

МУЛЬТИЭНЕРГОБЛОК С КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Канд. техн. наук ЩИННИКОВ П. А.

Новосибирский государственный технический университет

С учетом мировых тенденций развития энергетики и особенностей национального энергохозяйства наиболее важными требованиями, предъявляемыми к современным и перспективным электростанциям на твердом органическом топливе, являются: высокая эффективность процессов, экологическая безопасность и комплексная переработка твердого топлива с получением гаммы продуктов, обладающих товарными свойствами.

Совокупности предложенных требований отвечают энерготехнологические комплексы, в которых высокую эффективность обеспечивают новые и перспективные технологии сжигания твердого топлива и теплоснабжения (с учетом его децентрализации); экологическую безопасность – совершенные технологии подавления оксидов азота в топочном процессе, а оксидов серы – в очистке дымовых газов с выводом последних через специальную градирню при стопроцентной утилизации золы; товарный продукт (кроме электроэнергии и теплоты) может быть получен в системе топливоподготовки при комплексной переработке твердого топлива в виде вторичного топлива (топливный брикет, горючий газ, метанол и т. п.), при утилизации золы и в системе сероочистки.

Пример такого энерготехнологического комплекса (мультиэнергоблока) с переработкой твердого топлива показан на рис. 1.

В мультиэнергоблоке при производстве и отпуске потребителю электроэнергии и теплоты (I) применена двухтрубная система отпуска теплоты (II) с внутриквартальным абсорбционным бромисто-литиевым тепловым насосом типа АБТН-2000 [1]. В качестве основного топлива используется композитное жидкое топливо (КЖТ), приготовленное специальным образом в системе топливоподготовки на основе торфяного геля и водоугольной суспензии в соотношениях массовых частей (торф–уголь–вода) – 1:4:1, для растопки из холодного состояния в КЖТ добавляется 1...5 % нефти, скважинной жидкости или нефтепродуктов [2, 3], а система топливоподготовки (III) оснащена линией по производству гранулированного топлива, которое может использоваться как в качестве бытового топлива, так и топлива для котлов ЦКС. Значительное количество добываемого в стране угля имеет содержание серы свыше 0,3 %, что обуславливает необходимость очистки дымовых газов от оксидов серы, поэтому в качестве системы сероочистки принята аммиачно-циклическая технология (IV). Данная технология, апробированная на Дорогобужской ТЭЦ («Смоленскэнерго»), по схемным решениям и технологическим параметрам не уступает мировым аналогам, имеет минимальный расход реагента и позволяет вырабатывать три вида товарного продукта. В качестве системы золопереработки (V) принята технология производства керамзита [4].

Традиционный профиль теплофикационного энергоблока в данном случае существенно изменяется. Энергоблок становится многофункцио-

