом больших количеств теплоты в систему охлаждения. Результат влияния тепловой электростанции на водный объект оказывается таким же, как при сбросе добавочного количества загрязняющих веществ, хотя это количество зависит не столько от деятельности ТЭС, сколько от химического состава используемой ею исходной воды.

Информация о качестве природной воды в виде концентраций загрязняющих веществ $c_{з.в}$, приводимая в справочниках гидрологических ежегодников, может использоваться для расчетов на современном уровне, а на прогнозных уровнях – прогноз качественного состояния вод основных речных бассейнов.

Значения $c_{з.в}$ могут быть использованы как информация о фоновом качестве природных вод по показателю «общая минерализация» для предварительной оценки возможностей развития и размещения объектов теплоэнергетики.

3.5.2. Расчет количества минеральных солей в сточных водах технологических систем ТЭС

Количество сбрасываемых тепловой электростанцией минеральных солей зависит:

– от системы технического водоснабжения и степени обработки подпиточной (добавочной) воды системы охлаждения, которая производится для предотвращения карбонатных отложений в трубках конденсаторов и максимального сокращения объема продувки системы охлаждения;

- от типа установленного основного оборудования и климатических условий размещения ТЭС, косвенно влияющих на объем потерь воды;
- от схемы водоподготовки;
- от мероприятий по очистке сточных вод;
- от качества воды источника водоснабжения по показателям «общая минерализация» и «щелочность» (HCO_3').

Система охлаждения является главным источником условного поступления минеральных солей в водные объекты для конденсационных электростанций. Расчетные формулы для определения количества солей, поступающих из этой системы, зависят от типа системы охлаждения.

При прямоточной и оборотной с водохранилищем-охладителем системах охлаждения количество солей, поступающих в водный объект, г/м^3 , рассчитывается по формуле

$$m_c^{\text{охл}} = c_{\text{с.в}} W_{\text{исп}}, \quad (3.20)$$

где $c_{\text{с.в}}$ – концентрация солей в исходной (природной) воде, г/м^3 ; $W_{\text{исп}} = W_{\text{б.п}}$ – объем потерь воды на испарение, м^3 , определяемый по (3.11) и (3.14).

При оборотной системе охлаждения с испарительными градирнями количество солей определяется вариантно в зависимости от щелочности подпиточной (добавочной) воды. При щелочности меньше $3 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$ расчет производится по формуле (3.20); при щелочности, равной и большей $3 \text{ мг} \cdot \text{экв/л}$, расчет выполняется по формуле

$$m_c^{\text{охл}} = c_{\text{с.в}} W_{\text{исп}} - \frac{13W_{\text{исп}}}{k_y - 1} (c_{\text{HCO}_3'_{\text{в}}} k_y - 1), \quad (3.21)$$

где $c_{\text{HCO}_3'_{\text{в}}}$ – щелочность добавочной воды, $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$; k_y – коэффициент упаривания воды в системе, определяемый в зависимости от $c_{\text{с.в}}$ по следующим данным:

Таблица 3.4

$c_{\text{с.в}}, \text{г/м}^3$	150	200	300	400	500	600	700	800	900
$k_y \dots$	11	11	7,1	5,6	4,5	3,7	3,2	2,75	2,5

В системе подготовки воды для подпитки пароводяного цикла, называемой системой водоподготовки или химводоочистки (ХВО), качество сточных вод зависит от следующих факторов:

- качества исходной воды по показателю «общая минерализация»;
- схемы водоподготовки;
- производительности ВПУ.

Взаимосвязь между перечисленными факторами показана в таблице 3.5.

При минерализации исходной подпиточной воды меньше 600 г/м³ применяется ее химическое обессоливание, при большей – испарители.

Количество минеральных солей, отводимых из системы водоподготовки, определяется как

$$m_c^{XBO} = W_{отв}^{XBO} (c_{с.отв}^{XBO} - c_{с.в}), \quad (3.22)$$

где $W_{отв}^{XBO}$ – объем сточных вод системы ХВО, м³; $c_{с.отв}^{XBO}$ – концентрация минеральных солей в сточных водах системы ХВО, г/м³.

Таблица 3.5

Минерализация сточных вод системы водоподготовки при различных значениях минерализации природной воды для двух схем водоподготовки

Схема водоподготовки	Минерализация природной воды $c_{с.в}$, г/м ³	Количество стоков ХВО $W_{отв}^{XBO}$, % объема подпиточной воды	Минерализация сточных вод ХВО $c_{с.отв}^{XBO}$, г/м ³
Химическое обессоливание	150	15	8235
	300	20	7252
	600	25	7016
	800	50	6749
Испарители	150	0,3	50000
	300	0,66	50000
	600	1,24	50000
	800	1,58	50000
	1300	2,54	50000

В формуле (3.22) объем сточных вод системы водоподготовки $W_{отв}^{XBO}$, как видно из данных таблицы 3.5, определяется в долях от объема подпиточной воды для котлов W^{XBO} .

Годовой объем подпиточной воды для котлов составляет:
– для ГРЭС

$$W_{\text{ГРЭС}}^{\text{XBO}} = 0,089\text{Э}; \quad (3.23)$$

– для ТЭЦ

$$W_{\text{ТЭЦ}}^{\text{XBO}} = 0,175\text{Э} + 0,8T_{\text{Г}}, \quad (3.24)$$

где 0,089; 0,175 и 0,8 – коэффициенты, учитывающие расход воды на пусковые операции и объем внутростанционных потерь, а также удельный расход пара на выработку электроэнергии и удельную потерю конденсата на производстве; Э – годовой отпуск электроэнергии, МВт·ч; $T_{\text{Г}}$ – годовой отпуск тепловой энергии потребителям, Гкал.

По объему подпиточной воды W^{XBO} в зависимости от концентрации минеральных солей в ней $c_{\text{с.в}}$ по данным таблицы 3.5 определяются количество сточных вод системы водоподготовки $W_{\text{отв}}^{\text{XBO}}$ и их минерализация $c_{\text{с.отв}}^{\text{XBO}}$, затем по формуле (3.22) – количество солей, отводимых от данной системы.

Химические промывки оборудования проводятся на ТЭС перед пуском в работу смонтированного оборудования (предпусковые промывки) и периодически в процессе его эксплуатации (эксплуатационные).

Количество минеральных солей, сбрасываемых в водные объекты после химических промывок оборудования, равно

$$m_{\text{с}}^{\text{х.п}} = W_{\text{отв}}^{\text{х.п}} (c_{\text{с.отв}}^{\text{х.п}} - c_{\text{с.в}}), \quad (3.25)$$

где $W_{\text{отв}}^{\text{х.п}}$ – объем отводимых сточных вод химических промывок оборудования, м³; $c_{\text{с.отв}}^{\text{х.п}}$ – концентрация минеральных солей в сточных водах химических промывок, г/м³; $c_{\text{с.в}}$ – концентрация минеральных солей в природной воде, г/м³.

Концентрация минеральных солей в сточных водах этой системы $c_{\text{с.отв}}^{\text{х.п}}$ после их очистки при различных методах химических промывок составляет: при соляно-кислом методе $10 \cdot 10^3$ г/м³; при гидразинно-кислотном, комплексонном, моноаммонийцитратном, фталевокислотном, дикарбоново-кислотном и концентратом НМК $6 \cdot 10^3$ г/м³.

Соотношение методов эксплуатационных промывок оборудования органическими и минеральными кислотами в настоящее время составляет соответственно 70 и 30 %, в перспективе – 50 и 50 %. В связи с этим формула (3.25) применительно к прогнозным оценкам принимает вид

$$m_c^{x.п} = 0,5W_{отв}^{x.п} (6 \cdot 10^3 - c_{c.в}) + 0,5W_{отв}^{x.п} (10 \cdot 10^3 - c_{c.в}). \quad (3.26)$$

Удельные показатели количества сточных вод от химических промывок оборудования равны: от предпусковых промывок 45,5 м³/МВт, от эксплуатационных 0,325 · 10⁻² м³/(МВт · ч). Первые даются в расчете на 1 МВт установленной мощности потому, что предпусковые промывки являются разовыми и зависят только от типа оборудования. Эксплуатационные промывки проводятся периодически.

Количество сточных вод химических промывок оборудования составляет:

– в первый год работы ТЭС

$$W_{отв}^{x.п} = 45,5N + 0,325 \cdot 10^{-2} \text{Э}n; \quad (3.27)$$

– в последующие годы

$$W_{отв}^{x.п} = 0,325 \cdot 10^{-2} \text{Э}n, \quad (3.28)$$

где N – мощность ТЭС, МВт; Э – выработка электроэнергии, МВт · ч; n – количество эксплуатационных химических промывок в году, $n = 0,5$.

В среднем эксплуатационные промывки производятся 1 раз в 2 года, поэтому принимается $n = 0,5$.

Системы гидрозолоудаления тепловых электростанций в настоящее время проектируются оборотными. Сброс сточных вод из этой системы и фильтрация из золошлаковых хранилищ в грунтовый поток должны быть исключены. В прогнозных расчетах принимается также, что на ТЭС, использующих твердое топливо, в золоотвалы поступают сточные воды водоподготовительных установок и химических промывок оборудования. Таким образом, принимается, что ТЭС, работающие на твердом топливе, в прогнозируемой перспективе не сбрасывают минеральные соли в водные объекты из перечисленных систем, т. е. они бессточны. В этом случае имеет место лишь поступление солей в водные объекты из системы охлаждения.

Суммарное количество солей, сбрасываемых тепловыми электростанциями в водные объекты, составляет:

– для электростанций, работающих на твердом топливе,

$$m_c^{\text{ТВ.Т}} = m_c^{\text{охл}}; \quad (3.29)$$

– для электростанций, работающих на жидком и газообразном топливе,

$$y_c^{\text{газ}} = m_c^{\text{охл}} + m_c^{\text{ХВО}} + m_c^{\text{х.п}}; \quad (3.30)$$

– для атомных электростанций

$$m_c^{\text{АЭС}} = m_c^{\text{охл}} + m_c^{\text{ХВО}}. \quad (3.31)$$

3.6. Влияние гидроэлектростанций на водные ресурсы

В результате строительства гидроузлов создаются водохранилища, которые изменяют естественный гидрологический режим реки и другие, связанные с ним природные процессы: гидрохимический, гидробиологический, термический твердый сток в водохранилище и в нижнем бьефе гидроузла.

