

Высоцкий С.П., д.т.н., Ботвина И.В.

АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Рассмотрены различные технологии генерации тепловой и электрической энергии на ТЭС и ТЭЦ. Оценены уровни генерации диоксида углерода в различных схемах генерации энергии.

Рассмотрены различные технологии очистки дымовых газов от диоксида углерода. Лучшим решением для снижения уровня эмиссии диоксида углерода являются повышение КПД генерации энергии. Оно достигается за счет внедрения энергетического оборудования с внутрциклового газификацией твердого топлива.

Существующее положение

В современных условиях основным источником выброса CO_2 является сжигание топлива на установках, генерирующих тепловую и электрическую энергию. Тепловые электростанции, генерирующие электрическую энергию (ТЭС), работают по схеме, показанной на рисунке 1.

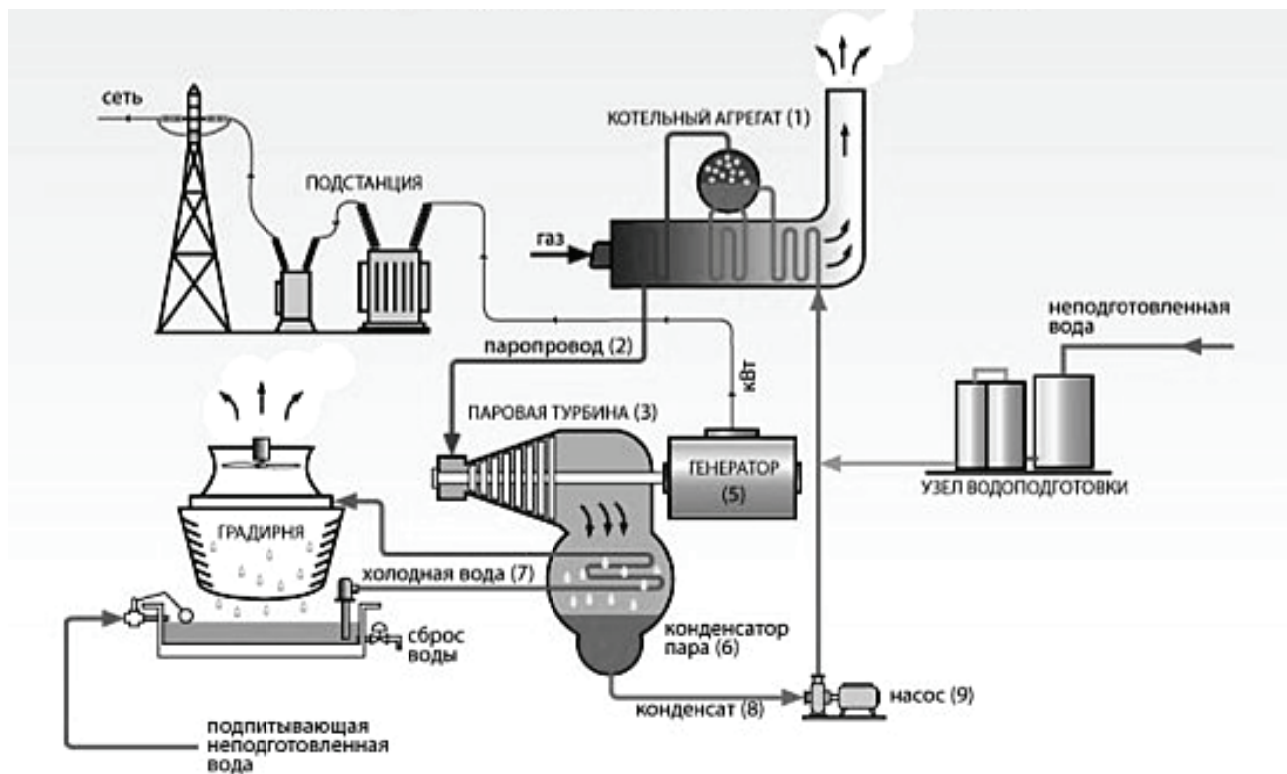


Рис. 1. Схема работы конденсационной тепловой электростанции с генерацией электрической энергии