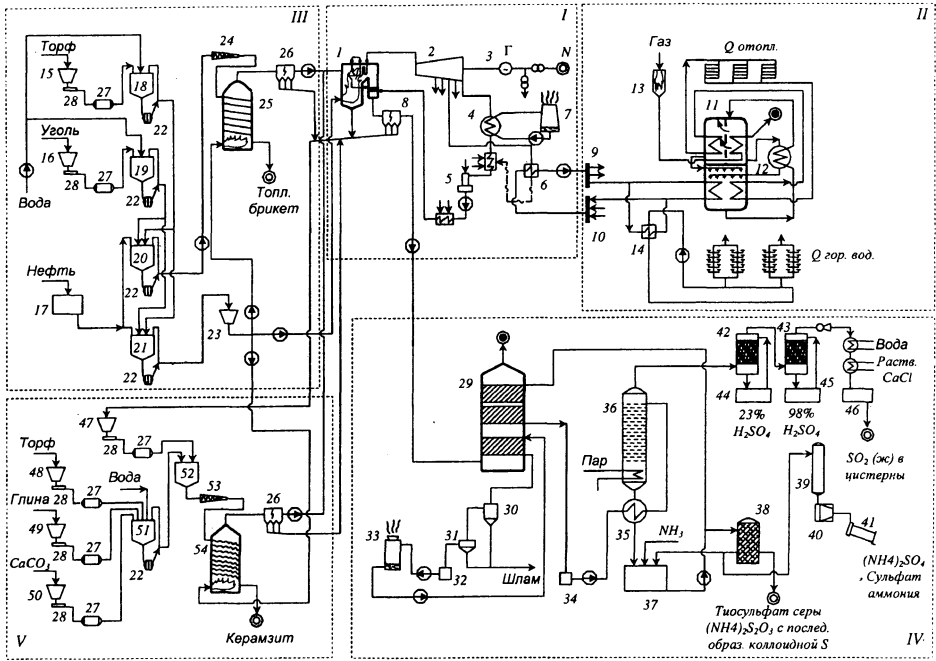


Рис. 1. 1 — котел; 2 — турбина; 3 — генератор; 4 — конденсатор; 5 — деаэратор; 6 — сетевой подогреватель; 7 — градирня; 8 — электрофильтр; 9, 10 — коллекторы прямой и обратной сетевой воды; 11 — внутриквартальный абсорбционный бромисто-литиевый тепловой насос; 12 — конденсатор теплового насоса; 13 — камера сгорания; 14 — бойлер; 15 — бункер торфа; 16 — то же, угля; 17 — емкость для нефти; 18 — то же, подготовки коллоидной смеси; 19 — то же, угольной суспензии; 20 — то же, брикетируемого топлива; 21 — то же, жидкого композиционного топлива; 22 — диспергатор-кавитатор; 23 — бак готового композиционного жидкого топлива; 24 — гранулятор; 25 — печь для сушки топливных брикетов; 26 — электрофильтр; 27 — измельчающее устройство; 28 — питатель; 29 — абсорбер; 30 — нейтрализатор; 31 — осветлитель; 32 — бак осветленной воды; 33 — градирня; 34 — сборник насыщенного раствора; 35 — теплообменник; 36 — десорбер; 37 — сборник регенерированного раствора; 38 — фильтр; 39 — выпарной аппарат; 40 — центрифуга; 41 — сушильный барабан; 42, 43 — сушильная башня; 44, 45 — сборник серной кислоты; 46 — танк жидкого сернистого ангидрида; 47 — бункер золы; 48 — то же, торфа; 49 — то же, глины; 50 — то же, известняка; 51 — емкость подготовки золокремневой добавки; 52 — то же, формовочной смеси; 53 — гранулятор керамзита; 54 — печь для обжига керамзита

нальным, изменяются его структурные связи как с точки зрения потоков энергоносителей, так и по стоимостным характеристикам.

Очевидно, что оценка эффективности таких мультиэнергоблоков в современных условиях хозяйствования является непростой задачей, так как требует создания имитационной модели с учетом тенденций в развитии современных технологий и всего комплекса внешних влияющих факторов (связи с энергосистемой, структурное резервирование, готовность к несению нагрузки, графики нагрузки, социальную, производственную и экологическую инфраструктуру и т. д.). Кроме того, моделирование современных условий хозяйствования обязывает исходить из условия платности привлекаемых финансовых средств при невозможности финансирования строительства такого крупного объекта из одного источника.

Избежать указанных сложностей удастся при моделировании функционирования мультиэнергоблока на основе теории агрегатирования и эксергетической методологии, когда совершенство всех технологических

связей исследуемого объекта характеризуется одним коэффициентом [5]. Такой структурный коэффициент ε_S определяется как

$$\varepsilon_S = \frac{1}{F_{01}} \left(1 - \frac{\sum \prod \frac{F_{ij}}{\eta_i}}{\eta_1} \right),$$

где параметр F эксергетической связи между функциональными агрегатами i и j определяется как отношение эксергии входа в агрегат j по данной связи $i - j$ к суммарной эксергии выхода по всем связям из данного агрегата j , умноженное на эксергетическую эффективность агрегата j ; η – эксергетическая эффективность каждого функционального агрегата; 0 – характеризует химическую эксергию топлива, вводимого в первый функциональный агрегат.