Степень изменения гидрологического режима реки определяется прежде всего видом регулирования стока. Особенностью каждого вида регулирования является перераспределение стока в течение определенного периода – суток, недели, года, ряда лет.

Наиболее распространенный вид регулирования стока водохранилищами гидроэлектростанций – сезонное (годовое) регулирование, под которым понимается искусственное перераспределение стока в течение года за счет аккумуляции в водохранилище воды в многоводные сезоны и ее сброса ниже гидроузла в маловодные.

Для многолетнего регулирования необходимо создавать водохранилища большой емкости. Они обеспечивают перераспределение речного стока в годы разной водности путем его аккумуляции в многоводные и расходования в маловодные и средние по водности годы.

В водохранилищах по сравнению с реками водообмен снижен.

С уменьшением скоростей течения в водохранилищах, по сравнению с реками, происходит отложение почти всех влекомых по дну рек наносов и значительной доли взвешенных твердых частиц. В среднем в водохранилищах задерживается 90–95 % донных и взвешенных наносов, что приводит к их заилению.

Гидрохимический режим водохранилищ формируется под влиянием процессов, происходящих на водосборе, в береговой зоне и в самом водоеме. В водохранилищах минерализация увеличивается, иногда существенно. Кислородный режим в малопроточных и глубоких водохранилищах ухудшается по сравнению с рекой – содержание растворенного кислорода у дна снижается до долей миллиграмма на литр (3–5 %) насыщения.

На кислородный режим водохранилищ, расположенных в умеренной и северных зонах оказывает ледовый покров. Существенно ухудшается кислородный режим в районах скопления отмерших масс сине-зеленых водорослей и высшей водной растительности.

Наиболее благополучен кислородный режим в горных водохранилищах, где содержание кислорода не падает ниже 70 %.

Для гидробиологического режима водохранилищ характерно, что в целом количество биогенных веществ и скорость их кругооборота (кроме железа и кремния) увеличиваются по сравнению с рекой, особенно возрастает (на один-два порядка) амплитуда колебаний биогенных веществ. Биогенный сток водохранилищ по сравнению с рекой увеличивается (кроме соединений железа).

По термическому режиму водохранилища отличаются от рек неоднородностью температуры воды по длине, ширине и глубине, достигающей в отдельные периоды 10 °С.

Роль водохранилищ в формировании качества воды неоднозначна. На улучшение качества воды в водохранилищах по сравнению с рекой решающее влияние оказывают процессы самоочищения, усиливающиеся за счет седиментации, отстоя, разбавления, разрушения органических веществ. Замедление водообмена, явления термической и кислородной стратификации и развитие органической жизни вызывают ухудшение качества воды при усиленном антропогенном воздействии на водоемы. В целом водохранилища более уязвимы для загрязнений, чем реки.

Изменения гидрологического режима рек ниже гидроузлов иногда проявляются на многих сотнях километров. Например, регулирование стока р. Иртыша, осуществляемое Бухтарминским водохранилищем, проявляется на расстоянии свыше 1500 км; регулирующее влияние водохранилища Волжской ГЭС им. Ленина сказывается на всем протяжении более чем 1000-километрового участка р. Волги от гидроузла до ее устья и т. д. Резкие колебания суточных и недельных расходов и уровней воды довольно быстро уменьшаются по течению реки, распространяясь обычно лишь на несколько десятков километ-

ров вниз от гидроузла. При многолетнем и сезонном регулировании стока происходит его выравнивание, т. е. значительно уменьшаются расходы, поступающие ниже гидроузла в паводковый период, увеличиваются, как правило, расходы в летне-осенний и особенно в зимний период.

Преобразование гидрологического режима рек водохранилищами и внутриводоемные процессы меняют гидрохимический и гидробиологический режимы ниже гидроузла. Отличительной чертой нового режима в нижних бьефах гидроузлов является перераспределение стока веществ по периодам года в общее выравнивание его в годовом разрезе. Закономерно также увеличение в зарегулированном стоке доли растворимых веществ. Общее количество годового ионного стока практически осталось прежним, а внутригодовое распределение соответствует распределению водного стока.

Характерной особенностью влияния зарегулированного стока на термический режим ниже подпорного сооружения является понижение температуры воды в весенне-летний период и повышение осенью и зимой при общем уменьшении амплитуд ее колебаний в годовом разрезе.

Меняется и ледовый режим в нижнем бьефе: он отличается более поздним образованием ледового покрова, возникновением непосредственно ниже гидроузла незамерзающего участка – полыньи (майны) и другими особенностями. Вода, сбрасываемая в нижний бьеф, в значительной степени освобождена от внесенных загрязнений.

Повышение уровня воды в нижнем бьефе по сравнению с бытовым сопровождается снижением количества растворенного кислорода.

3.7. Воздействие объектов электроэнергетики на земельные ресурсы

3.7.1. Общие положения

Строительство и эксплуатация объектов электроэнергетики связаны с двумя видами воздействия на земельные ресурсы:

- изъятием земельных ресурсов всеми объектами энергетики;
- загрязнением земель выбросами ТЭС и АЭС.

В настоящее время под объекты электроэнергетики отведено 6,6 млн га земель, в том числе 2,7 млн га сельскохозяйственных.

Следовательно, большую часть всех отведенных земель (96 %) занимают водохранилища гидроэлектростанций. Из общей площади изъятых земель 40 % составляют сельскохозяйственные угодья.

Воздействие ТЭС на земельные ресурсы прежде всего обусловлено необходимостью отвода земель под их строительство. Разница в размерах отвода земель определяется главным образом системой технического водоснабжения электростанций. При системе технического водоснабжения, использующей для охлаждения конденсаторов водохранилища-охладители, потребность в земельных ресурсах почти в 4 раза больше, чем при системах охлаждения с испарительными градирнями. Для электростанций, работающих на угле, дополнительно отводятся земли под золоотвалы. Площадь, занимаемая основными сооружениями электростанций, т. е. без территории, занятой водохранилищами-охладителями или градирнями и золоотвалами, составляет 5–10 % общей площади.

Золоотвалы электростанций, работающих на угле, оказывают неблагоприятное воздействие на земельные ресурсы в целом, ухудшает состояние прилегающих к электростанции сельскохозяйственных угодий.

Выбросы ТЭС в атмосферу загрязняют почвенный и растительный покров.

Загрязнение почвенного покрова приводит к уменьшению плодородия почвы, снижению урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшению их качества.

Гибель растительности в районе действия тепловых электростанций вызывается главным образом контактом зеленых частей растений с вредными примесями воздуха, а также ухудшением качества почвы.

Вместе с тем надо иметь в виду, что растения обладают различной стойкостью к загрязнению.

В площадь отвода земель под тепловую электростанцию входят территории под здание ТЭС, золоотвал, подстанции, градирни, пруды-охладители и другие сооружения.

Для определения площадей отвода земель под конкретные ТЭС и АЭС должны использоваться проектные материалы.

При отсутствии проектных данных площади отвода земель рассчитываются на основании нормативов удельной потребности земель.

3.7.2. Влияние электрических сетей и подстанций на земельные ресурсы

Площади земли, отводимые в постоянное пользование, определяются в соответствии с нормами отвода земель СЕ 465-74. В постоянное пользование передаются только площади, занимаемые опорами

с учетом полосы земли вокруг каждой опоры шириной 2 м, и территории подстанций.

Для линий электропередачи, проходящих вне населенных пунктов, правилами охраны электрических сетей установлено понятие «охранная зона». Земельные участки, входящие в охранную зону, не изымаются у землепользователей. В пределах этой зоны запрещается производство каких-либо работ, за исключением сельскохозяйственных, без согласования с организацией, эксплуатирующей линии.

Ширина охранной зоны зависит от напряжения ВЛ. Охранная зона вдоль воздушных линий электропередачи устанавливается в виде воздушного пространства над землей, ограниченного параллельными вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линии на расстоянии от крайних проводов по горизонтали, указанном ниже (ГОСТ 12.1.051–90):

Таблица 3.6

Напряжение ВЛ, кВ	Расстояние, м
До 20	10
Свыше 20 до 35	15
« 35 до 110	20
« 110 до 220	25
« 220 до 500	30
« 500 до 750	40
« 750 до 1150	55

Входящие в охранные зоны земельные участки используются для сельскохозяйственных нужд при условии строгого соблюдения Правил охраны. При сельскохозяйственных работах, соблюдение этих правил вызывает трудности, связанные с ограничением применения механизмов при обработке земли, невозможностью полива сельскохозяйственных культур и др.

В целях защиты населения от вредного воздействия электрического поля ВЛ сверхвысокого напряжения (СВН) вдоль них устанавливаются санитарно-защитные зоны, ширина которых практически совпадает с шириной охранных зон (исключение составляют ВЛ 330 кВ, санитарно-защитная зона которых меньше охранной). В санитарно-защитных зонах ВЛ СВН рекомендуется выращивать сельскохозяйственные культуры, не требующие ручной обработки.

На период строительства ВЛ земли изымаются временно.

Подстанции, как правило, должны располагаться на непригодных для сельскохозяйственного использования землях, на незаселенной территории или на территории, занятой кустарниками и малоценными насаждениями, вне площадей залегания полезных ископаемых.

Отвод земель под подстанцию производится с учетом размещения открытых распределительных устройств (ОРУ), трансформаторов, общестанционного пункта управления и других необходимых сооружений.

Подстанции должны размещаться с учетом наиболее рационального использования земель и перспективы последующего расширения. В проектах строительства подстанций учитываются затраты на снятие, хранение и транспортировку плодородного слоя почвы, а также затраты на возмещение убытков землепользователей, связанных с изъятием земельного участка.

Следует отметить, что в случае широкого внедрения элегазовых распределительных устройств на ПС 500, 750 и 1150 кВ площади, занимаемые под эти подстанции, могут уменьшиться на 30–40 %.

4. НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ УЩЕРБ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

4.1. Удельный ущерб от загрязнения воздушного бассейна

Под экономическим ущербом обычно понимаются выраженные в стоимостной форме убытки, причиняемые отраслям народного хозяйства промышленными выбросами.

Отдельные составляющие ущерба могут связываться, например, со снижением урожайности сельскохозяйственных культур или ухудшением их качества на загрязненных площадях, ускорением атмосферной коррозии зданий, сооружений, металлоконструкций, увеличением затрат на профилактику и лечение людей и т. п. Ущерб носит многоотраслевой характер и складывается из локальных потерь, наблюдаемых в отдельных отраслях народного хозяйства (лесной, сельскохозяйственной, коммунальной, промышленной, транспорте и др.), а также в здравоохранении от каждого вида загрязняющих веществ.

