

ПОСТРОЕНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЭС III

Теплоэнергетические системы промышленных предприятий объединяют потоки всех энергоресурсов (ЭР) на предприятии как поступающих со стороны, так и внутренних (ВЭР) с целью их наиболее полного и рационального использования. При этом должны быть обеспечены бесперебойное снабжение ЭР всех потребителей и защита окружающей среды.

ТЭС ПП любого предприятия определяется характером его производства, а также энергетическими и режимными характеристиками входящих в него ТА и производств.

Энергетическая эффективность и экономичность данного технологического производства зависит у многих предприятий, особенно энергоемких, от совершенства ТЭС ПП. Так как при этом существуют обратные взаимодействия, оптимизацию ТЭС ПП и технологии производства надо вести совместно. Это многоплановая и сложная задача. **Даже если принимать заданной без критического энергетического анализа технологическую схему завода, то при построении оптимальной ТЭС ПП надо комплексно рассматривать и учитывать следующие факторы:**

информации (в известных пределах). Нельзя ограничиваться расчетами только по средним значениям влияющих факторов (годовым, сезонным, суточным и даже часовым). Такое «статическое» проектирование может приводить к грубейшим просчетам, вызывать большие потери ЭР, вызывать перебои в энергоснабжении потребителей, создавать аварийные ситуации и снижать экономичность основного производства;

- **реальные графики** потребления различных ЭР ТА и производствами, а также реальные графики выхода ВЭР, вплоть до часовых, с учетом режимных характеристик и условий работы ТА;

- **нештатные ситуации**, когда, например, от 10-20 мин до нескольких часов крупные источники ВЭР прекращают их выдачу (например доменная печь прекращает выдачу ДГ), а также перерывы в потреблении ВЭР крупными потребителями;
- **возможную многовариантность** в выборе направления и способов использования различных ВЭР, а также их параметров;
- **влияние возможных изменений** технологических процессов на размеры выхода ВЭР;
- **возможную погрешность в расчетах**;
- условность и временность различных цен, искажающих эффективность того или иного мероприятия

Поэтому при оптимизационных расчетах важно не только провести с максимальной точностью **расчет по наиболее вероятным значениям влияющих факторов**, но и **выполнить расчеты применительно к возможным колебаниям влияющих факторов** (исходных данных) в различных сочетаниях.

В результате будет получена не точка оптимума, определяющая значение искомой величины, а зона ее оптимальных значений с учетом неоднозначности исходной информации, что позволяет более уверенно находить действительно оптимальные значения искомых величин. Инженеры теплоэнергетики должны знать характеристики агрегатов и производств, на которых они работают.

ТЭС III определяет состав, условия и режимы работы всего энергохозяйства предприятия, в частности типы и характеристики основного оборудования.

Поэтому одним из основных условий качественной разработки системы является правильный выбор основного оборудования, режимов его работы, взаимосвязей с другими установками.

Например, в случае проектирования ТЭЦ — это выбор типов и числа турбин и котлов.

Этот вопрос часто решается по прикидочным расчетам на начальных стадиях проектирования.

Режимы работы турбин и котлов могут устанавливаться и оптимизироваться во время эксплуатации ТЭЦ, однако **типы и число турбин уже изменены быть не могут**, поэтому различная рационализация может носить только ограниченный характер.

Наряду с этим недостаточный учет реальных условий работы заводской ТЭЦ по тепловым, в частности паровым, нагрузкам, а также **использованию горючих и тепловых ВЭР** может приводить к большим капиталовложениям и работе ТЭЦ с показателями гораздо ниже ВОЗМОЖНЫХ.

проектирования новых и расширяемых заводов, которая позволяла бы проводить выбор основного оборудования на базе достаточно проработанной и оптимизированной ТЭС ПП, а не по предварительным расчетам изолированных установок на начальных стадиях проектирования. Глубокая разработка ТЭС ПП с вариантными исследованиями должна проводиться в самом начале проектирования.

Решение задачи оптимального построения ТЭС ПП может значительно облегчить наличие полноценных однозначных показателей степени совершенства ее построения как в целом, так и отдельных ее частей и установок.

