

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошпольский В. И., Филиппов В. В., Трусова И. А. Разработки Белорусской государственной политехнической академии для Белорусского металлургического завода и металлургических предприятий стран СНГ // *Литье и металлургия*. – 2000. – № 3.
2. Разработка рациональной теплотехнологии нагрева кордовой стали в проходной печи стана 850 РУП «БМЗ» / В. В. Филиппов, В. И. Тимошпольский, В. А. Тищенко и др. // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 2.
3. Завелион В. И., Вайс Р. Б., Трусова И. А., Духвалов И. Л. Математическое моделирование нагрева заготовок с шагающими балками (сопряженная постановка) // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1993. – № 1–2.
4. Тимошпольский В. И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего технического уровня. – Мн.: Наука і тэхніка, 1995.
5. Математическое моделирование и усовершенствование тепловой работы многозонной методической печи / Э. О. Цкитишвили, В. И. Тимошпольский, И. А. Трусова и др. // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 2.

Представлена техническим советом  
РУП «Белорусский металлургический завод»

Поступила 5.10.2001

УДК 666.954.3.004.183

### **К ВОПРОСУ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Кандидаты техн. наук, доценты РОМАНЮК В. Н., СУДИЛОВСКИЙ В. К.,  
магистры техн. наук ТОМКУНАС Е. В., БАУК И. В.**

*Белорусская государственная политехническая академия*

Современное промышленное производство характеризуется радикальной трансформацией отношения к использованию энергоресурсов. В странах СНГ этот процесс активизировался с переменой их статуса и последующим в связи с этим изменением обеспеченности первичными энергоресурсами. Одной из черт нового положения энергетики вообще и промышленной энергетики в частности стало регулярное обязательное энергетическое обследование промышленных предприятий. За прошедший период получены определенные результаты, в основном на пути реализации малозатратных мероприятий, которые касались, как правило, наведения элементарного порядка в использовании энергии. Возможности такого пути постепенно исчерпываются и при этом требуется повышение эффективности энергосберегающих мероприятий.

В [1–3] при рассмотрении предприятий дорожной отрасли отмечается, что ситуация с крайне нерациональным использованием первичной энергии предопределена всем процессом становления теплотехнологических производств. Общей отличительной особенностью развития теплотехнологических систем преобразования вещества, а они изначально доминируют

в материальном производстве, является то, что и при их создании, и при комплектации кадров специалистов игнорировалось энергетическое начало. В этой связи объективность тяжелой ситуации с энергоиспользованием вполне объясняет структура распределения причин «потерь» энергии технической системы во времени по различным периодам ее существования. Из данной структуры следует, что на стадию эксплуатации технической системы приходится около  $2 \cdot 10^1$  % причин нерационального потребления энергии. Оставшиеся  $8 \cdot 10^1$  % распределяются примерно поровну между стадиями эскизной проработки и проектирования, когда закладывается концепция энергообеспечения выбранного технологического процесса предприятия.

Указанное временное распределение причин диссипации энергии не связано с технологическим процессом, а относится к эффективности использования энергии в любой теплотехнологии, независимо от того, относится она к более или менее энергоемкой категории. Эффективность энергоиспользования определяется, в первую очередь, структурой теплоэнергетической системы промышленного предприятия (ТЭСПП), которая создается после выбора технологии производства. И если созданию новых технологий уделялось и уделяется большое внимание, то в разработке ТЭСПП сложилась иная ситуация, что привело в ряде случаев к неоправданным перерасходам энергии и потере конкурентоспособности самих теплотехнологий. Одна из причин диспропорции уровней технологий и их энергообеспечения заключается в том, что работы по их созданию проводились и проводятся только специалистами-технологами. Но если в создании самой технологии, в лучшем случае, нужны лишь консультации системных специалистов в области промышленной теплоэнергетики, то в создании энергообеспечения теплотехнологии, в построении соответствующей ТЭСПП роль консультантов должна быть отведена уже технологом при ведущей роли системных промышленных теплоэнергетиков. (Последние должны присутствовать в структурной вертикали каждой отрасли и внутри ее влиять на энергетическую политику.)

Из изложенного следует, что в настоящее время основные возможности снижения потребления первичных энергоресурсов, в рамках сохранения тех или иных технологий, лежат на пути рационального (с энергетической точки зрения) построения ТЭСПП. Потенциал энергосбережения, по всеобщему признанию, оценивается величиной, составляющей  $4 \cdot 10^1$  % сегодняшнего потребления. Соответствующие мероприятия имеют ряд общих отличительных черт, затрудняющих реализацию: их трудно отнести к категории малозатратных и они нередко выходят за рамки систем предприятия, имеют отраслевой, а в ряде случаев – межотраслевой характер.