Размер ущерба народному хозяйству от вредных выбросов в атмосферу зависит от свойств выбрасываемого вещества; количества выбросов и их концентрации; численности населения, проживающего в загрязняемой зоне; стоимости объектов коммунального, жилищного

и промышленного хозяйства, размещенных в этой зоне; площади загрязняемых лесных и сельскохозяйственных угодий; состава и особенностей сельскохозяйственных культур и т. п.

Существенное значение при этом имеет степень превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ.

В таблице 4.1 приведены значения удельных ущербов от заболеваемости населения и удельных ущербов коммунальному хозяйству в зависимости от среднегодовых концентраций вредных веществ (золы, диоксида серы и оксидов азота) в приземном слое атмосферы.

Анализ показывает, что эти зависимости могут быть аппроксимированы уравнениями, которые для показателей удельного ущерба от заболеваемости населения имеют следующий вид, р./чел.:

$$y_{н.з} = 13,5 \ln \frac{c_{з.сг}}{0,102}, \quad (4.1)$$

где $c_{з.сг}$ – среднегодовая концентрация летучей золы в атмосферном воздухе, мг/м³;

– при загрязнении атмосферы выбросами диоксида серы SO₂

$$y_{н.з} = 13,9 \ln \frac{c_{с.сг}}{0,035}, \quad (4.2)$$

где $c_{с.сг}$ – среднегодовая концентрация диоксида серы в атмосферном воздухе, мг/м³;

– при загрязнении оксидами азота NO_x

$$y_{н.а} = 17,3 \ln \frac{c_{а.сг}}{0,057}, \quad (4.3)$$

где $c_{а.сг}$ – среднегодовая концентрация оксидов азота в атмосферном воздухе, мг/м³.

Основным санитарно-гигиеническим критерием состояния атмосферного воздуха является предельно допустимая концентрация вредных веществ. Значения ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (с учетом их суммации) должны быть такими, при которых обеспечивается безопасное пребывание в нем человека. Следовательно, все предприятия, в том числе и электростанции, которые сооружаются с учетом требований по обеспечению ПДК, не должны приводить к ущербу для человека, в том числе и к заболеваниям. Этот вывод подтверждается и приводимым ниже анализом данных, представленных в таблице 4.1.

Таблица 4.1

**Удельный ущерб от заболеваемости населения и удельный ущерб коммунальному хозяйству
при различных концентрациях вредных веществ**

Наименование ингредиента	Показатели	Численные значения показателей										
Зола	Среднегодовая концентрация, мг/м ³	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5	1,65
	Ущерб от заболеваемости населения, р./1000 чел.	5	13	20	24	28	31	33	34	35	36	37
	Ущерб коммунальному хозяйству, р./1000 чел.	3	10	14	17	19,5	21	22,5	24,5	26	27	28
Диоксид серы	Среднегодовая концентрация, мг/м ³	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
	Ущерб от заболеваемости населения, р./1000 чел.	5	13	20	24	28	31	33	34	35	36	37
	Ущерб коммунальному хозяйству, р./1000 чел.	1	4,2	7	8,5	9,5	10	11,3	12	12,5	13	13,8
Оксиды азота	Среднегодовая концентрация, мг/м ³	0,085	0,17	0,225	0,34	0,425	0,51	0,595	0,68	0,765	0,85	0,935
	Ущерб от заболеваемости населения, р./1000 чел.	8	16	24	31	35	38	40	43	44	45	26
	Ущерб коммунальному хозяйству, р./1000 чел.	2	8	13	16,5	19	21	23	24	25	26,3	27

Как известно, санитарные нормы регламентируют два значения ПДК в атмосферном воздухе: максимально разовые ПДК (среднее за любые 20 мин) и среднесуточные ПДК_{сс}. Приняты, кроме того, среднегодовые ПДК для золы канско-ачинских углей.

Применительно к пыли, к которой относится и летучая зола электростанций, нормированные значения ПДК составляют: ПДК_{з.м.р} = 0,5 мг/м³, ПДК_{з.сс} = 0,15 мг/м³.

Исходя из того, что в настоящее время не может быть построена и допущена к эксплуатации ни одна электростанция, если она не обеспечит выполнения требований ПДК, нормированные значения ПДК по любому ингредиенту (или их сумме) могут определять и максимальное значение концентрации вредных веществ, которое будет иметь место при работе электростанции, построенной с учетом требований действующих норм ПДК. При работе электростанции на полную мощность в течение любых 20 мин приземные концентрации вредных веществ в зоне ее действия должны быть не больше максимально разового ПДК_{м.р} ($c_{m,pi} \leq \text{ПДК}_{m,р}$).

Естественно, что при работе станции на неполную мощность концентрации будут меньше. Среднесуточные концентрации вредных веществ при работе ТЭС на полную мощность в течение суток должны быть не больше среднесуточного значения ПДК, т. е. $c_{cci} \leq \text{ПДК}_{cci}$.

Если бы можно было представить работу электростанции на полную мощность круглый год, то в этом случае правильно запроектированная ТЭС должна была бы обеспечить среднегодовую концентрацию вредных веществ в зоне ее влияния не выше среднесуточной.

Однако фактически ни одна электростанция не может так работать в связи с необходимостью проведения капитальных, профилактических и аварийных ремонтов оборудования, а также из-за неравномерности и режима электропотребления в энергосистемах. Обычно число часов использования установленной мощности угольных ТЭС составляет 5500–6000 в год. Тогда расчетная среднегодовая концентрация вредных веществ в районе электростанции, построенной с учетом обеспечения нормативных требований ПДК, не превысит

$$c_{cpi} = \frac{T_{y,m}}{T_k} \text{ПДК}_{cci}, \quad (4.4)$$

где $T_{y.m}$ – число часов использования установленной мощности электростанции в год (обычно не больше 6000); T_k – календарное число часов в году (8760); ПДК_{cci} – среднесуточная ПДК.

Следовательно, для правильно запроектированной и построенной ТЭС, способной загрязнять окружающую среду летучей золой, ее фактическая среднегодовая концентрация не будет превышать

$$c_{з.сг} = \frac{6000}{8760} 0,15 = 0,102 \text{ мг/м}^3 .$$

Подставляя это значение в формулу (4.1), получаем, что удельный ущерб от заболеваемости людей в связи с выбросами летучей золы для такой ТЭС равен нулю, т. к. концентрация пыли всегда будет ниже ПДК.

Аналогичные результаты получаются и при оценке ущерба, причиняемого людям и коммунальному сектору выбросами диоксида серы и оксидов азота.

Большая сохранность природы и урожаев сельскохозяйственных угодий может быть достигнута за счет дальнейшего ужесточения норм ПДК. Однако это приведет к дополнительным капитальным и эксплуатационным затратам на природоохранные мероприятия на электростанциях. С этой точки зрения постановка задачи об ужесточении норм ПДК в какой-то мере может рассматриваться как проблема экономической оптимизации. Что же касается возможности превышения концентраций сверх санитарно-гигиенических норм, то, очевидно, технико-экономический подход здесь неуместен, и нарушения этих норм недопустимы.

Следует отметить, что нормативные требования по ПДК могут обеспечиваться не только стационарными природоохранными установками и проектными решениями, но и эксплуатационными мероприятиями. Для особо неблагоприятных погодных условий на ТЭС должно быть резервное более экологичное топливо, на сжигание которого она должна переходить в случае угрозы превышения ПДК по природным факторам (неблагоприятные потоки атмосферного воздуха, штили и т. п.). В тех случаях, когда и эти средства недостаточны, должна предусматриваться возможность временного снижения нагрузки или полной остановки электростанций. Для сохранения возможностей качественного и бесперебойного энергоснабжения потребителей в этих условиях системы должны располагать соответствующим резервом мощности.

4.2. Народнохозяйственный ущерб от загрязнения водохранилищ гидроэлектростанций сине-зелеными водорослями

Избыточное цветение воды водохранилищ гидроэлектростанций, вызванное массовым развитием в них сине-зеленых водорослей, отрицательно сказывается на качестве воды. Наибольшее цветение наблюдается в водохранилищах гидроэлектростанций Волжско-Камского и Днепровского каскадов. Однако сине-зеленые водоросли имеются практически во всех слабопроточных водоемах. Избыточное цветение характерно для тех водохранилищ, где оптимально сочетаются наиболее важные факторы развития сине-зеленых водорослей: высокие температуры и прозрачность воды и наличие биогенных элементов. Особенно велики эти процессы в водоемах, куда в больших количествах поступают неочищенные или плохо очищенные сточные воды, содержащие органические и биогенные элементы (фосфор, азот и др.).

Границы цветения водохранилищ определяются совокупностью действия указанных трех факторов.

Разложение отмирающих сине-зеленых водорослей является причиной дефицита кислорода в летнее время в природных слоях водоема. Происходящие при разложении процессы брожения и гниения приводят к появлению в воде летучих веществ, ухудшающих качество воды.

Считается, что развитие сине-зеленых водорослей, как правило, приемлемо до биомассы не более $3-5 \text{ г/м}^3$ и $15-20 \text{ г/м}^3$. При таких концентрациях удовлетворительное санитарное состояние и надлежащее качество воды сохраняются на основной части акватории водохранилищ. Наиболее неблагоприятные последствия наблюдаются при концентрации сине-зеленых водорослей 100 г/м^3 и выше.

На водопроводных станциях в период интенсивного цветения водоросли забивают поры фильтров песчаной загрузки, а слизь, окружающая колонии водорослей, способствует образованию на поверхности фильтра плотной желеобразной пленки, которую трудно удалить. Для промывки фильтров приходится расходовать большое количество чистой воды, а фильтроцикл сокращается с 18–20 до 1–3 ч.

Цветение вызывает трудность и в промышленном водоснабжении, особенно тепловых электростанций, где оно ведет к загрязнению фильтров химводоочистки и отложению слизи в водоводах и теплообменных аппаратах. Это приводит к снижению вакуума в заросших конденсаторах, уменьшению КПД турбин и вызывает перерасход, то-

плива на выработку электроэнергии. Ущерб может быть оценен по стоимости перерасходованного топлива.

Цветение приводит к летним заморам рыбы, в первую очередь молоди. Ущерб может быть определен в денежном выражении по стоимости теряемой рыбной продукции. Для расчета экономической эффективности борьбы с цветением ущерб рыбному хозяйству можно устанавливать по расчетным затратам на возмещение потерь рыбной продукции путем повышения рыбопродуктивности водохранилищ или получения ее в товарных прудовых хозяйствах.