Схема работы конденсационной установки: свежий (острый) пар из котельного агрегата (1) по паропроводу (2) попадает на рабочие лопатки паровой турбины (3). При расширении кинетическая энергия пара превращается в механическую энергию вращения ротора турбины, который расположен на одном валу (4) с электрическим генератором (5). Отработанный пар из турбины направляется в конденсатор (6), в котором конденсируется за счет теплообмена с циркуляционной водой (7). Циркуляционная вода для конденсации пара пода-

ется из пруда-охладителя, градирни или водохранилища. Конденсат по трубопроводу (8) направляется в котельный агрегат при помощи насоса (9). На ТЭС большая часть полученной энергии используется для генерации электрического тока.

На ТЭЦ используются теплофикационные паровые турбины, которые служат для одновременного получения электрической и тепловой энергии. Но основной конечный продукт таких турбин — тепло. К теплофикационным паровым турбинам относятся турбины с противодавлением, с регулируемым отбором пара, а также с отбором и противодавлением.

У турбин с противодавлением весь отработанный пар используется для технологических целей (сушка, отопление, ректификация и прочие). Электрическая мощность, развиваемая турбоагрегатом с такой паровой турбиной, зависит от потребности производства или отопительной системы в греющем паре и меняется вместе с ней. Поэтому турбоагрегат с противодавлением обычно работает параллельно с конденсационной турбиной или электро-сетью, которые покрывают возникающий дефицит в электроэнергии.

В турбинах с регулируемым отбором часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а остальной пар идет в конденсатор. Давление отбираемого пара поддерживается в заданных пределах системой регулирования. Место отбора (ступень турбины) выбирают в зависимости от нужных параметров пара.

У турбин с отбором и противодавлением часть пара отводится из 1 или 2 промежуточных ступеней, а весь отработанный пар направляется из выпускного патрубка в отопительную систему или к сетевым подогревателям. Схема работы ТЭЦ показана на рисунке 2.