Практика убедительно показывает, как важно иметь показатели (измерители), объективно отражающие эффективность ТЭС
ПП в целом, а также энергетическое и экономическое совершенство отдельных агрегатов, установок и производств, охватываемых ТЭС ПП. И какой вред может приносить шаблонное, некритическое применение показателей не отражающих объективно существа дела.

Нахождение правильных показателей работы производств, систем и объектов, которыми надо руководствоваться при разработке этих вопросов и оценке работы объектов имеет большое значение.

При выпуске агрегатом одного вида продукции достаточно иметь один интегральный показатель, объективно отражающий энергетическое его совершенство.

Таким **энергетическим показателем** для КЭС является электрический КПД КЭС нетто $\eta_{\text{кэс}}$ или удельный расход теплоты топлива $q_{\text{кэс}}^{\text{э}}$ на единицу продукции (1 кВт·ч), или удельный расход условного топлива $b_{\text{кэс}}$, г/(кВт·ч). При этом $q_{\text{кэс}}^{\text{э}} = 1/\eta_{\text{кэс}}$.

Экономическим показателем КЭС является себестоимость единицы отпускаемой электроэнергии (1 кВт·ч).

Для ТЭЦ, когда вырабатываются два вида продукции (ЭЭ и теплота), одного научно обоснованного и объективного интегрального показателя уже получить не удастся, хотя оба вида продукции и являются видами энергии.

Энергетическим показателем качества работы ТЭЦ является удельный расход условного топлива (или, теплоты топлива), на 1 кВт·ч отпущенной ЭЭ $b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{Э}}$ при отнесении всех выгод комбинированной выработки на ЭЭ. Но неправильно во всех случаях считать, что чем ниже $b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{Э}}$ тем ТЭЦ работает лучше, т. е. дает максимальную экономию топлива. Последнее достигается при значении $b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{Э}}$, соответствующем оптимальному коэффициенту теплофикации ТЭЦ $a_{\text{ТЭЦ}}^{\text{опт}}$.

Может быть случай, когда удельный расход топлива на ТЭЦ $b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{Э}}$, подсчитанный по методу Минэнерго, (случай А) меньше, чем в случае Б, но в случае Б получается большая экономия топлива за счет комбинированной выработки теплоты и ЭЭ, чем в случае А при том же отпуске теплоты от ТЭЦ. Причиной этого является то, что отнесение всех выгод комбинированной выработки теплоты и ЭЭ только на ЭЭ не имеет научного обоснования, а базируется на волевом решении. Следовательно, оценка работы ТЭЦ во всех случаях только по значению $b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{Э}}$ не отражает однозначно действительной эффективности работы ТЭС с общехозяйственной точки зрения.

Еще сложнее с нахождением одного интегрального показателя в случаях, когда выпускается несколько видов продукции или рассматривается такая сложная энергосистема, как ТЭС ПП.

При нескольких видах продукции распределение затрат на их производство приходится вести, базируясь на те или иные логические, по существу волевые, положения.

Аналогичная ситуация имеет место и в случае поисков энергетических и экономических показателей сложных агрегатов и тем более ТЭС ПП.

В настоящее время нет единого интегрального показателя энергетического и экономического совершенства ТЭС ПП (и вряд ли он будет найден в обозримом будущем), т.к. этот оптимум должен соответствовать и оптимуму состава завода по технологическому оборудованию и принятым технологическим процессам. В то же время оптимум построения технологического процесса на предприятии не может определяться без показателей ТЭС ПП (энергоемкости производства и др.). Поэтому совершенство ТЭС ПП оценивается по нескольким показателям, которые должны составлять единый комплекс, иметь определяющие взаимосвязи и

ТЭС ПП различных отраслей сильно отличаются друг от друга как по составу и взаимосвязям различных частей, так и по их сложности, поэтому требуются и различные системы показателей ее совершенства.

Для МЗ являются целесообразными следующие показатели энергетического совершенства ТЭС ПП:

- **обеспеченность** бесперебойного снабжения основных потребителей ЭР требующихся видов и параметров;
- **минимальное потребление** на единицу готовой продукции (например, 1 т проката) топлива и ЭЭ (в пересчете на топливо) со стороны (исключая ВЭР) с учетом общехозяйственной ценности топлива, потребляемого предприятием;

- **степень и эффективность** использования ВЭР, в частности низкопотенциальных;
- **минимум** (или отсутствие) **потерь** ЭР из-за различных дебалансов и наиболее эффективное использование имеющихся ЭР с общехозяйственной точки зрения;
- **минимум** капитальных затрат на ТЭС ПП;
- **минимальное** загрязнение окружающей среды;
- **минимум** приведенных затрат.