Скопление масс сине-зеленых водорослей становится источником загрязнения прибрежной территории, пляжей, мест отдыха. Ущерб от загрязнения рекреационных территорий складывается из следующих затрат:

- расчетных затрат на освоение новых территорий взамен выходящих;
- ежегодных издержек на очистку мест отдыха, загрязненных выбросами сине-зеленых водорослей;
- транспортных издержек на поездки к удаленным пляжам и местам отдыха;
- транспортных издержек государства на доставку продуктов к новым местам отдыха.

В период интенсивного цветения возможны случаи заболевания людей, вызванные действием токсинов, содержащихся в сине-зеленых водорослях: различные аллергические и воспалительные заболевания кожи, а также желудочно-кишечные заболевания, вызывающие временную потерю трудоспособности.

Ущерб от временной потери трудоспособности состоит из потерь, вызванных невыработкой продукции, затрат на выплату пособий по социальному страхованию, затрат на амбулаторное и стационарное лечение трудящихся.

Таковы основные слагающие народнохозяйственного ущерба от загрязнения водохранилища гидроэлектростанций сине-зелеными водорослями. В зависимости от местных условий возможны и другие составляющие ущерба.

Ограничение цветения может быть достигнуто несколькими методами:

- механическим изъятием водорослей с помощью береговых или плавучих установок, оборудованных всасывающими центробежными насосами;

- аэрацией воды, заключающейся в поддержании степени насыщения воды кислородом, при которой размножение и жизнь сине-зеленых водорослей становятся невозможными;
- воздействием химических препаратов на сине-зеленые водоросли в целях их уничтожения;
- воздушной защитой, заключающейся в преграждении доступа сине-зеленых водорослей к каким-либо участкам водохранилища;
- использование вирусов, вызывающих гибель сине-зеленых водорослей;
- применение растительноядных рыб.

В настоящее время наиболее распространенным методом борьбы с водорослями в водохранилищах является разведение растительноядных рыб – белого амура, толстолобика и ряда других. Однако радикальным методом является механическое изъятие водорослей с помощью береговых или плавучих установок.

5. КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЯ В ПРИРОДООХРАННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

5.1. Общие положения

Удовлетворение требований охраны окружающей среды связано со значительными капиталовложениями. Эти капиталовложения формируются на двух уровнях.

К первому уровню следует отнести затраты на природоохранные мероприятия, осуществляемые непосредственно на объектах электроэнергетики. Это затраты на всевозможные технологические и очистные сооружения, обеспечивающие минимизацию вредного воздействия данного объекта (электростанции, сетевого объекта) на окружающую среду.

Именно об этих объектных затратах принято говорить в тех случаях, когда называются суммы затрат, осуществляемых отраслью или регионом на нужды охраны окружающей среды.

Однако имеются, а в дальнейшем, по-видимому, будут иметь все большее значение и системные экологические затраты, в том числе капитальные, которые связаны с охраной окружающей среды более сложным образом. К такого рода затратам следует относить затраты, которые обусловлены отступлением от экономических оптимумов развития энергетики по условиям охраны окружающей среды. Например, вынос источников электроснабжения из центров нагрузки по экологическим ограничениям. В этом случае возникают дополнитель-

ные затраты на электрические сети, транспортирование топлива и т. п., которые вызваны только необходимостью охраны окружающей среды. К такого же рода затратам следует относить удорожание строительства и эксплуатации топливно-энергетических комплексов, в рамках которых для обеспечения требований охраны окружающей среды приходится сооружать электростанции на значительных расстояниях одна от другой. При этом снижается возможность комплексного использования создаваемых водохранилищ, увеличиваются затраты на строительную базу и т. д.

Перечень вынужденных по экологическим условиям отклонений от чисто экономического оптимума можно продолжить. Он очень велик и многообразен. Однако дать какие-то обобщающие оценки этих затрат практически невозможно ввиду разнообразия возникающих условий, связанных с особенностями отдельных районов, в том числе с характером их экологических ресурсов, и экологическими особенностями источников электроэнергии.

Оценить эту составляющую экологических затрат можно только в результате сопоставления конкретных вариантов развития электроэнергетики, разработанных с учетом и без учета экологических ограничений. Однако такая задача в чистом виде решается очень редко, за исключением рассмотрения вариантов выноса электростанций (в первую очередь атомных) в более благоприятные в экологическом отношении места с образованием так называемых энергетических кустов и комплексов.

Практически при разработке вариантов развития электроэнергетики не преследуются цели установления экологической составляющей системных затрат. Но это ни в коей мере не говорит об отсутствии таких затрат; они достаточно велики и при необходимости могут быть выявлены. Что же касается их учета при сопоставлении вариантов, то он, естественно, имеет место, т. к. в каждом варианте учитываются и дополнительные сетевые затраты, и дополнительные затраты, связанные с изменениями в структуре топливного баланса и в структуре генерирующих мощностей. При этом не разделяются вынужденные решения, принятые по экологическим соображениям, и решения, которые вызываются другими причинами.

Надо сказать, что в электроэнергетике сложности выделения и оценки затрат на защиту окружающей среды имеют место не только в системной части затрат, но и в ее объектной части в связи с тем, что в ряде случаев трудно разделить технологические и природоохранные мероприятия. Примером может служить стоимость дымовых труб элек-

тростанции. Ранее она учитывалась в суммарных природоохранных мероприятиях. В настоящее время из этой графы трубы исключены, что вряд ли можно считать правильным, т. к. они играют важную роль в обеспечении ПДК, способствуя рассеиванию дымовых газов. Однако, по-видимому, нельзя исключать их из затрат технологического цикла, в котором они выполняют самостоятельную важную функцию.

5.2. Объектные затраты на охрану атмосферного воздуха

К числу учитываемых природоохранных установок и сооружений, предназначенных для охраны воздушного бассейна, отнесены: на электростанциях, сжигающих органические виды топлива, – все пылезолоулавливающие установки и установки для очистки дымовых газов, предотвращения пыления золоотвалов; на АЭС – системы очистки вентиляционного воздуха от радиоактивных веществ, а также установки по предупреждению и локализации аварийных выбросов; на всех типах электростанций – системы контроля за вредными выбросами в атмосферу.

Таблица 5.1

Удельные капитальные вложения в золоуловители ГРЭС, р./кВт

Твердое топливо	Капиталовложения, всего	В том числе в строительномонтажные работы
Березовский уголь	8,5	4,2
Остальные виды угля	12	6,0
Торф	3,6	1,8
Сланцы	13,7	6,9

Таблица 5.2

Удельные капитальные вложения в золоуловители ТЭЦ, р./кВт

Уголь	Капиталовложения, всего	В том числе в строительномонтажные работы
Экибастузский	$\frac{17^*}{8,5}$	$\frac{8,5^*}{6}$
Кузнецкий, Канско-Ачинский	9	5,5
Нерюнгринский, Райчихинский, Гусиноозерский	20	10
Донецкий	15	8

*В числителе – при комбинированных золоуловителях, в знаменателе – при мокрых.

Стоимостные оценки очистки дымовых газов от оксидов азота аммиачно-каталитическим методом ввиду отсутствия опыта применения таких установок в отечественной практике являются ориентировочными и принимаются на уровне 50 р./кВт.

Наиболее высокие стоимостные показатели имеют системы очистки дымовых газов электростанций от выбросов сернистых соединений. В настоящее время эти показатели составляют 40–150 р./кВт. В последнем случае в стоимость установки включаются затраты на подготовку реагентов и доведение отходящего продукта до товарного состояния (гипс и т. п.) в целях его реализации.

Таким образом, удельные капиталовложения в охрану атмосферного воздуха на электростанциях, сжигающих органические виды топлива, по трем учитываемым ингредиентам (зола, оксиды серы и азота) в сумме могут варьироваться в широких пределах – от 60 до 200 р./кВт, что составляет 15–50 % удельной стоимости 1 кВт установленной мощности ТЭС).

По имеющимся оценкам ВТИ и других организаций кардинальными мероприятиями по снижению выбросов токсичных газов (в 2–3 раза) являются:

- создание новых типов котлов для крупных энергоблоков с применением низкотемпературного сжигания топлива (с вихревыми топками или «кипящим» слоем);

- создание новых технологий с газификацией твердого топлива (в частности, парогазовых установок с внутрицикловой газификацией).

Для АЭС удельные капиталовложения в атмосфероохранные мероприятия оценивают в 12 р./кВт, в том числе стоимость очистных фильтров в пределах 0,5–1 р./кВт.

Все представленные выше стоимостные оценки даны без учета происходящей в настоящее время инфляции и отвечают уровню цен до 1 января 1991 г.

5.3. Капиталовложения в водоохранные сооружения тепловых электростанций

Капиталовложения в водоохранные сооружения вновь вводимых тепловых электростанций оцениваются в соответствии с «Перечнем водоохраных установок и сооружений на объектах электроэнергетики».

Комбинация этих водоохраных сооружений зависит от системы охлаждения, вида используемого топлива (наличия системы гидрозолаудаления, способной принять значительную часть сточных

вод), состояния водного объекта, в который сбрасываются сточные воды (его водности, качественного состояния), и т. д. Часть водоохраных сооружений (системы возврата осветленной воды ГЗУ в циклы ТЭС, противофильтрационные мероприятия в том или ином объеме, установки по очистке сточных вод химводоочистки, узлы нейтрализации на ВПУ, хозяйственно-бытовая канализация, очистные сооружения нефтесодержащих стоков и др.) является обязательной в составе сооружений водообеспечения ТЭС. Такие водоохраные сооружения рассматриваются в качестве базовых. Необходимость в других водоохраных сооружениях связана с конкретными условиями местоположения электростанции. К ним относятся, например, доохлаждающие устройства при прямоточной системе водоснабжения и оборотной системе с русловым водохранилищем-охладителем, предотвращающие «тепловое загрязнение» водных объектов совместного пользования, выпарные устройства для ликвидации минерализованных стоков и др.