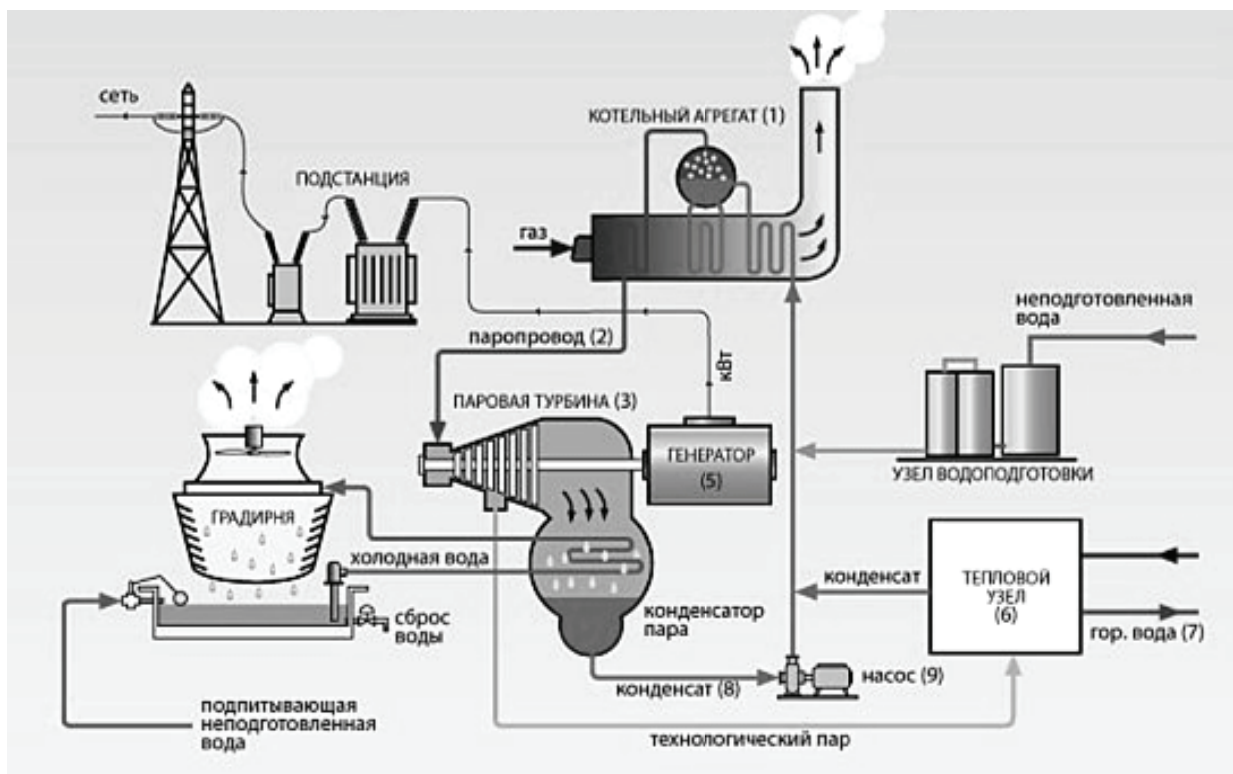


Рис. 2. Схема работы энергетической установки (ТЭЦ) с генерацией тепла и электрической энергии

Работа теплофикационной электростанции состоит в следующем: свежий (острый) пар из котельного агрегата (1) по паропроводу (2) направляется на рабочие лопатки цилиндра высокого давления (ЦВД) паровой турбины (3). При расширении кинетическая энергия пара преобразовывается в механическую энергию вращения ротора турбины, который соединен с валом (4) электрического генератора (5). В процессе расширения пара из цилиндров среднего давления производятся теплофикационные отборы, и из них пар направляется в подогреватели (6) сетевой воды (7). Отработанный пар из последней ступени попадает в кон-

денсатор, где и происходит его конденсация. Полученный конденсат по трубопроводу (8) направляется обратно в котельный агрегат при помощи насоса (9). Большая часть тепла, полученного в котле, используется для подогрева сетевой воды за счет меньшей доли пара, сбрасываемого в конденсатор, и, соответственно, меньшей потери тепла с охлаждающей водой. ТЭЦ имеет более высокий суммарный КПД генерации тепла и электрической энергии, при этом удельный выброс углекислого газа на единицу выработанной энергии на ТЭЦ ниже по сравнению с конденсационной ТЭС. Если учесть дополнительную эмиссию самого парникового газа как паров воды, то общая удельная эмиссия углекислого газа и паров воды для ТЭЦ будет еще меньшей. Степень снижения эмиссии зависит от количества тепла, отбираемого на паровой турбине с теплофикационными или производственными отборами.

Цель работы

Определение эмиссии парниковых газов на теплоэнергетических установках и выбор методов очистки продуктов сгорания топлива от углекислого газа.

Изложение основного материала исследования

За последнее десятилетие произошло существенное изменение доли различных видов топлива, сжигаемого на котельных установках. Повышение стоимости природного газа вызвало практически полное исключение его потребления на ТЭС. Повышенный КПД генерации электрической и тепловой энергии на ТЭЦ, а также требования к защите воздушного бассейна от загрязнения позволили сохранить использование природного газа как энергоносителя на этих станциях. Значительное повышение цены природного газа вызывает также необходимость поиска альтернативных источников топлива в тепловом балансе страны. Прогноз энергетической стратегии Украины в части потребления ископаемого топлива представлен на рисунке 3: доля сжигаемого твердого топлива к 2030 году будет увеличена почти в 2,2 раза, а доля природного газа снизится в 1,54 раза. Таким образом, выбросы углекислого газа за счет сжигания угля увеличатся в 2,2 раза, а за счет уменьшения доли сжигаемого природного газа снизятся в 1,4 раза. Однако общая масса выбросов CO_2 будет увеличена за счет большей генерации CO_2 при сжигании твердого топлива и меньшей калорийности последнего.

