

5. Карпов С. В., Сабуров Э. Н. Аэродинамическая эффективность циклонных устройств и методы ее повышения // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1997. — № 1–2.
6. Карпов С. В., Сабуров Э. Н. Оптимизация геометрических характеристик циклонных сепараторов // Теор. основы хим. технологии. — 1998. — Т. 32, № 1.
7. Карпов С. В., Радюшин В. В., Сабуров Э. Н. Исследование конвективного теплообмена и эффективности очистки газов в циклонном сепараторе-теплоуловителе // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. / АГТУ. — 1998. — Вып. 4.
8. Повышение эффективности очистки газов в циклонных сепарационных устройствах / С. В. Карпов, Э. Н. Сабуров, И. И. Василишин, В. В. Радюшин // Менеджмент экологии: Тез. докл. регион. науч.-практ. конф. — Вологда: ВоГТУ, 1999.
9. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 312 с.
10. Ogawa A. Separation of particles from air and gases. — V. 2. — Florida: CRC Press, Inc. Boca Ration, 1984. — 178 p.
11. Ведерников В. Б. Зависимость эффективности пылеулавливания циклона от скорости газа // Журнал прикладной химии. — 1995. — Т. 68. — Вып. 5.
12. Карпов С. В., Радюшин В. В., Сабуров Э. Н. Циклонный сепаратор-теплоуловитель // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. / АГТУ. — 1997. — Вып. 2.

Представлена
кафедрой теплотехники

Поступила 21.09.1999

УДК 621.311

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭЦ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Канд. техн. наук **ЩИННИКОВ П. А.**

Новосибирский государственный технический университет

В настоящей работе предлагается исследование энергоблоков ТЭЦ в условиях экологических ограничений с применением малозатратных технологий, пригодных к внедрению на действующем оборудовании в рамках его реконструкции, при этом капиталовложения в технологию не должны превышать 10...15 % от полных капиталовложений в энергоблок. По сравнению с традиционным способом рассмотрены технологии: сжигания угля в вихревом предтопке, плазменного розжига, эмульгаторной золоочистки, термоподготовки топлива. Все они являются экологообеспечивающими, имеют высокую научную проработку и в той или иной форме прошли апробацию на действующем оборудовании.

В основе исследования лежит оптимизационная математическая модель [1] функционирования энергоблока, базирующаяся на положениях эксергетической методологии [2, 3]. Особенностью модели является то, что в ней используется ненормативный механизм учета затрат «по здравоохранению», который оценивает затраты, связанные с восстановлением здоровья людей, длительное время находящихся под воздействием

вредных выбросов от ТЭЦ. Используемый подход адекватно учитывает социальные последствия проекта (в том числе и такие тяжелые, как изменение показателя смертности населения) и не требует введения «коэффициента ценности человеческой жизни» [4].

Сущность используемого подхода заключается в следующем.

Выбросы вредных веществ накрывают район функционирования энергоблока, для ТЭЦ — это, как правило, городская зона с высокой плотностью населения. Ухудшение здоровья людей, которое зависит от приземных концентраций вредных веществ, вызывает повышение обращаемости в больницы, что требует дополнительного финансирования на восстановление их работоспособности. Приведенные к году эксплуатации затраты «по здравоохранению» учитываются безразмерным критерием эффективности [5] и в процессе оптимизации влияют не только на местоположение источника выброса за счет удаления его в районы с меньшей плотностью населения, но и на оптимальный профиль энергоблока.

Характер распространения вредных выбросов описывается эмпирическими выражениями. Концентрация золы в приземном слое атмосферы при удалении от источника определяется уравнением

$$C_A = \frac{0,05M_A}{H} \exp \left[\frac{-(X - 0,02H)^2}{0,05H + 4,5X} \right],$$

а суммарная концентрация оксидов серы и азота в пересчете на оксиды серы — уравнением

$$C_{SO_2} = \frac{0,023M_{SO_2+NO_x}}{H} \exp \left[\frac{-(X - 0,025H)^2}{0,067H + 6X} \right].$$

В этих выражениях:

C_A ; C_{SO_2} — приземные концентрации золы и оксидов серы соответственно, мг/м³;

M_A ; $M_{SO_2+NO_x} = M_{SO_2} + M_{NO_x} \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NO_x}}$ — количество выбросов зо-

лы и оксидов серы и азота из источника соответственно, г/с; H — высота источника рассеивания, м; X — удаление от источника, км.