При наличии проектов капиталовложения в водоохраные сооружения по вновь вводимым ТЭС принимаются по проектным проработкам. При их отсутствии размер капиталовложений определяется по электростанциям-аналогам. Для прогнозной оценки капитальных затрат на водоохрану на предпроектной стадии могут быть использованы укрупненные удельные показатели стоимости водоохраных сооружений (р./кВт), полученные путем обобщения проектных проработок. Укрупненные удельные капитальные затраты на охрану вод по ГРЭС и АЭС приведены в таблице 5.3, по ТЭЦ – в таблице 5.4. Данные таблицы 5.3 получены на базе проработок Теплоэлек-тропроекта; данные таблицы 5.4 учитывают проработки ВНИПИэнергопрома по обобщению и укрупнению стоимостных показателей водоохраных сооружений конкретных ТЭЦ, проектная документация которых выполнена в 1978–1985 гг. и содержит новые проектные решения, учитывающие требования охраны окружающей среды.

Таблица 5.3

Средние удельные капиталовложения* в водоохраные сооружения конденсационных электростанций, р./кВт

Сооружение	АЭС	ГРЭС
Обратная система охлаждения:		
– с водохранилищем-охладителем	24	19
– с испарительной градирней	39	28,7

Окончание табл. 5.3

Сооружение	АЭС	ГРЭС
Сооружения по доохлаждению	–	7,6
Система возврата осветленной воды (оборотная система ГЗУ)	–	0,8
Противофильтрационные мероприятия на золоотвале	–	1,6
Рассеивающие выпуски сточных вод	–	0,8
Рыбозащитные сооружения на водозаборе	0,3	0,3
Сооружения по очистке сточных вод:		
– нефтесодержащих	0,2	0,3
– кислотных промывок и РВП	–	0,04
– ВПУ (нейтрализация, испарители)	0,8	0,2
	1,5	0,4
– хозяйственно-бытовых	1,4	1,6
– ливневых (ливневая канализация)	0,4	0,3

*Данные приведены в ценах 1984 г.

Таблица 5.4

Средние удельные капиталовложения в водоохранные сооружения теплоэлектростанций, р./кВт

Сооружение	Вид топлива	
	уголь	газ, мазут
Оборотная система технического водоснабжения с градирнями	24,8	24,8
Устройство механической очистки	3,4	3,4
Устройство физико-химической очистки	3,9	5,3
Сооружение по возврату осветленной воды с золоотвалов ГЗУ в циклы ТЭЦ	4,5	–
Экраны золоотвалов	3,0	–
Накопители солевых стоков, шламоотвалы	–	1,8

При оборотной системе технического водоснабжения ТЭС с водохранилищем-охладителем 60–70 % капиталовложений в систему охлаждения следует относить к вводу первого блока, остальную часть – пропорционально вводимой мощности.

Из общих капиталовложений в водоохранные сооружения должны быть выделены капиталовложения на строительные-монтажные работы, которые принимаются по проектным проработкам, а при их отсутствии равными $0,8K$, где K – общие капиталовложения в водоохранное сооружение.

5.4. Капиталовложения в охрану и использование земельных ресурсов

5.4.1. Капиталовложения в охрану земель

Капиталовложения в охрану земель складываются, во-первых, из затрат на мероприятия по защите земель – строительство противоэрозионных, противоселевых, противооползневых, берегоукрепительных инженерных сооружений, а применительно к гидроэлектростанциям сооружений по защите земель от затопления, подтопления и переформирования берегов водохранилищ и, во-вторых, из затрат на мероприятия по рекультивации земель.

Стоимость защитных мероприятий по различным объектам электростанций может колебаться в значительных пределах. Ее размеры могут быть определены расчетом применительно к конкретным объектам и в зависимости от состава мероприятий, заложенных в соответствующих проектах.

Для ГРЭС удельная площадь рекультивируемых земель 5 га/кВт; удельная стоимость рекультивации по всем районам РФ (кроме Крайнего Севера) – 20 тыс. р., для районов Крайнего Севера – 40 тыс. р./га.

Для АЭС с числом реакторных блоков два и более площадь рекультивируемых земель может быть принята в размере 120 га/кВт; расходы на рекультивацию равными 550 тыс. р. на АЭС.

По проработкам ВНИПИЭнергопрома укрупненные удельные нормы рекультивации земель при сооружении ТЭЦ, которые могут быть использованы в перспективных работах, составляют: 0,18 га/МВт, 600 р./МВт, 3200–3500 р./га.

5.4.2. Затраты на компенсацию земель, изымаемых под объекты электроэнергетики

Требования компенсации изымаемых сельскохозяйственных земель, отводимых под объекты электроэнергетики, получили свою правовую основу с принятием в конце 60-х годов «Основ земельного законодательства Союза ССР и союзных республик», где в статье 19 записано, что изъятие сельскохозяйственных земель под строительство промышленных объектов должно быть компенсировано освоением равновеликой площади новых земель с проведением на них соответствующих работ по окультуриванию и повышению плодородия.

В целях учета качества изымаемых земель и обеспечения соизмеримости нормативов для их определения должны использоваться общесоюзная группировка почв и единая базисная цена условного кадастрового гектара, установленная по результатам оценки земель в СССР по единой общесоюзной методике.

За один кадастровый гектар принята продуктивность 1 га пахотных земель в безрентных условиях производства, которая рассчитывается как средняя по стране стоимость валовой продукции земледелия в кадастровых ценах за вычетом дифференциального дохода. По итогам оценки земель 1980 г. она равна 210 р./га пашни. Соизмеримая площадь в условных кадастровых гектарах определяется путем деления продуктивности (показателя оценки земель по стоимости валовой продукции, р./га) на цену условного кадастрового гектара. Нормативы для каждой общесоюзной группы почв по земельно-оценочным районам рассчитываются как произведение площади в условных кадастровых гектарах на средневзвешенную стоимость освоения 1 га новых земель в республике.

На основании указанных выше методических положений в республиках разработаны или разрабатываются новые, уточненные нормативы стоимости освоения земель взамен изымаемых для несельскохозяйственных нужд.

6. ПРИРОДА И ПРОБЛЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

6.1. Общие положения

Требования охраны природы являются одним из важнейших факторов, влияющих на условия развития и размещения объектов электроэнергетики. Под требованиями охраны природы подразумеваются не только требования, связанные с защитой ее от загрязнения вредными выбросами, но и с охраной и рациональным использованием природных ресурсов.

Применительно к электроэнергетике к числу последних должны быть отнесены топливно-энергетические, земельные, водные и воздушные ресурсы, потребности отрасли в которых значительны.

Рационализация использования топливно-энергетических ресурсов и топливно-энергетического баланса электроэнергетики определяет условия и характер развития электроэнергетики, и в первую очередь, структуру генерирующих мощностей. В большой мере требо-

вания охраны природных ресурсов влияют на условия размещения объектов электроэнергетики.

Проблемы размещения объектов электроэнергетики кроме экологических ограничений связываются и с другими факторами, к числу которых относится стремление:

- приблизить электростанции к центрам нагрузки в целях сокращения затрат на электрические сети и технологических расходов электроэнергии в них;

- оптимальным образом ориентировать электростанции по отношению к топливной базе, транспортным артериям, источникам водоснабжения;

- размещать электростанции на наименее освоенных, малоценных и малопригодных для сельскохозяйственного производства территориях, обладающих благоприятными для строительства природными условиями.

Перечисленный далеко не полный набор требований в ряде случаев противоречив и ставит перед разработчиками ряд сложных проблем, требующих компромиссных решений при окончательном выборе площадок для размещения отдельных электростанций. Естественно, что такой выбор может быть осуществлен только в процессе тщательного рассмотрения конкретных альтернативных пунктов возможного размещения объекта, согласования их со всеми заинтересованными организациями, комплексного экономического и экологического сопоставления вариантов. Этот процесс, чрезвычайно трудоемкий и дорогостоящий, может быть существенно облегчен, если рассматриваемую территорию предварительно районировать по принципу предпочтительности для размещения объектов электроэнергетики по тем или иным объективным признакам. К числу таких признаков в настоящей работе отнесены следующие характеристики:

- земельные ресурсы, определяющие их наличие и качество;
- водообеспеченность территории;
- экологические ресурсы атмосферного воздуха;
- природные, физико-географические условия строительства и эксплуатации электростанций.

6.2. Водообеспеченность территории

Водообеспеченность территории характеризует условия удовлетворения потребности электростанций в воде и в значительной мере определяется объемом имеющихся на ней естественных водных ре-

сурсов. Однако не весь объем этих ресурсов может быть использован в народном хозяйстве. Часть воды должна оставаться в водном объекте. Поэтому водообеспеченность определяется двумя понятиями: располагаемые водные ресурсы и неиспользованные водные ресурсы (свободные).

Объем располагаемых водных ресурсов характеризует потенциальную водообеспеченность народного хозяйства; объем неиспользованных водных ресурсов – водообеспеченность народного хозяйства в конкретный момент времени.

Под располагаемыми (доступными к использованию) водными ресурсами понимается разность между объемами естественных водных ресурсов расчетной обеспеченности и водных ресурсов, резервируемых в речных бассейнах для удовлетворения санитарных требований.

Под неиспользованными (свободными) водными ресурсами подразумевается объем водных ресурсов, который может быть использован для развития народного хозяйства.

Оценка неиспользованных водных ресурсов речного бассейна является трудоемкой задачей, сложность решения которой зависит от степени хозяйственной освоенности водных ресурсов водотока и противоречивости требований различных водопользователей к попусковому режиму, особенно в низовьях зарегулированных водотоков, в связи с чем комплексные водохозяйственные попуски должны быть в достаточной степени обоснованными, и т. д.

Таким образом, если объем располагаемых водных ресурсов речного бассейна зависит от объема его естественных водных ресурсов, то размер неиспользованных ресурсов зависит также от степени освоения естественных водных ресурсов народным хозяйством.

Суммарный сток рек представляет собой средний ежегодно возобновляемый объем водных ресурсов бывшего СССР без учета многолетних запасов вод, аккумулированных в озерах, болотах, ледниках, высокогорных снежниках, и не дренируемых реками подрусовых и глубоких подземных вод.

Данные, характеризующие водные ресурсы рек в средний по водности год, приведены в таблице 6.1.

Водные ресурсы республик (государств), как видно из данных табл. 6.1, состоят из вод местного стока, объем которого зависит от климатических условий и размера занимаемой площади, и вод, поступающих из соседних районов, а в некоторых республиках частично

из-за границы. Большая часть водных ресурсов страны (91 %) приходится на Россию, причем они почти полностью (на 95 %) являются местными, т. е. формируются на территории республики. Полностью определяются местным стоком водные ресурсы Кыргызстана и Эстонии. В то же время водные ресурсы таких республик, как Молдавия, Туркменистан, Узбекистан формируются водами, поступающими из других республик.