Теплоэнергетическая система большинства промышленных предприятий представляет сложный комплекс технологических агрегатов и энергоустановок различного назначения, которые весьма жестко связаны, в том числе и разнообразными потоками энергии: как потребляемыми, так и генерируемыми. Соответствующее построение ТЭСПП объективно является намного более сложной задачей, чем, например, рационализация схем тепловых электростанций. Для существующих объектов главные трудности связаны с реструктуризацией оборудования в условиях сложившихся достаточно плотных компоновочных решений. Для вновь проектируемых систем сложности возникают из-за непригодности для принятия решений дан-

ных среднего характера за тот или иной период времени. Необходимы более подробные сведения, которые могут быть получены в результате тщательного мониторинга объекта, что в принципе невозможно при проектировании. Решения в условиях неопределенности информации не отработаны и не лишены риска, а потому вполне обоснованно отвергаются в большинстве случаев. В этом – другая причина, по которой проблеме рационального построения ТЭСМП не уделялось должного внимания. Нельзя игнорировать и отсутствие четкого критерия рациональности построения ТЭСМП.

Однако в нынешней ситуации рационализация ТЭСМП безальтернативна для любых технологий, прежде всего – энергоемких. Во многих случаях она существенно изменяет ситуацию и позволяет повышать конкурентоспособность апробированным технологическим процессам, поскольку в нынешних условиях резко снижает эксплуатационные затраты. В связи с отмеченными выше трудностями создания соответствующей ТЭСМП, на наш взгляд, следует:

1) в сугубо энергетическом аспекте использовать иерархический принцип создания ТЭСМП, когда собственные энергогенерирующие мощности, отделенные непосредственно от технологического процесса, вводятся в ее структуру лишь для покрытия дисбалансов (рис. 1);

2) отдавать предпочтение компоновке оборудования, позволяющей определенную реструктуризацию ТЭСМП после эксплуатации объекта в течение определенного отрезка времени, необходимого для мониторинга системы и индивидуальной оптимальной доработки состава подсистем. Из последнего вытекает необходимость многоэтапного финансирования создания объекта;

3) при построении ТЭСМП ориентироваться на блокирование путей потерь эксергии на всех стадиях протекания теплотехнологических процессов, прежде всего интеграцией взаимодополняющих теплотехнологий с большими внутренними потерями эксергии у одной на горячем, у другой – с большими внешними потерями эксергии на холодном торцах технологического процесса.

Каждый из предложенных пунктов требует подробного рассмотрения. Остановимся на третьем, наиболее простом, где величина потерь эксергии является целевой функцией рационального построения ТЭСМП. Одним из направлений, связанных с подавлением потерь эксергии, является энерготехнологическое комбинирование, которое наиболее просто осуществить в условиях действующих предприятий введением в структуру ТЭСМП высокотемпературных надстроек на базе двигателей внутреннего сгорания с газообразным рабочим телом. Это могут быть поршневые или газотурбинные двигатели, которые наиболее просто использовать для привода электрогенераторов, что и нашло отражение в выпуске многими специализированными предприятиями комплектных электростанций. Типоразмерный ряд последних достаточно широк. При использовании поршневых двигателей он охватывает диапазон мощностей до 2,5 МВт, газотурбинного привода (ЭГТУ) электрическая мощность лежит в диапазоне от 1 до 25 МВт. Первые могут работать на газообразном топливе любого давления, сохранять приемлемое значение КПД при определенном колебании нагрузки, вторые более компактны, но требуют газообразное топливо высокого давления и сохраняют высокий КПД лишь при номинальной нагрузке. По-



Рис. 1. Структурная схема теплоэнергетической системы с разнесением ее подсистем по иерархическим уровням

следнее предъявляет повышенные требования к согласованию типоразмера ЭГТУ и системы, в которую она внедряется.

Введение высокотемпературных надстроек в схему ТЭС сегодня общеизвестно и позволяет на 10–20 абсолютных процентов, т. е. без малого в 1,5 раза, повысить эффективность этих систем преобразования энергии. Заслуживает признания и интеграция ЭГТУ с котельными, где удельные затраты условного топлива (при соответствующем распределении энергозатрат между продукцией) снижаются с привычных 41,8 кг/ГДж

(175 кг/Гкал) до  $2 \cdot 10^1$  кг/ГДж (80 кг/Гкал), «перешагивая», казалось бы, незыблемый рубеж – 34,1 кг/ГДж (143 кг/Гкал).

Остается не востребованной интеграция ЭГТУ в теплотехнологические системы преобразования вещества, которые преобладают в промышленном производстве, в том числе и в плане потребления первичной энергии. Вместе с тем, именно в этих системах эффективность такого энерготехнологического комбинирования во многих случаях еще выше, что связано с относительно низким температурным уровнем ряда технологических операций тепловой обработки. Например, в производстве цемента интеграция ЭГТУ в структуру технологического комплекса приводит к снижению его себестоимости на  $3 \cdot 10^1$  %. В технологии производства асфальтобетона такое комбинирование снижает удельные энергозатраты уже на порядок. Подобные результаты достигаются и в других теплотехнологиях при энерготехнологическом построении ТЭСМП. Это – практически весь комплекс теплотехнологий индустрии строительных материалов, производство калийных удобрений, нефтехимия, металлургия и пр.