Ущерб в здравоохранении оценивается по выражению

$$Y_{\text{здрав}} = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ki} \text{Ч},$$

где y_{ki} — удельный ущерб «по здравоохранению», руб/чел. в год (дол./чел. в год); Ч — численность населения, попадающая в зону активных загрязнений (ЗАЗ), чел.; k — среднегодовая концентрация i -го вещества, мг/м³.

Численность населения, попадающая в зону активных загрязнений, зависит от плотности населения и удаления источника выбросов от районов жилой застройки. Плотность населения в расчетах принята 200000 чел./км², что соответствует средней городской плотности населения в жилых кварталах. При удалении источника выброса от потребителя теплоты численность находящегося в ЗАЗ населения убывает (в порядке оценки) в соответствии с зависимостью

$$\text{Ч} = m \exp\left(\frac{-1,5X}{R}\right).$$

Здесь m — расчетная плотность населения, чел./км²; R — радиус ЗАЗ, км.

При таком подходе удаление источника выбросов в зоны с меньшей плотностью населения определяет не только связанные с этим затраты, но и затраты в социальную и промышленную инфраструктуры $Z_{\text{инфр}}$ и «по здравоохранению» $Z_{\text{здрав}}$. Оптимизация ведется из условия минимума затрат, связанных с функционированием энергоблока [1], при этом оптимизируемым параметром, наряду с параметрами, характеризующими профиль энергоблока p_0 , p_k , t_0 , $t_{\text{пп}}$, $t_{\text{пв}}$, $\alpha_{\text{ТЭЦ}}$, является и удаление энергоблока в зону с меньшей плотностью населения X .

Расчеты показывают, что затраты, связанные с восстановлением здоровья населения, значительно превышают затраты на восстановление экологической и социальной инфраструктуры, включая и жилищно-коммунальное хозяйство. Например, соотношение $Z_{\text{здрав}} : Z_{\text{инфр}}$ при расположении ТЭЦ или котельной в центре г. Новосибирска может достигать до 22...25:1 (в зависимости от типа и мощности блока и вида топлива), а при расположении источника выбросов с подветренной от города стороны — 5...8:1. При этом количество вредных выбросов оценено в соответствии с положениями методик ВТИ, а оценка ущерба в инфраструктуру $Z_{\text{инфр}}$ от действия вредных выбросов проведена в соответствии с положениями «Временной типовой методики оценки эффективности природоохранных мероприятий».

Оптимальные параметры энергоблоков ТЭЦ для различных технологических процессов исследованы в зависимости от единичной мощности энергоблоков (рис. 1). Общим для всех технологий является отклонение оптимальных параметров острого пара p_0 , t_0 и питательной воды $t_{\text{пв}}$ от стандартных значений. Во всех случаях оптимальное давление острого пара p_0 с ростом мощности стремится к закритическим значениям при некотором снижении оптимальной температуры t_0 . Объясняется это тем, что с ростом единичной мощности блока увеличивается расход топлива, а, следовательно, и выбросы золы, окислов серы и азота, что в свою очередь ведет к росту затрат «по здравоохранению» и выводу блока в район с меньшей плотностью населения. В этом случае повышение начального давления пара позволяет увеличить термодинамический КПД цикла и снизить расход топлива. Оптимальный термодинамический КПД определяется также температурой острого пара t_0 и системой регенерации блока при минимальном оптимальном давлении пара в конденсаторе (на уровне 1 кПа для всех технологий). При этом система регенерации характеризуется температурой питательной воды

$t_{пв}$, и с ростом единичной мощности затраты в эту систему увеличиваются для всех рассмотренных технологий, кроме вихревой, что объясняется более высоким давлением острого пара (на уровне 23,5 МПа для блока 250 МВт) (рис. 1).