Водообеспеченность отдельных республик различна. Наиболее обеспечены местными водными ресурсами в год средней водности (тыс. м³/км²) Грузия – в среднем 769, Таджикистан – 358, Кыргызстан – 275, Латвия – 268, Эстония – 259, Россия – 235, наименее обеспечены водой Туркменистан – в среднем 2, Молдавия и Казахстан – 24, Узбекистан – 27.

Таблица 6.1

Водные ресурсы

Государство	Площадь, тыс. км ²	Водные ресурсы		
		формирующиеся в пределах республики	поступающие из сопредельных районов	суммарные
Россия	16905* 17075	3977* 4003	194	4171* 4197
Украина	603,7	49,9	159***	208,9
Молдавия	33,7	0,81	10,6	11,4
Белоруссия	207,6	36,4	21,3	57,7
Эстония	45,1	11,7	0,09	11,8
Латвия	63,7	17,1	18,3	35,4
Литва	65,2	15,3	11,0	26,3
Грузия	69,7	53,6	9,2	62,8
Азербайджан	86,6	8,71	21,9	30,6
Армения	29,8	6,5	1,38	7,9
Казахстан	2666,8** 2717,3	64,8	56,3	121,1
Узбекистан	415,6** 447,4	11,1	106	117,1
Кыргызстан	192,3** 198,5	52,8	0	52,8
Таджикистан	143,1	51,2	20,0	71,2

Государство	Площадь, тыс. км ²	Водные ресурсы		
		формирующиеся в пределах республики	поступающие из сопредельных районов	суммарные
Туркменистан	488,1	1,0	67,6	68,6
В целом по стране	22016***	4358*		4688*
	22274,5	4384	330***	4714

*Без крупных островов Северного Ледовитого океана.

**Без бессточных водоемов оз. Балхаш и части Аральского моря в Казахстане, части Аральского моря в Узбекистане и оз. Иссык-Куль в Кыргызстане.

***Воды, поступающие в пределы бывшего СССР из зарубежных стран, из них 123 км³ на Украине по р. Дунай.

В отличие от располагаемых водных ресурсов, количество которых зависит только от объема естественных водных ресурсов, размер неиспользованных водных ресурсов определяется, как уже отмечалось, также и степенью использования водных ресурсов в народном хозяйстве. Поэтому понятие неиспользованные водные ресурсы относится к конкретному моменту времени.

В настоящее время положение с объемами неиспользованных водных ресурсов в региональном разрезе достаточно сложное. Неравномерность распределения естественных водных ресурсов, при которой только 13 % этих ресурсов приходится на южную зону (юг европейской части, Средняя Азия, юг Казахстана), осложняется высокой степенью промышленного и сельскохозяйственного освоения этой зоны. На европейской территории страны (ЕТС) при примерно одинаковом объеме естественных водных ресурсов рек северного и южного склонов более 95 % современной потребности в воде приходится на южную зону. В связи с этим в настоящее время неиспользованные водные ресурсы ряда речных бассейнов этой зоны, таких, как Дон, Кубань, Урал и др., в условиях маловодных лет крайне ограничены, что уже сейчас создает определенные трудности с обеспечением водой.

Для ориентировочной оценки неиспользованных водных ресурсов речного бассейна могут быть применены следующие выражения.

Для незарегулированных водотоков объем неиспользованных водных ресурсов речного бассейна в расчетных гидрологических условиях (маловодного года 75%-ной обеспеченности или очень маловодного года 95%-ной обеспеченности)

$$W_{\text{н.в.р}} = W - W_{\text{мин}} - W_{\text{б.п}}, \quad (6.1)$$

где W – объем естественных водных ресурсов речного бассейна в расчетных гидрологических условиях; $W_{\text{мин}}$ – объем воды, резервируемой в водотоке; $W_{\text{б.п}}$ – объем безвозвратного водопотребления и потеря воды отраслями народного хозяйства (водопотребителями) на рассматриваемом временном уровне.

Для зарегулированных водотоков

$$W_{\text{н.в.р}} = W - \sum_{i=1}^n W_i - W_{\text{б.п}}, \quad (6.2)$$

где $\sum_{i=1}^n W_i$ – комплексный водохозяйственный попуск, учитывающий требования n водопользователей; i – номер водопользователя.

Значение $W_{\text{н.в.р}} = 0$ означает, что располагаемые водные ресурсы речного бассейна исчерпаны; $W_{\text{н.в.р}} < 0$ означает, что в речном бассейне имеется дефицит водных ресурсов.

В число отраслей народного хозяйства, которые являются не только водопользователями, но и водопотребителями, входят орошаемое земледелие и водоснабжение всех видов: коммунальное, промышленное, теплоэнергетики, сельскохозяйственное.

К водопользователям относятся рыбное хозяйство, гидроэнергетика и водный транспорт. Кроме того, на правах «участника» водохозяйственного комплекса можно рассматривать мероприятия по охране водных объектов от истощения, для чего требуются сохранение минимального расхода воды в реке и промывка отдельных участков рек в период половодий. На зарегулированных водотоках для этой цели предусматриваются специальные природоохранные пропуски из водохранилищ.

Водохозяйственные системы речных бассейнов, состоящие из комплекса водопользователей и водопотребителей, имеют сложную структуру с многочисленными связями и противоречиями между ее компонентами. В связи с этим при выборе варианта развития водохозяйственной системы речного бассейна в условиях ограниченности водных ресурсов, и прежде всего при определении объема комплексного водохозяйственного попуска $\sum_{i=1}^n W_i$ требуется провести большое

количество обосновывающих расчетов. В этих условиях решение вопросов водообеспечения народного хозяйства в объеме, необходимом для возмещения безвозвратного водопотребления и потерь воды, должно базироваться на обоснованных критериях приоритетности размещения новых водоемких производств в речных бассейнах с ограниченными свободными водными ресурсами.

Информация об объемах располагаемых и неиспользованных водных ресурсов может быть получена из схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов России, а также из схем использования водных ресурсов конкретных речных бассейнов.

Имеются два направления использования водных ресурсов тепловыми электростанциями, зависящие непосредственно от водообеспеченности региона. Первое заключается в том, что базовая система технического водоснабжения ТЭС определяется количеством располагаемых водных ресурсов водотока – источника водоснабжения электростанции. Второе состоит в том, что источник водоснабжения ТЭС должен выбираться с учетом наличия в нем свободных водных ресурсов для возмещения безвозвратных потерь воды, имеющих место при производстве электроэнергии на тепловых электростанциях. При размещении новых мощных ТЭС в речных бассейнах с ограниченными водными ресурсами могут появиться сложности с их водообеспечением.

Анализ водохозяйственных балансов основных речных бассейнов страны, разработанных в составе схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов России, показывает, что уже в настоящее время бассейны рек Дона, Кубани, Урала, Терека, Куры, Самура, Амударьи, Сырдарьи, Чу, мелких рек Приазовья не располагают водными ресурсами, достаточными для обеспечения требований водопользователей (рыбное хозяйство, транспорт, гидроэнергетика и др.) и водопотребителей в условиях среднемаловодного года (75%-ной обеспеченности), т. е. являются дефицитными. Ограничены водные ресурсы рек Днепра, Ю. Буга, Днестра, Миасса и др. В условиях очень маловодного года 95%-ной обеспеченности в настоящее время имеется дефицит стока в бассейне р. Днепра даже при сокращении в такие годы недопотребления на орошение на 20 %.

В связи с этим на европейской территории бывшего СССР размещение новых АЭС в речных бассейнах южного склона проблематично. Предпочтительнее располагать их в речных бассейнах северного склона, имеющих существенные избытки стока.

Таким образом, возможности развития теплоэнергетики и размещения новых электростанций определяются не только объемом располагаемых водных ресурсов, но и степенью освоенности территории. В развитых районах существенно сокращается количество неиспользованных водных ресурсов. С этих позиций предпочтительно размещение новых ТЭС в речных бассейнах северного склона.

6.3. Обеспеченность земельными ресурсами

Земельный фонд бывшего СССР составлял 2231 млн га, из которых по состоянию на 1987 г. на сельхозугодья приходится 604,9 млн га, включающих 228,2 млн га пашни, 39,4 млн га сенокосов, 332,2 млн га пастбищ и 5,1 млн га прочих сельхозугодий.

Несмотря на колоссальные масштабы, земельный фонд страны далеко не беспределен. При этом надо иметь в виду, что в силу разнообразия природных условий – климата, рельефа, почвенного покрова и др. – не всегда и не везде он может быть в одинаковой степени использован для многообразных народнохозяйственных целей.

Освоенность земельных ресурсов, возможности их использования в различных зонах страны также неодинаковы, и уже в настоящее время имеются районы, где исчерпаны или почти исчерпаны возможности дополнительного вовлечения земельных ресурсов в хозяйственный оборот. Это западные, центральные и южные районы европейской части, Закавказье и некоторые другие.

В системе народнохозяйственного использования земельных ресурсов главным является сельскохозяйственное производство, где земля выступает в качестве непосредственной производительной силы.

При размещении объектов теплоэнергетики в первую очередь должны быть использованы несельскохозяйственные земли.

По данным Государственного института земельных ресурсов в целом по стране имелось по состоянию на 01.09.85 г. 18,5 млн га резервов земель в границах несельскохозяйственного использования. Однако распределение этих ресурсов по республикам и экономическим районам России далеко неравномерно и не всегда соответствует потребностям в размещении объектов теплоэнергетики.

Кроме того, надо учитывать, что резервные земли нужны и для других народнохозяйственных потребностей кроме теплоэнергетики, в первую очередь, для развития населенных пунктов.

Из этого следует вывод, что имеющиеся резервы не позволяют повсеместно обеспечить отвод земель под объекты теплоэнергетики

за счет земель несельскохозяйственного назначения. Поэтому в перспективе для размещения энергетических объектов потребуется дополнительное изъятие сельскохозяйственных земель, что связано с немалыми трудностями при согласовании их отвода с местными органами власти. Надо учитывать также, что стоимости отвода сельскохозяйственных земель под промышленные объекты значительно выросли за последнее время, что ставит под сомнение в отдельных случаях экономическую целесообразность строительства энергетических объектов, в особенности гидроэлектростанций, если они займут большие сельскохозяйственные площади.