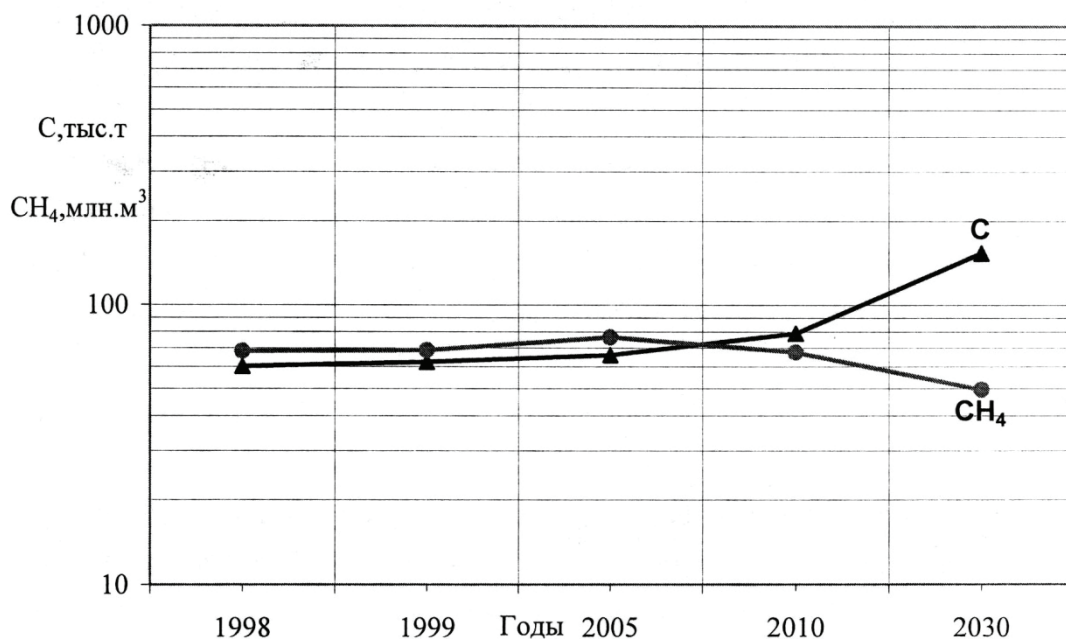


Рис. 3. Темпы потребления ископаемого топлива в Украине

Для определения массы CO_2 , поступающего в атмосферу в результате сжигания топлива, наиболее часто используют следующее выражение:

$$M_{\text{CO}_2} = C_n \cdot B \cdot \gamma_n \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \cdot 10^{-3} \text{ м/ч},$$

где C_n — коэффициент, характеризующий выход CO_2 для твердого топлива (3,67) и газообразного топлива (2,75);

B — расход топлива, м/ч ;

γ_n — поправочный коэффициент, учитывающий режим сжигания;

q_4 — потери тепла от механической теплоты сгорания топлива, %.

Поскольку калорийность топлива, сжигаемого на тепловых электростанциях, существенно изменяется, то количество CO_2 , которое образуется за 1 час при сжигании сухого топлива для одного энергоблока:

$$G = \frac{Q_{n(y.m)}^P}{Q_0} \cdot B \cdot N \cdot (1 - q_n) \cdot 3,67 = 3,17 \cdot B \cdot N \cdot (1 - q_n),$$

где $Q_{n(y.m)}^P$ — калорийность условного топлива 29,33 МДж/кг (7000 ккал/кг);

Q_0 — количество тепла, образующегося при сжигании 1 кг углерода 33,91 МДж/кг;

B — удельный расход условного топлива, кг/кВтч ;

N — электрическая мощность энергетического блока, МВт ;

q_n — доля недожиг топлива.