Таким образом, структурный коэффициент ε_S , определяемый как совокупность связей по всем функциональным агрегатам исследуемого мультиэнергоблока при любой степени его детализации на основе балансовых термодинамических зависимостей, будет отражать эксергетическое совершенство последнего. Легко видеть, что диапазон изменения ε_S лежит в пределах 0...1. Если схема исследуемого объекта не имеет обратных связей и эксергетических потерь, то $\varepsilon_S = 1$. Если обратные связи и эксергетические потери объекта велики, то $\varepsilon_S = 0$. Для реально функционирующих установок $\varepsilon_S = 0,5...0,7$.

Капиталовложения в мультиэнергоблок определяются поэлементно с учетом конструктивных, технологических, климатических (регион функционирования) и других ограничений

$$K_r = K_r^0 \prod c_a \prod \omega_p^{n_p},$$

где K_r^0 – базовое значение капиталовложений в r -е оборудование; c_a – коэффициенты приведения по параметрам и показателям, учитывающим конструктивные особенности, особенности функционирования и компоновки; ω_p – относительные параметры, учитывающие топливные, режимные, термодинамические, климатические и другие особенности; n_p – показатели степенной зависимости.

В общем случае критерием эффективности функционирования мультиэнергоблока является отношение полученных от продаж за отпущенную продукцию сумм к полным затратам за тот же период

$$\eta_Z = \frac{\sum_{\tau} \sum_k \Pi_k E_k}{\sum_{\tau} Z}.$$

Здесь Π_k – цена продукции k -го вида; E_k – отпущенные потребителю в τ -м году эксергия продукции k -го вида; Z – приведенные к году эксплуатации затраты.

Приведенные затраты определяются по выражению

$$Z = BЦ_T + \sum \sigma_r K_r + \Delta Z,$$

где B — годовой расход топлива; $Ц_T$ — цена топлива; σ_r — доля отчислений от капиталовложений (норма дисконта, устанавливаемая с учетом источников финансирования, требований инвесторов и отражающая приемлемую величину доходности на вкладываемый капитал); ΔZ — поправка к годовым затратам, учитывающая приведение вариантов к сопоставимому виду (влияние внешних системных и инфраструктурных факторов).

На основании эксергетического подхода с использованием структурного коэффициента и обобщенного критерия эффективности разработана оптимизационная модель функционирования мультиэнергоблоков. При этом в процессе оптимизационных расчетов (условие оптимизации $\eta_Z \rightarrow \max$) определяются параметры оборудования (p_0 , p_k , t_0 , $t_{пп}$, $t_{пв}$, $\alpha_{тэц}$).

Оптимальные параметры мультиэнергоблока с комплексной переработкой твердого топлива в зависимости от единичной мощности N_e показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что оптимальные параметры для мультиэнергоблока на комбинированном жидком топливе (КЖТ, зависимости 1) практически не отличаются от оптимальных параметров для теплофикационных блоков на комбинированном жидком топливе при отпуске потребителям электроэнергии и теплоты (зависимости 2) и незначительно отличаются от параметров стандартных теплофикационных энергоблоков по температуре острого пара в области больших единичных мощностей. Оптимальная температура острого пара для мощных мультиэнергоблоков снижается до 500...510 °С при стандартных критических давлениях, что обусловлено высокой экологичностью технологии КЖТ, когда затраты, связанные с восстановлением экологической инфраструктуры, невелики по сравнению с традиционными блоками и повышение термодинамической эффективности блока с целью снижения расхода топлива (и, как следствие, вредного воздействия) становится нецелесообразным из-за увеличения стоимости применяемых материалов.