Перечисленные показатели не имеют однозначной связи друг с другом, которая могла бы позволить находить какие-то объективные интегральные показатели совершенства ТЭС ПП, но позволяют вести более или менее обоснованную сравнительную оценку того или иного варианта ТЭС ПП.

Например, полное (или почти) покрытие потребности в теплоте на сантехнические нужды за счет низкопотенциальных ВЭР, которые пока в подавляющем большинстве случаев просто теряются, может быть весомым показателем в пользу соответствующего варианта ТЭС ПП.

Отсутствие прямых потерь ЭР не является бесспорным признаком высокого совершенства построения ТЭС ПП. (например, если отсутствие потерь коксового газа достигается путем сжигания его в котлах низкого давления и т. п.).

Таким образом, при разработке ТЭС ПП в целом приходится руководствоваться в значительной степени опытом проектирования и эксплуатации, аналогиями и логическими построениями. Лучше дело обстоит при построении отдельных составляющих (частей) ТЭС ПП, для правильного построения которых имеются соответствующие методики, расчетные материалы, конкретные рекомендации

Например, мы рассмотрели ранее методику определения оптимальной суммарной мощности отборов пара турбин ТЭЦ, методы сведения балансов производственного пара с учетом ВЭР, применения «подтопок», и др., способы сведения балансов горючих ВЭР и снижению их потерь, методы использования низкопотенциальных ВЭР и др.

В заключение рассмотрим вопрос о целесообразности применения понятия «эксергия» для определения энергетических показателей ТЭС ПП и ее составляющих, т.к. эксергию часто предлагают в качестве универсального объективного показателя для оценки степени энергетического совершенства как отдельных ТА, так и целых систем и притом во всех случаях.

Рассмотреть сущность понятия «**эксергия**» необходимо для определения возможных и целесообразных областей ее применения.

Термин «**эксергия**», введенный в 1956 г. 3. Ранком по предложению Р. Планка, образован от греческого слова *ergon* - работа - сила и приставки *ex*, означающей из, вне.

По современным формулировкам **эксергия** определяется как максимальная работа, которую может совершить система в обратимом процессе при таком взаимодействии, в результате которого все ее параметры перейдут в состояние термодинамического равновесия с параметрами окружающей среды.

Эксергия системы в данном состоянии измеряется количеством механической или другой полностью превратимой энергии, которая может быть получена от системы в результате ее обратимого перехода из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой.

Полностью обратимой называют энергию, способную полностью превратиться в другой вид энергии. Примерами могут служить механическая и электрическая энергия, кинетическая и потенциальная, переходящие друг в друга в идеальном случае без потерь.

Энергия, которая не может быть полностью превращена в другой вид энергии, характеризуется тем, что возможности ее превращения определяются как параметрами, характеризующими эту энергию, так и параметрами окружающей среды.

К этому виду энергии относится, например, теплота, которая может превратиться в механическую энергию только частично согласно второму закону термодинамики.

Таким образом, общим показателем преобразования одних форм энергии в другие является работа.

В технологических и производственных процессах теплота требуется, как правило, **не для получения работы, а для нагрева материалов**, например. Никаких превращений в другие виды энергии в процессах нагрева теплота не претерпевает.

Поэтому отсутствуют теоретические основы использования **эксергии** теплоты для измерения ее качества (эффективности) в теплотехнологических нагревательных устройствах. **Эксергия** теплоносителей в таких случаях не пропорциональна температуре теплоносителя и не позволяет определять непосредственно расходы топлива и другие необходимые данные (см. табл. 11.1)

Эксергия измеряет одновременно одним показателем (удельной эксергией) как количество теплоты, так и ее температурный уровень, т. е. как бы качество теплоты.

Но это качество, определяемое, например, по формуле (11.2), относится только к случаям, когда теплота используется для получения полностью превратимых видов энергии.

При использовании теплоты для других, в частности теплотехнологических, целей качество теплоты определяется другими показателями.