В перспективе ожидается существенный рост площади земельных ресурсов, отводимых под водохранилища гидроэлектростанции в азиатской части. На европейской территории страны, в ее центральной и южной частях отводы земель под объекты электроэнергетики будут сравнительно невелики. Однако даже небольшие изъятия земель в указанных районах европейской части нежелательны ввиду высокой их ценности для сельскохозяйственного производства и дефицитности. В связи с этим дальнейшее интенсивное развитие электроэнергетики в этих районах должно быть ограничено. Следует рассмотреть возможность переноса центра тяжести строительства новых объектов в северо-восточные районы европейской территории страны с размещением там, например, крупных АЭС и энергокомплексов и замкнутым циклом производства ядерной энергетики (получение ядерного топлива, его использование, хранение и захоронение).

6.4. Экологические ресурсы воздушного бассейна

Ресурсы воздушного бассейна используются в основном тепловыми электростанциями, сжигающими органические виды топлива. Прямое расходование ресурсов воздушного бассейна связано в первую очередь с потреблением значительного количества кислорода воздуха в процессе сжигания топлива.

Этот ресурс в принципе можно считать равномерно распределенным по территории страны, во всяком случае, в такой мере, что он не может оказать заметного влияния на требования к размещению ТЭС.

В качестве экологического ресурса воздушного бассейна для размещения электростанций (и, наверное, любых других объектов, способных загрязнять воздушный бассейн) может выступать допус-

тимая по санитарно-гигиеническим условиям концентрация вредных веществ в воздушном бассейне. Если исходить из того, что ПДК вредных веществ в атмосфере достаточно правильно и надежно определены соответствующими нормативами, то отсутствие экологических ресурсов атмосферного воздуха в любом рассматриваемом районе будет соответствовать условиям, когда фактические (фоновые) концентрации вредных веществ в воздухе равны или превышают уровень ПДК (независимо от того, чем определяется этот уровень – естественными или антропогенными воздействиями).

Совершенно очевидно, что в тех местах, в атмосфере которых отсутствуют экологические ресурсы по уровню ее загрязнения, можно располагать только такие новые предприятия, которые совсем не выбрасывают вредных веществ в атмосферу. Предприятия, способные загрязнять атмосферу, можно строить лишь при условии, что есть возможность снизить уровень фоновых загрязнений путем проведения эффективных мероприятий на других, в том числе и на действующих, производствах.

В ряде случаев фоновые загрязнения атмосферы могут быть ниже ПДК, т. е. имеется некоторый экологический резерв для размещения электростанции и других промышленных производств – потенциальных загрязнителей воздушного бассейна. Однако в таких районах к экологической чистоте новых предприятий должны предъявляться повышенные требования, которые не всегда могут быть обеспечены. В этих условиях, так же как и в условиях отсутствия экологических резервов воздушного бассейна, требуется вынос источников энергоснабжения в районы, где такие ресурсы имеются (с соответствующим удорожанием сетевого строительства), или применение таких источников, работа которых не связана с загрязнением воздушного бассейна (к их числу в первую очередь относятся гидроэлектростанции).

Анализ «экологической занятости» воздушного бассейна страны выбросами промышленных предприятий показывает, что наиболее сложная экологическая обстановка складывается на европейской территории страны, в центральной части которой имеются значительные районы, где экологические резервы практически исчерпаны, особенно в южной половине. В северных и северо-восточных районах «экологическая занятость» воздушного бассейна находится на среднем уровне, хотя и здесь имеются отдельные очаги высокой «занятости», приуроченные к крупным промышленным зонам и городам.

Более благоприятная экологическая обстановка наблюдается в восточных районах страны, в том числе в ее азиатской части, на северо-востоке которой имеются обширные территории с воздушным бассейном, в котором практически нет вредных выбросов, за исключением редких очагов небольшой экологической нагрузки.

Из сказанного следует, что экологические ограничения по размещению электростанций, сжигающих органические виды топлива, связанные с отсутствием экологических резервов воздушного бассейна, наиболее серьезно скажутся в центральной, южной и юго-западных частях европейской территории.

Менее жесткими являются ограничения по размещению ТЭС в азиатском регионе. Однако и здесь эти ограничения существенно зависят от степени обжитости территории.

Представленная выше общая характеристика экологических ресурсов воздушного бассейна страны имеет предварительный характер, хотя она и отражает складывающееся на территории страны положение с экологическими ресурсами воздушного бассейна и дает представление о том, в каких регионах возникнут наибольшие сложности с размещением электростанций, сжигающих органические виды топлива. Для выработки более определенных выводов и оценок, способствующих заблаговременному прогнозу условий размещения электростанций, оснащения их средствами охраны природы, требуется дальнейшее изучение проблемы с ориентацией на результаты, пригодные для современных условий достаточно отдаленной перспективы.

Последнее особенно важно в связи с тем, что в значительной мере экологические резервы атмосферного воздуха определяются антропогенными воздействиями, уровень и характер которых зависят от темпов, направления и условий развития отраслей народного хозяйства.

6.5. Условия, влияющие на развитие и размещение атомных электрических станций (АЭС)

Атомные электростанции, как это уже неоднократно отмечалось, не загрязняют атмосферу дымовыми газами, в связи с чем их размещение не зависит от экологических ресурсов воздушного бассейна.

Что же касается земельных и особенно водных ресурсов, то АЭС используют их в не меньшей степени, чем электростанции, сжигающие органические виды топлива.

Основная специфическая особенность АЭС заключается в ее работе на ядерном топливе и в опасности радиоактивного заражения окружающей среды.

При аварийных выбросах на АЭС в окружающую среду могут попасть радионуклиды (РН) и произойдет загрязнение водных экосистем, почвенной среды. Радиационному воздействию в таких случаях подвергаются человек, природная флора и фауна, сельскохозяйственные растения и домашние животные. Проникая через пищевые цепи в организм человека, РН могут вызывать в нем различные изменения и болезни, например, бесплодие, рак, глаукому, уродства, связанные с генетическими нарушениями, и др. Один из путей проникновения радионуклидов в организм человека – пищевой. Травостой пастбищ и сельскохозяйственные посевные культуры являются основным звеном в пищевой цепочке поступления РН в сельскохозяйственную продукцию, в том числе в продукцию животноводства (мясо, молоко), и далее к человеку.

Вовлечение радионуклидов в сельскохозяйственные цепочки миграции прежде всего будет определяться доступностью РН для корневого усвоения из почвы и степенью загрязнения вод, используемых для полива и питья, т. е. будет зависеть от их распределения в профиле почвы и подвижности.

Очень важным санитарно-гигиеническим фактором являются физико-химические свойства почв. Например, подвижность РН и их доступность растениям, вероятность загрязнения сопредельных сред на малокультуренных, особенно песчаных, почвах довольно велики. Такие почвы относятся по этому признаку (проникновение РН в пищевые цепи) к критическим. И, наоборот, плодородные, высококультуренные, глинистые почвы с высокой емкостью поглощения являются барьером на пути проникновения РН в сельскохозяйственную продукцию. Однако при значительном накоплении РН повышается радиационный фон, кроме того, часть РН остается доступной для растений в течение десятилетий.

Отмеченные особенности АЭС заставляют предъявлять повышенные требования к их безопасности и экологической надежности, что не может не сказаться на условиях их размещения по территории страны.

В настоящее время требования к размещению АЭС, обеспечивающие их радиационную безопасность для населения и природы, регламентируются нормативными документами.

В соответствии с этими требованиями при выборе места строительства АЭС должны обеспечиваться: безопасность АЭС, радиационная безопасность населения и охрана окружающей среды за счет технических средств, организационных мер, достаточного удаления АЭС от населенных пунктов, промышленных предприятий, промышленных комплексов.

При определении местоположения и мощности АЭС в первую очередь необходимо исходить из требований радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды района при нормальной эксплуатации станции и в аварийных ситуациях.

При оценке пригодности рассматриваемой территории для размещения АЭС и решения вопроса о ее предельной мощности должны учитываться:

- факторы, связанные с непосредственным влиянием АЭС на окружающую среду и радиационной безопасностью населения;
- условия взаимодействия АЭС с объектами, событиями и воздействиями, связанными с деятельностью человека;
- природные условия, влияющие на безопасность атомной электростанции.

Требования к размещению АЭС, вытекающие из условий обеспечения радиационной безопасности населения, ограничивают плотность населения в зоне радиусом 25 км вокруг АЭС, регламентируют расстояния от АЭС до городов, объектов культуры и здравоохранения, расположенных вне населенных пунктов (25–100 км в зависимости от численности населения).

Предварительный анализ условий удовлетворения этих требований в густонаселенных районах европейской территории страны свидетельствуют о чрезвычайной сложности изыскания здесь площадок, соответствующих перечисленным требованиям. Более или менее благоприятные территории по этому признаку имеются только в северной и северо-восточной частях.

Помимо этого не допускается размещение АЭС ближе чем в 1 км от береговой линии водных объектов общего пользования.

Ограничения на размещение АЭС связываются и с возможностями их неблагоприятного взаимодействия с объектами и событиями, обусловленными деятельностью человека.

Так, не допускается возведение АЭС на территориях, потенциально подверженных затоплению волной прорыва напорных фронтов

вышележащих водохранилищ; в районах расположения объектов, эксплуатация которых связана с возможностью возникновения аварий, пожаров, взрывов и других факторов, способных повлиять на безопасность АЭС.

По природным условиям сооружение АЭС не допускается:

- в пределах зон с активностью максимального расчетного землетрясения более 8 баллов (по шкале М8К-64);

- на площадях, в пределах которых имеются толщи структурно и динамически неустойчивые, сильно сжимаемые, просадочные, водорастворимых и разжиженных грунтов мощностью более 45 м;

- в пределах площадок, на которых установлены наличие активного карста или возможность активизации суффозионно-карстовых процессов, тектонически активных в последние 2 млн лет разломов, а также потенциально опасных для АЭС обвалов, оползней и селевых потоков;

- на территориях, подверженных затоплению волнами цунами, катастрофическими паводками и наводнениями с учетом ледовых заторов, ветровых нагонов и приливных-отливных явлений;

- в районах, не располагающих водными ресурсами, достаточными (при обеспеченности 99 %) для восполнения потерь в системах охлаждения АЭС, и не имеющих надежных источников для восполнения потерь воды в системах охлаждения реакторной установки, важных для безопасности электростанции.