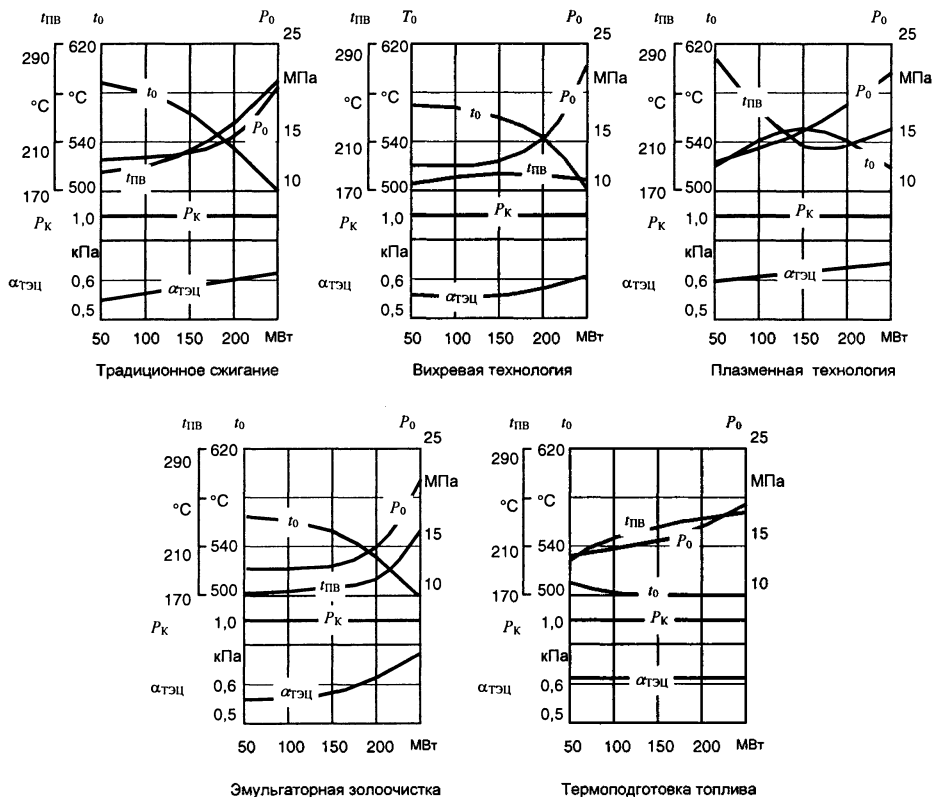


Рис. 1. Оптимальные параметры теплофикационных энергоблоков в зависимости от единичной мощности для различных технологических процессов производства электроэнергии и теплоты в условиях ограничений «по здравоохранению»

Удаление ТЭЦ в зону с меньшей плотностью населения ведет к увеличению протяженности магистральных трубопроводов для системы отпуска теплоты. Для возмещения растущих в трубопроводах потерь теплоты требуется увеличение параметров отборного пара, что вызывает рост коэффициента теплофикации $\alpha_{ТЭЦ}$, при этом последний тем выше, чем больше удаление блока (рис. 1).

При исследовании стандартных теплофикационных блоков с жестко зафиксированными параметрами оптимизируемыми параметрами остаются удаление ТЭЦ X и коэффициент теплофикации $\alpha_{ТЭЦ}$. Расчеты показывают, что оптимальный коэффициент теплофикации во всех случаях равен единице. Такой результат означает отказ от пиковых водогрейных котлов и перевод теплофикационных отборов в область нерегулируемых регенеративных отборов пара. Это объясняется тем, что при удалении ТЭЦ в зону с меньшей плотностью населения, которая в среднем на 8...20 % выше, чем у блоков ТЭЦ с оптимизируемыми параметрами, увеличиваются потери теплоты в магистральных трубопроводах (рис. 2). Такие результаты косвенно подтверждают целесообразность

применения новых технологий теплофикации, которые позволят снизить потери теплоты. Вместе с тем, тот факт, что оптимальный коэффициент теплофикации принимает значения теоретически максимально возможного $\alpha_{ТЭЦ} = 1$, означает, что второй оптимизируемый параметр (X – удаление энергоблока, км) также принимает предельные значения. Другими словами, удаление ТЭЦ со стандартными энергоблоками от потребителей теплоты на расстояние свыше 25...28 км (рис. 2) приведет к необоснованным потерям теплоты в системах теплоснабжения.