Оптимальная степень теплофикации мультиэнергоблоков $\alpha_{тэц}$ имеет максимум на уровне 0,6 в области $N_e = 110...135$ МВт, что несколько выше степени теплофикации традиционных

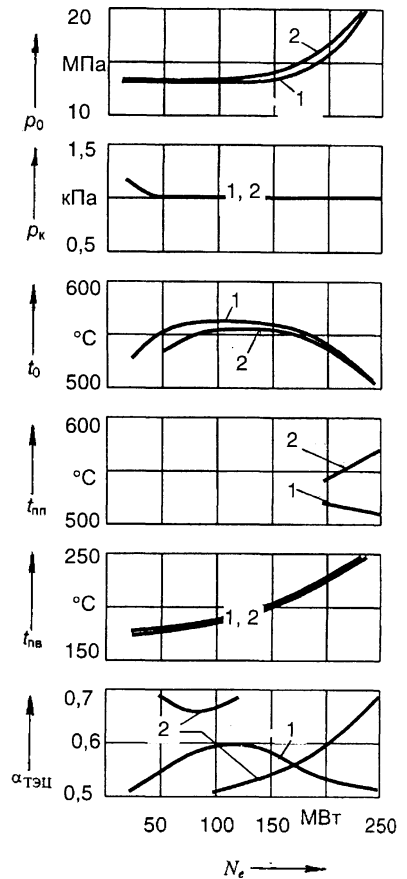


Рис. 2. Оптимальные параметры мультиэнергоблока с технологией КЖТ (1) по сравнению с оптимальными параметрами теплофикационного энергоблока при сжигании КЖТ (2)

схем теплоснабжения (0,5...0,55) и отличает мультиэнергоблок от теплофикационных блоков, оборудованных технологиями КЖТ.

Этот результат, по всей видимости, обусловлен лучшей комплексной сбалансированностью мультиэнергоблоков при наличии децентрализованной схемы теплоснабжения с ВТН абсорбционного типа и, как следствие, более высоким структурным

коэффициентом (ε_S — на уровне 0,66...0,67 вместо 0,56...0,66 для традиционной технологии, рис. 3), однако для детального обоснования требуется проведение дополнительных расчетных экспериментов.

Лучшая структурная сбалансированность мультиэнергоблоков обуславливает, кроме того, и более высокие эксергетические КПД по отпуску электроэнергии и теплоты (рис. 3) по сравнению с традиционными энергоблоками (зависимости 3), что ведет к более высокой функции цели η_Z (рис. 3). При этом под традиционным энергоблоком понимается теплофикационный блок с системой азотоподавления в виде ступенчатого сжигания и с системой сероочистки, работающей по полусухому методу и сбросом побочного продукта в отвал.

Все затраты на природоохранные технологии (системы утилизации золы и сероочистки) в расчетах отнесены на основной вид продукции (электроэнергию и теплоту), и не учитывается доход, получаемый от реализации побочного продукта. Этот фактор не рассматривается в качестве определяющего и является дополнительным аргументом.

Такая постановка задачи связана в первую очередь с тем, что решение вопроса о строительстве многофункционального энерготехнологического объекта, каким является мульти-

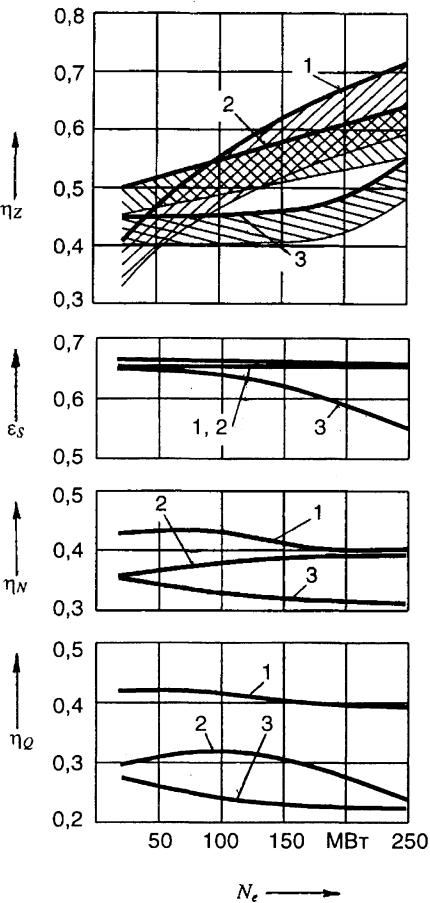


Рис. 3. Матожидание функции цели η_Z с учетом дисперсии, коэффициент структуры ε_S и эксергетические производительности по отпуску электроэнергии η_N и теплоты η_Q для мультиэнергоблока на КЖТ (1) по сравнению с теплофикационным энергоблоком на КЖТ (2) и традиционным энергоблоком (3)