Однако, как известно, при принятии решений главенствует не энергетический, а технико-экономический аспект. Одним из факторов, ухудшающих технико-экономические показатели, сдерживающих интеграцию ЭГТУ в систему энергообеспечения ряда теплотехнологий, является ограниченное число часов работы основного оборудования в течение года. Это, например, и отопительные котельные, работа которых составляет в году  $(4,6-4,9) \cdot 10^3$  часов, и асфальтобетонные заводы, имеющие эту характеристику на уровне  $2 \cdot 10^3$  часов. Вместе с тем, общепринято экономически обоснованное время  $5 \cdot 10^3$  часов в году работы ЭГТУ в случае интеграции их в системы преобразования энергии. Не касаясь вопроса изменения этой величины в случае интегрирования ЭГТУ в теплотехнологические системы преобразования вещества, а она, как показывают оценки, уменьшается, отметим возможность достаточно простого разрешения указанной проблемы.

Для достижения данного экономически выгодного числа часов использования ЭГТУ оказывается незаменимой ее способность к простому переводу в режим транспортирования и непосредственно транспортирование. Некоторые заводы, например ЗАО «Мотор-СГЧ», выпускают ЭГТУ в транспортном исполнении, в том числе и в виде полуприцепов автопоездов. Используя сезонно ЭГТУ на одном объекте, ее перемещают на другой, где в следующем сезоне того же года продолжается ее использование. Приобретая ЭГТУ на паритетных условиях, определяемых годовым числом часов работы, можно значительно сократить срок окупаемости, сделать экономически выгодным ее интеграцию с сезонно работающими теплотехнологическими системами.

Возвратимся к упомянутым выше отопительным котельным, эксплуатируемым в зимнее время, и асфальтобетонным заводам, работающим в летний период. Указанный режим функционирования данных объектов позволяет совместное использование ими одной ЭГТУ, в результате чего увеличивается число часов ее работы в году без малого до  $7 \cdot 10^3$  (компоновки котельных и АБЗ позволяют подобное комбинирование). И если интеграция ЭГТУ только с асфальтобетонным производством окупается примерно за четыре сезона, то в данном случае срок окупаемости соответственно сократится.

Интеграция ЭГТУ в теплотехнологию не требует ликвидации оборудования, обеспечивающего ее работу в обычном режиме, как, впрочем, и дополнительного оборудования, кроме самой ЭГТУ. Поэтому возможные «перехлестывания» сезонов работы обоих теплотехнологических объектов, в структуру ТЭСМП которых интегрируется ЭГТУ, не создают никаких проблем, поскольку в эти относительно непродолжительные периоды их работа осуществляется в автономном режиме без ЭГТУ.

Объединение различных производств в использовании общей ЭГТУ расширяет число объектов, где создание энерготехнологических ТЭСМП целесообразно не только с энергетической точки зрения, но становится экономически оправданным. Единственными сдерживающими факторами подобных высокоэффективных объединений являются психологический и межведомственный барьеры, преодолеть которые необходимо, в том числе и с помощью Государственного комитета по энергосбережению и энергетическому надзору.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романюк В. Н. Модернизация асфальтобетонных заводов и снижение энергозатрат при производстве асфальтобетонной смеси // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1998. – № 6. – С. 72–77.

2. Исследовать и разработать эффективную теплоэнергетическую систему асфальтобетонных заводов с целью снижения ими энергопотребления в два раза: Отчет о НИР / М-во образования РБ, БГПА. – Мн., 1997. – 88 с.

3. Теоретические основы энерготехнологии производства битумно-минеральных материалов: Отчет о НИР / М-во образования РБ, БГПА. – Мн., 1998. – 101 с.

Представлена кафедрой  
промышленной теплоэнергетики  
и теплотехники

Поступила 27.06.2001

УДК 621.165

### **К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОБЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ МОЩНОЙ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

Докт. техн. наук, доц. БАЛАБАНОВИЧ В. К.

*Белорусская государственная политехническая академия*

**Инж. СКОРОБОГАТЫЙ Н. Н.**

*Минская ТЭЦ-3*

Одной из важнейших остается проблема обеспечения вибрационной надежности последних ступеней турбин, на которые приходится до 60 % аварий от их общего числа (по проточной части). Сложность вопроса заключается в том, что последняя ступень турбины имеет низкую собственную частоту колебаний и это может приводить на малорасходных режимах к резонансным колебаниям и поломкам лопаток. Обследования по-