Например, для энергетического блока мощностью 300 МВт при удельном расходе топлива 0,33 кг/кВтч образуется около 314 м/ч диоксида углерода. Снижение эмиссии диоксида углерода может быть достигнуто за счет применяемых нескольких направлений: энергосбережение и, соответственно, уменьшение количества сжигаемого топлива, использование возобновляемых источников энергии и повышение КПД генерации энергии, очистка газовых выбросов от диоксида углерода и захоронение последнего. В работах [2, 3] были рассмотрены методы снижения эмиссии диоксида углерода за счет использования возобновляемых источников энергии и проблемы, связанные с захоронением CO_2 . В настоящей работе рассмотрены методы очистки продуктов сгорания топлива от CO_2 и методы повышения КПД генерации энергии.

В настоящее время в промышленной практике применяются в основном три метода очистки газа от CO_2 : водный, щелочной (NaOH или Na_2CO_3) и моноэтаноламиновый.

Очистка газа водой осуществляется под давлением 12-30 атм и при этом степень очистки не превышает 80%. Метод требует больших расходов электроэнергии. Очистка газа щелочью является дорогостоящей операцией и поэтому применяется лишь для поглощения малых концентраций CO_2 . Наиболее совершенной является моноэтаноламиновая очистка, которая находит все более широкое применение.

В химической промышленности применяются следующие технологии:

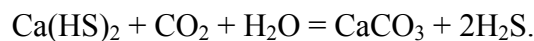
- поглощение CO_2 водноаммиачным раствором с одновременным получением углеаммонийных солей;
- поглощение CO_2 суспензией CaSO_4 в аммиачной воде с одновременным получением сульфата аммония;
- поглощение CO_2 раствором гидросульфида кальция с выделением в газовую фазу сероводорода;
- интенсификация процесса очистки газа от CO_2 раствором моноэтаноламина в ротационных аппаратах, совместное поглощение CO_2 , H_2 и других кислых компонентов из коксового газа торфоаммиачным поглотителем в аппаратах с кипящим слоем.

В первых двух случаях продукты очистки — углеаммонийные соли и сульфат аммония — являются удобрениями для сельского хозяйства. Третий метод является одной из стадий процесса синтеза тиомочевина. В последнем методе получается комбинированное органическое удобрение.

В настоящее время назрела необходимость в рационализации метода очистки синтез-газа от CO_2 . Сущность предлагаемого метода заключается в комбинировании процессов очистки азотоводородной смеси от CO_2 с получением углеаммонийных солей. В этом случае поглощение CO_2 из газа осуществляется водным раствором аммиака (или совместное поглощение NH_3 и CO_2 водой) до компрессии газа. По этому методу около 50% аммиака, производимого в системе, связывается с углекислотой, образуя углеаммонийные соли, а оставшиеся 50% NH_3 используются в качестве жидкого удобрения (в виде чистого аммиака или его водного раствора).

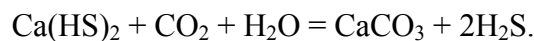
Таким образом получается короткая схема производства связанного азота. Еще более рационально совместить процесс синтеза аммиака с очисткой газа от CO_2 и с производством мочевины. В этом случае вся продукция может быть получена в виде мочевино-углеаммонийных удобрений. Одним из рациональных методов очистки азотоводородной смеси от CO_2 является совмещение этого процесса с конверсией CaSO_4 в сульфат аммония. Перспективность этого метода в том, что наряду с улавливанием CO_2 из газа вырабатывается ценное удобрение без затрат на него дефицитной серной кислоты.

Так как конверсия гипса и абсорбция CO_2 в обычных условиях протекает медленно, то для интенсификации этих процессов применяются горизонтальные аппараты ротационного типа, в которых обеспечивалось интенсивное перемешивание газовой и жидкой фаз. По своей конструкции эти аппараты аналогичны механическим абсорберам с большим числом оборотов. При осуществлении этого процесса в условиях высокотурбулентного режима при 30-35°C и атмосферном давлении можно осуществить практически полное поглощение CO_2 из газа. В некоторых производствах (синтез тиомочевины и др.) в качестве побочного продукта (или отхода производства) получается гидросульфид кальция, который может быть использован как эффективный поглотитель углекислого газа с одновременным выделением в газовую фазу сероводорода:



Полученный таким образом сероводород может быть использован для получения тиомочевины, серной кислоты, элементарной серы и других ценных продуктов. Интенсификация абсорбции CO_2 раствором моноэтаноламина в механических абсорберах.