энергоблок, может приниматься только на основе экспертных оценок, проводимых в соответствии с комплексом маркетинговых исследований по определению нужд того или иного региона в товарной продукции природоохранных систем, так как ее выход может составлять (в зависимости от единичной мощности блока до:

- 2 млн. т/год керамзита;
- 35 тыс. т/год сжиженного сернистого ангидрида;
- 30 тыс. т/год сульфата аммония $((NH_4)_2SO_4)$;
- 350 т/год коллоидной серы.

Кроме того, производство природоохранными системами таких количеств товарной продукции, безусловно, приведет к изменению ценовой политики, и ориентироваться в расчетах на действующие в настоящее время цены представляется нецелесообразным.

Функция цели мультиэнергоблока превосходит традиционные технологии практически для всех блоков с $N_e > 50$ МВт (рис. 3) и с учетом дисперсии лежит в поле конкурентоспособности для технологий сжигания КЖТ. Это обусловлено главным образом высокими экологическими характеристиками мультиэнергоблока и подчеркивает значимость этих факторов при комплексной оценке функционирования энергетических объектов.

ВЫВОДЫ

1. Предложен вариант многофункционального энерготехнологического мультиэнергоблока с новой технологией сжигания топлива, сто-процентной утилизацией золы при минимальном вредном экологическом воздействии на окружающую среду и производстве природоохранными технологиями в составе мультиэнергоблока гаммы продуктов с товарными свойствами.

2. Проведено исследование указанного мультиэнергоблока, в результате которого определены его оптимальные параметры, совершенство структурных связей и комплексная эффективность функционирования.

3. Оптимальные параметры мультиэнергоблока незначительно отличаются от параметров традиционных теплофикационных блоков (стандартные значения по давлению острого пара и температуре питательной воды при незначительном снижении температуры острого пара до 510...520 °С в области энергоблоков больших мощностей 200...250 МВт).

4. Структурные связи мультиэнергоблока, определяемые посредством эксергетического коэффициента структуры, имеют более совершенные характеристики по сравнению с традиционными энергоблоками ($\epsilon_S = 0,65...0,67$ — для мультиэнергоблоков, $0,55...0,65$ — для традиционных).

5. Комплексная эффективность функционирования мультиэнергоблока превосходит традиционные для энергоблоков с единичной мощностью более 50 МВт даже без учета продажи товарной продукции, производимой природоохранными технологиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заявка на изобретение № 2000107258. — Способ централизованного теплоснабжения. — Томилов В. Г., Шинников П. А., Ноздренко Г. В. и др., 2000.

2. Патент на изобретение № 2151170 RU.— Жидкое углесодержащее топливо. — Томилов В. Г., Сазонов И. Н., Шинников П. А. и др., 2000 // Бюл. № 17.

3. Патент на изобретение № 2151959 RU.— Способ получения жидкого композитного топлива. — Томилов В. Г., Ноздренко Г. В., Шинников П. А. и др., 2000 // Бюл. № 18.

4. Патент на изобретение № 2153476 RU.— Сырьевая смесь для производства керамзита. — Пугач Л. И., Евтушенко Е. А., Шинников П. А. и др., 2000 // Бюл. № 21.

5. Ноздренко Г. В. Эффективность применения в энергетике КАТЭКа экологически перспективных энерготехнологических блоков электростанций с новыми технологиями использования угля. — Новосибирск: НЭТИ, 1992. — 249 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 2.11.2000