Эксергия теплоносителя e определяется по формуле

$$e = h - h_{o.c} - T_{o.c} (S - S_{o.c}), \quad (11.2)$$

где h , $h_{o.c}$ – энтальпии теплоносителя на входе в рабочее пространство агрегата и при параметрах окружающей среды; S , $S_{o.c}$ – энтропии теплоносителя при тех же начальных и конечных условиях; $T_{o.c}$ – температура окружающей среды.

Рассмотрим, например, применимость эксергии для оценки производственной, энергетической и экономической эффективности пара давлением 0,5-1,5 МПа, который используется на предприятиях в большинстве случаев для подогрева различных технологических материалов, а не на силовые нужды.

Количество теплоты, отдаваемой паром нагреваемой среде, **равно разности энтальпий пара и его конденсата.** Пусть в технологическом аппарате надо нагреть какое-то тело до 140°C . **На заводе имеется пар с различными параметрами: $0,5\text{ МПа}$, 180°C ; $1,0\text{ МПа}$, 240°C и $1,5\text{ МПа}$, 280°C .**

Определим производственно-технологическую ценность пара в зависимости от его параметров.

Из табл. 11.1 видно, что ни удельный расход пара на единицу продукции, ни удельная производительность теплообменника в зависимости от параметров пара не пропорциональны эксергии пара. Не пропорциональна эксергия пара и требующейся площади поверхности нагрева теплообменных аппаратов.

Следовательно, однозначно судить о ценности пара тех или иных параметров для технологического процесса по его эксергии нельзя.

Между тем иногда даже рекомендуют устанавливать цену на производственный пар пропорционально его эксергии.

Приведенный пример достаточно убедительно освещает качественную сторону вопроса, а именно необоснованность и недопустимость шаблонного использования показателя эксергии для оценки производственно-технологической эффективности различных теплоносителей и технологических агрегатов, в которых идут процессы нагрева.

Примеров, аналогичных вышеописанному, можно привести много

Ряд исследователей, стремясь найти какой-то единый интегральный показатель степени совершенства любых энергоустановок, теплотехнологических агрегатов и производств, пытаются создать его на базе использования показателя эксергии. Т.к. шаблонно во всех случаях этот показатель применять нельзя, разрабатываются специальные методики с учетом дополнительных факторов и поправок, что уменьшает точность расчетов и значительно усложняет и обесценивает их. Определять расходы топлива и теплоты, получаемой со стороны для теплотехнологических и энергетических агрегатов, гораздо проще и точнее по их энергетическим показателям.

Таблица. Сравнительная эффективность использования пара различных параметров

Показатели	Параметры пары, МПа / ° С		
	0,5 / 180	1,0 / 240	1,5 / 280
Количество теплоты, отдаваемой паром потребителю (полезная теплота) $q_{\text{п}}$, кДж/кг	2330	2370	2370
Эксергия пара, кДж/кг	766	900	985
Отношение количества полученной потребителями теплоты $q_{\text{п}}$ к ее количеству при параметрах пара 0,5 МПа, 180° С	1	1,02	1,02
Отношение эксергий при тех же условиях	1	1,17	1,28
Отношение температурных напоров в теплообменнике, от которых зависит производительность 1 м ² поверхности нагрева, к температурному напору при 0,5 МПа, 180° С	1	3,5	5,2

Задача научно обоснованного оптимального построения ТЭС ПП с учетом всех факторов является для большинства энергоемких производств со сложной технологией исключительно трудной. Полноценно она может решаться только с использованием ЭВМ. Однако из-за многоплановости, многовариантности и многочисленных прямых и обратных взаимосвязей, даже при использовании ЭВМ полноценно решить задачу комплексно оптимального построения ТЭС ПП еще никому не удавалось.

Оптимальное научно обоснованное построение ТЭС ПП имеет большое значение для энергетических, экономических и экологических показателей работы предприятий.

Решение задачи оптимального построения ТЭС ПП с использованием ЭВМ применительно к условиям МЗ позволяет решить ряд вопросов рационального построения ТЭС ПП, в частности учесть влияние того или иного изменения исходных данных, и значительно улучшить ТЭС ПП по сравнению с построением последней по различным прикидочным расчетам с использованием традиционных решений.