Поглощение CO_2 из газов моноэтаноламином также нашло широкое применение в технике. Этим путем осуществляется получение чистого CO_2 или очистка технологических газов от CO_2 , или сочетание того и другого.



Полученный таким образом сероводород может быть использован для получения тиомочевины, серной кислоты, элементарной серы и других ценных продуктов. Интенсификация абсорбции CO_2 раствором моноэтаноламина в механических абсорберах.

Поглощение CO_2 из газов моноэтаноламином также нашло широкое применение в технике. Этим путем осуществляется получение чистого CO_2 или очистка технологических газов от CO_2 , или сочетание того и другого. По нашему мнению, наиболее предпочтительным и наименее затратным решением по ограничению эмиссии CO_2 является применение комбинированных схем генерации электрической энергии, КПД которых превышает КПД традиционных конденсационных ТЭС примерно в 1,76 раза. Во столько же раз снижаются удельные расходы топлива. Однако, удельные выбросы диоксида углерода снижаются в большей степени за счет трансформации значительной части топлива в водород, который при сжигании образует пары воды.

Очищенный
газ

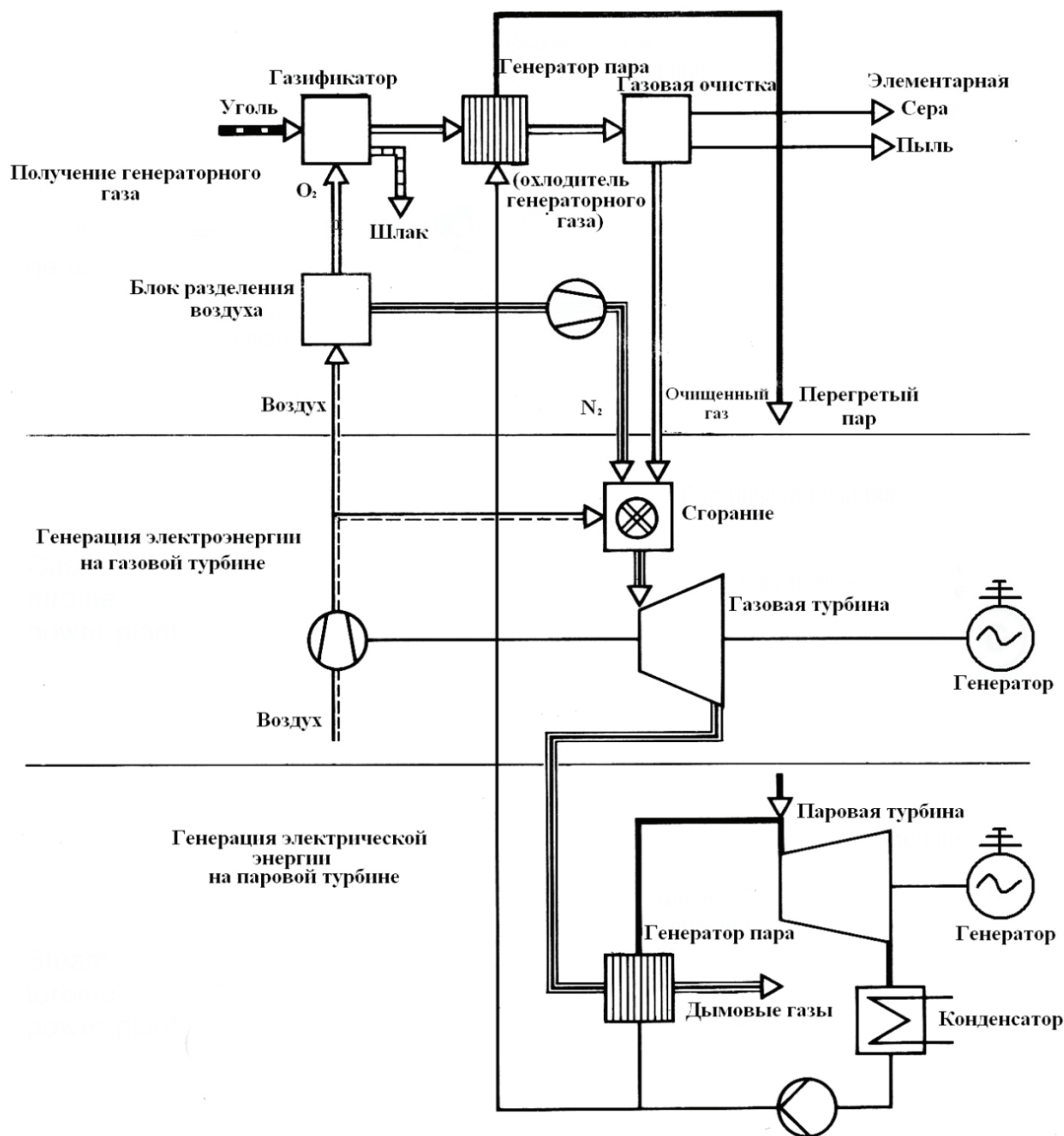


Рис. 4. Схема комбинированной генерации электрической энергии в газовой и паровой турбинах с внутрицикловой газификацией твердого топлива

В традиционных комбинированных циклах газовых турбин сжигается природный газ, а продукты сжигания природного газа используются для генерации пара в котлах-утилизаторах. Генерация электрической энергии осуществляется с использованием газовой и паровой турбин.

Высокая стоимость природного газа, а также постепенное истощение газовых месторождений вызвали необходимость применения методов комбинированной генерации с использованием твердого топлива. Одним из перспективных решений данной проблемы является

применение внутрицикловой генерации газа, показанной на рисунке 4. В этой технологии в газогенераторе используется кислород, полученный после установки разделения воздуха.