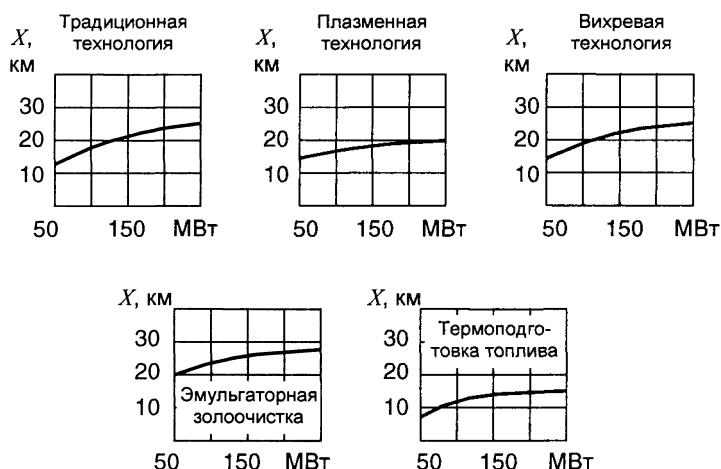


Рис. 2. Зависимость удаления ТЭЦ в зону с меньшей плотностью населения от единичной мощности теплофикационных блоков со стандартными параметрами

Сравнительный анализ блоков со стандартными и оптимизируемыми параметрами показывает, что соотношение затрат (с учетом дисперсии) на восстановление социальной и экологической инфраструктуры к затратам на восстановление здоровья людей $Z_{инфр} : Z_{здрав}$, практически не зависит от параметров блока (рис. 3). Более того, если все зависимости, показанные на рис. 3, изобразить в одной координатной сетке, то можно видеть, что они образуют некое вероятностное поле в достаточно узком диапазоне отношений $Z_{инфр} : Z_{здрав}$, причем для блоков мощностью свыше 50 МВт это отношение соответствует 0,28...0,4 и не зависит ни от единичной мощности, ни от вида технологического процесса.

Это означает, что оптимальные затраты «по здравоохранению» должны превышать затраты в экоструктуру в 2,5...3,5 раза вне зависимости от параметров блока и технологической схемы ТЭЦ. В то же время результаты расчетов ущерба от действия различных источников выбросов на площадках функционирования Новосибирской ТЭЦ и котельных г. Новосибирска, показывают, что это соотношение не соблюдается даже при использовании в качестве основного топлива природного газа и при расположении источника выбросов с подветренной от города стороны.

Последнее обстоятельство позволяет сделать вывод о необходимости применения новых подходов при определении площадок строительства энергоисточников вблизи населенных пунктов.

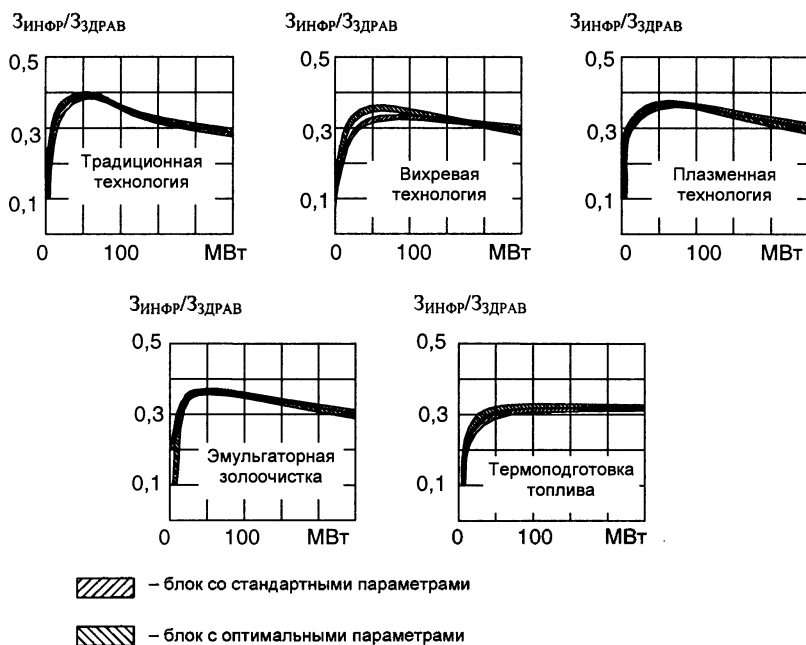


Рис. 3. Отношение затрат на восстановление социальной и экологической инфраструктуры (без учета затрат «по здравоохранению») к затратам «по здравоохранению» $Z_{\text{инфр}} : Z_{\text{здрав}}$ для теплофикационных блоков в зависимости от единичной мощности

Естественно, что столь высокие затраты «по здравоохранению» увеличивают себестоимость отпускаемой от ТЭЦ продукции в среднем на 15...30 %. Для мощных блоков рост себестоимости несколько выше и может достигать до 40 %.