К неблагоприятным для размещения АЭС относятся: территории со штилями и слабыми ветрами со скоростью до 2 м/с, инверсиями и туманами; территории, подверженные воздействию ураганов, тайфунов и смерчей, с активно развивающимися процессами деформации русел рек и берегов водоемов; площадки, где вода в источнике водоснабжения имеет высокую химическую и биологическую загрязненность; территории с многолетнемерзлыми нескальными грунтами, с высоким уровнем подземных вод, со значительной толщиной (10 м и более) хорошо фильтрующих грунтов, а также сильно трещиноватыми и крупноблочными скальными грунтами с низкой сорбционной способностью; зоны с магнитудами зарегистрированных землетрясений с устойчивой сейсмической активностью.

Если при рассмотрении территории для размещения АЭС выявляется, что она не удовлетворяет хотя бы одному из ограничивающих требований, то строительство АЭС на такой территории исключается.

Сооружение АЭС в неблагоприятных зонах допускается только при условии разработки и осуществления специальных инженерных мероприятий, обеспечивающих безопасность станции.

Районирование европейской части страны по природным физико-географическим условиям размещения новых АЭС показывает, что наиболее благоприятные природные условия для строительства АЭС имеются в ее средней полосе, где в наименьшей степени вероятны природные катаклизмы типа землетрясений, селей, катастрофических наводнений, тайфунов и т. п.

Однако именно эти районы, наиболее освоенные в хозяйственном отношении, характеризуются очень высокой плотностью населения и интенсивным ведением сельского хозяйства. В связи с этим в этих районах изыскания площадок под новые АЭС встречают наиболее серьезные трудности.

Противоречивость условий, определяющих возможности размещения АЭС, прослеживается и в наиболее северных районах европейской части, где низка освоенность территории, нет особо ценных сельскохозяйственных угодий, мала плотность населения, в результате чего имеются достаточно обширные территории, в пределах которых могут быть обеспечены условия необходимого удаления АЭС от населенных пунктов.

Однако именно в этих районах ограничения на возведение АЭС накладывают наличие вечномерзлых грунтов и чрезвычайная уязвимость природы тундры.

В целом по совокупности природных и экологических условий наименьшие сложности для размещения АЭС имеются в северных и северо-восточных районах европейской части страны, расположенных южнее зоны вечной мерзлоты и тундры. Но это не означает, что только здесь можно возводить будущие АЭС. Речь идет лишь о местах, наименее уязвимых с экологической точки зрения по сравнению с другими районами.

Указанное обстоятельство, по-видимому, необходимо учитывать при анализе возможных районов размещения АЭС. Однако при окончательном решении должно учитываться большое число других факторов, в том числе и отношение к нему местных властей и общественности.

7. ПРОБЛЕМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ МОЩНОСТЕЙ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ (ТЭС)

7.1. Постановка задачи

При разработке прогноза развития и размещения объектов электроэнергетики возникает необходимость оценить предельную мощность электростанций, которые по экологическим условиям можно расположить в рассматриваемом районе с учетом вида топлива.

В настоящей главе представлена математическая модель оценки основных параметров ТЭС на органическом топливе, связанных с охраной атмосферы. Эта модель представляет собой совокупность формул, в которых учитываются все факторы, обеспечивающие соблюдение норм ПДК вредных веществ в атмосфере. По этим формулам можно рассчитывать предельную единичную мощность электростанции, которую допустимо на ней развить по условиям охраны воздушного бассейна.

В основу разработки модели положены ПДК, которые регламентированы нормами, закреплены законодательством и нарушаться не должны. Концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы не должны превышать нормативных значений ПДК в сумме с фоновыми загрязнениями от выбросов предприятий других отраслей народного хозяйства и природных процессов.

Для того чтобы соблюсти это условие, следует:

- обеспечить необходимые масштабы подавления выбросов электростанций;
- предусмотреть наиболее целесообразное расположение электростанций, чтобы фон загрязнений был меньше и условия их рассеивания лучше;
- при необходимости ограничить единичную мощность электростанции.

Количественная оценка этих факторов связана с использованием разнородной исходной информации, которую нужно учитывать одновременно. Это должно существенно упрощаться при наличии связывающих эти факторы единых зависимостей.

Электростанция характеризуется рядом параметров, которые в силу экологической направленности задачи могут быть объединены в обобщающие понятия: 1) технико-технологические (они объединяют мощность ТЭС, число часов ее использования и коэффициент по-

лезного действия ТЭС); 2) мероприятия, направленные на достижение ПДК (сюда входят высота дымовой трубы, через которую рассеиваются выбросы; КПД золоуловителя; доля диоксида серы, улавливаемого в золоуловителе; КПД сероочистной установки; удельный выброс оксидов азота, зависящий от конструкции топки и режимов сжигания; КПД азотоочистки дымовых газов).

Выбросы вредных веществ на ТЭС зависят от расхода топлива, теплоты сгорания, зольности, сернистости, содержания азота, способности золы улавливать оксиды серы, образующиеся при его сжигании. Расход топлива определяется его теплотой сгорания, выработкой электроэнергии и технико-технологическими параметрами ТЭС.

Район расположения электростанции характеризуется концентрацией фоновых загрязнений, температурной характеристикой воздуха и коэффициентом температурной стратификации атмосферы. Уровень фонового загрязнения может быть связан с численностью населения близлежащего населенного пункта, удаленностью электростанции от этого пункта и способностью атмосферы рассеивать выбросы, определяемой потенциалом ее загрязнения.

Выбросы электростанции (золы, оксидов серы и азота) зависят от количества вырабатываемой ею электроэнергии, ее КПД, КПД золоуловителя, серо- и азотоулавливания, способности золоуловителя улавливать оксиды серы, удельных выбросов оксидов азота, теплоты сгорания топлива, его зольности, сернистости, способности золы улавливать оксиды серы в газоходах котла.

Концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы зависят от количества выбросов и от всех перечисленных факторов. Кроме того, на концентрации влияют: объем дымовых газов, высота трубы, температура воздуха в районе расположения электростанции, коэффициент температурной стратификации в этом районе и коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере.

Сумма концентрации выбросов ТЭС и фоновых загрязнений не должна превышать ПДК вредных веществ в приземном слое атмосферы. Эти условия позволяют построить балансовое уравнение, связывающее воедино технико-технологические параметры ТЭС, характеристики мероприятий, направленных на достижение ПДК, характеристики топлива и района расположения станции. Отсюда можно вывести уравнение предельно допустимой мощности ТЭС по условиям удовлетворения требований охраны атмосферы.

Таким образом, из единой системы разнородных исходных данных, которые являются основополагающими, а не производными представляется возможность вывести уравнение для расчета предельно допустимой мощности ТЭС по условиям охраны атмосферы.

В [4] представлен материал по следующему подразделу:

7.2. Вывод уравнения предельно допустимой мощности тепловой электрической станции по условиям охраны атмосферы

7.2.1. Зависимости для определения выбросов вредных веществ ТЭС и их концентраций в атмосфере

7.2.2. Зависимости для определения фоновых концентраций загрязнителей атмосферы. Предельно допустимые концентрации загрязнителей в атмосфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазур, И. И. Курс инженерной экологии : учеб. для вузов / И. И. Мазур, О. И. Молдаванов ; под ред. И. И. Мазура. – Москва : Высш. шк., 1999. – 447 с.
2. Стриха, И. И. Экологические аспекты энергетики: Атмосферный воздух : учеб. пособие / И. И. Стриха, Н. Б. Карницкий. – Минск : Технопринт, 2001. – 375 с.
3. Электроэнергетика и природа. Экологические проблемы развития электроэнергетики / под ред. Г. Н. Лялика, А. Ш. Резниковского. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 352 с.
4. Алферова, Т. В. Практическое пособие к лабораторным занятиям по курсу «Экология энергетики» для студентов специальности Т.01.01 / сост.: Т. В. Алферова, В. Н. Петренко, Н. В. Токочакова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2000. – 52 с.

Содержание

Введение.....	3
1. Теоретические основы инженерной экологии	3
1.1. Классификационные структуры основополагающих понятий инженерной экологии	3
1.2. Характеристика взаимосвязей в геотехнических системах «человек – объект труда – природа»	7
1.3. Влияние энергетики на состояние окружающей среды.....	10
1.4. Сравнительная экологическая характеристика объектов электроэнергетики	14
1.5. Глобальная задача управления энергетикой	18
1.6. Динамика потребления энергии	20
2. Природоохранные мероприятия в электроэнергетике	21
2.1. Общие положения	21
2.2. Охрана атмосферного воздуха.....	22
2.3. Охрана водных объектов	34
2.4. Охрана земельных ресурсов	41
2.5. Защита от радиации	44
2.6. Защита от воздействия электромагнитных полей	49
2.7. Утилизация отходов электростанций	51
3. Масштабы воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду и методы их определения	54
3.1. Общие положения	54
3.2. Выбросы вредных веществ в атмосферу	55
3.3. Воздействие теплоэнергетики на водные объекты (общие положения)	67
3.4. Оценка использования водных ресурсов теплоэнергетикой при прогнозировании ее развития.....	68
3.5. Оценка воздействия тепловых электростанций на качество природных вод в прогнозах развития теплоэнергетики	78
3.6. Влияние гидроэлектростанций на водные ресурсы	84
3.7. Воздействие объектов электроэнергетики на земельные ресурсы	86
4. Народнохозяйственный ущерб от загрязнения окружающей среды	89
4.1. Удельный ущерб от загрязнения воздушного бассейна.....	89
4.2. Народнохозяйственный ущерб от загрязнения водохранилищ гидроэлектростанций сине-зелеными водорослями	94

5. Капиталовложения в природоохранные сооружения.....	96
5.1. Общие положения.....	96
5.2. Объектные затраты на охрану атмосферного воздуха	98
5.3. Капиталовложения в водоохранные сооружения тепловых электростанций.....	99
5.4. Капиталовложения в охрану и использование земельных ресурсов	102
6. Природа и проблемы размещения объектов электроэнергетики	103
6.1. Общие положения.....	103
6.2. Водообеспеченность территории.....	104
6.3. Обеспеченность земельными ресурсами.....	110
6.4. Экологические ресурсы воздушного бассейна.....	111
6.5. Условия, влияющие на развитие и размещение атомных электрических станций (АЭС).....	113
7. Проблемы концентрации мощностей на теплоэлектростанциях	118
7.1. Постановка задачи	118
Литература	121

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Алферова Тамара Викторовна
Попова Ольга Михайловна**

ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

**Курс лекций
по одноименной дисциплине для студентов
специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. И. Жукова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 21.01.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 7,21. Уч.-изд. л. 7,87.

Изд. № 110.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.