Выводы

1. Рассмотрены основные показатели эмиссии диоксида углерода при генерации электрической и тепловой энергии на конденсационных тепловых электростанциях и теплоэлектроцентралях.

2. Приведен обзор технологий очистки газов от диоксида углерода и дана оценка области применения отдельных технологий.

1. В условиях значительного повышения стоимости природного газа наиболее предпочтительным решением по снижению эмиссии диоксида углерода является применение комбинированных парогазовых установок с внутрицикловой газификацией твердого топлива.

Список литературы

1. Высоцкий С.П. Эмиссия углекислого газа и использование возобновимых источников энергии / С.П. Высоцкий, И.В. Иванец // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету: «Технічні науки». — 2008. № 81. — С. 490-502
2. Pfeiffer Allen Capturing the carbon / Allen Pfeiffer // Power engineering. — 2004. — Vol. 12. — №5. — P. 84-88.
3. Hullett Scott Be sure the fuel cells are coming / Scott Hullett // Power engineering. — 2004. — Vol. 12. — №11. — P. 45-49.
4. Керчевой Ю.П. Энергетические установки с топливными элементами как привод автомобилей и автобусов / Ю.П. Керчевой, А.Н. Дудник, В.Н. Зварич // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2006. — №1. — С. 9-28.
5. Дикий Н.А. Производство электрической и тепловой энергии по газопаровому циклу на комбинированном угольном и газовом топливе / Н.А. Дикий, А.И. Пятничко, И.Н. Карп // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2006. — №2. — С. 3-7.
6. Корчевой Ю.П. Экологически чистые технологии сжигания и газификации высокозольных углей в кипящем слое / Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2001. — №5. — С. 3-8.

Рецензент: к.т.н., проф., Є.О. Воробйов, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»

Стаття надійшла до редакції 17.11.10
© Висоцький С.П., Ботвина І.В., 2010