ВЫВОДЫ

1. Удаление ТЭЦ с энергоблоками со стандартными параметрами в зону с меньшей плотностью населения зависит от мощности блоков и вида технологического процесса и может достигать 25...28 км. Это ведет к увеличению оптимального коэффициента теплофикации $\alpha_{\text{ТЭЦ}}$ до теоретически максимально возможного, косвенно подтверждая необходимость применения новых теплофикационных технологий.

2. Соотношение в затратах на восстановление экологической и социальной инфраструктуры с учетом «здравоохранения» и без него $Z_{\text{инфр}} : Z_{\text{здрав}}$ для блоков мощностью выше 50 МВт не зависит от мощности блока, его начальных параметров, вида технологической схемы и лежит в пределах 1;2,5...3,5.

3. Реально функционирующие ТЭЦ и котельные не обеспечивают данного соотношения даже при условии работы на природном газе и расположении с подветренной стороны от потребителей теплоты, что требует применения новых подходов при определении площадок строительства энергоисточников вблизи населенных пунктов.

4. Увеличение себестоимости электроэнергии и теплоты при учете затрат «по здравоохранению» в среднем составляет 15...30 %, однако для мощных теплофикационных блоков может достигать до 40 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шинников П. А., Ноздренко Г. В. Влияние некоторых системных факторов на теплофикационный энергоблок с термоподготовкой топлива // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1998. — № 1. — С. 49–53.
2. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа. — М.: Энергия, 1973. — 296 с.
3. Андрущенко А. И. Термодинамические расчеты оптимальных параметров тепловых электростанций. — М.: Высшая школа, 1963. — 230 с.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования / А. Г. Шахназаров, Г. Г. Азгальдов, Н. Г. Алешинская и др. — М.: 1994. — 80 с.
5. Системные исследования малоинвестиционных экологообеспечивающих технологий в составе ТЭЦ / В. Г. Томилов, П. А. Шинников, Ю. В. Овчинников и др. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. — 57 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 11.11.1999

УДК 536.244 + 621.032

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФфуЗИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЦЕОЛИТАХ MgA-BC (ИГ-931) И CaA-BC (ИГ-928)

Канд. техн. наук, проф. КОПКО В. М., докт. техн. наук, проф. НЕСЕНЧУК А. П.,
инженеры РЫЖОВА Т. В., ШКЛОВЧИК Д. И., СЛИЖЕВСКАЯ Ж. М.

Белорусская государственная политехническая академия

Модель десорбции, принятая для обработки данных эксперимента по измерению коэффициента диффузии, включает следующие основные предположения: а) частицы микросферического цеолита имеют форму, близкую к сферической. Это подтверждается непосредственными наблюдениями зерен цеолита через микроскоп; б) время тепловой релаксации намного превышает время диффузионной релаксации, т. е. критерий Льюиса $Le \ll 1$. Такое предположение справедливо, так как теплота передается по кристаллической решетке цеолита, а диффузия происходит по каналам и полостям внутри нее, и путь каждой молекулы сорбата далек от прямолинейного; в) парциальное давление CO_2 вокруг частицы цеолита во время продувки близко к нулю. Это определяется условиями эксперимента: масса аргона, проходящего через сосуд, в сотни раз превышает массу сорбированного диоксида углерода; г) диффузия внутри цеолита имеет активированный характер и зависит от температуры

$$D = D_0 e^{-\frac{E_0}{RT}}. \quad (1)$$

С учетом сказанного процесс десорбции можно описать:

$$\frac{da}{dt} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{d}{dr} \left(r^2 D_0 e^{-\frac{E_0}{RT}} \frac{da}{dr} \right); \quad (2)$$