

- сухое трение  $M_{тр} \leq 0,3 \text{ Н м}$ ;
- коэффициент редукции  $i=6$ ;
- КПД рабочий двигателя  $\eta_p=0.7$ .

В результате проведенного анализа, в частности, было выяснено, что для всех способов регулирования автоколебательного режима отсутствие нагрузки сухим и жидкостным трением (параметры  $M_{тр}$  и  $H$ ) приводит к тому, что автоколебания становятся неустойчивыми и переходят во вращательное движение.

Также для всех рассмотренных случаев можно сказать, что параметры  $H$ ,  $M_{тр}$ ,  $U_m$  задают зону устойчивой работы АД в колебательном режиме. Причем, в большинстве случаев наибольшее влияние на размеры этой зоны оказывает  $M_{тр}$ , ограничивая зону в пределах  $0.02 \dots 0.33 M_{тр}$  номинального. Превышение указанного значения приводит к быстрому затуханию колебаний, уменьшение же  $M_{тр}$  приводит к срыву во вращение. Внутри зоны этот параметр практически линейно воздействует на амплитуду во всех способах регулирования.

Напряжение питания также ограничивает зону устойчивой работы. Увеличение напряжения экспоненциально воздействует на рост амплитуды колебаний. Но, начиная со значения  $1.5 U_{ном}$ , возникает срыв во вращение. При снижении напряжения ниже  $U_{ном}$  велика вероятность того, что двигатель вообще не запустится.

Параметр  $H$  линейно (в большинстве случаев) воздействует на амплитуду колебаний, но наклон характеристики более пологий, то есть интенсивность изменения амплитуды для этого параметра меньше, чем для  $M_{тр}$ .

Параметры маятника (длина и масса) во всех случаях воздействует единым образом. С увеличением этих параметров колебания становятся более устойчивыми, но падает амплитуда колебаний.

В настоящее время разрабатывается новая более совершенная версия программы моделирования ЭМП АД для асинхронных электродвигателей, в которой наибольший упор сделан на анализ энергетических показателей в установившихся колебательных режимах работы.

Рассматривается возможность применения таких приемов из области искусственного интеллекта, как нейронные сети и генетические алгоритмы. Эти способы позволят автоматизировать процесс отбора приемлемых комбинаций параметров ЭМП, при переборе всех возможных вариантов. Таким образом, существенно ускорится поиск таких ЭМП, параметры которых наиболее оптимальны с точки зрения энергетики электропривода.

### *Литература*

1. Ткалич С. А. Разработка колебательного электропривода с повышенными энергетическими показателями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТПИ, 1988.
2. Тодоров В. В. Энергетические характеристики АД колебательного движения в составе электрогидропривода: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1990.
3. Луковников В. И., Серeda В.П. Динамические режимы работы асинхронного электропривода. – М: Изд. ВЗПИ, 1990. –210с.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПРОИЗВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

**В. В. Прокопчик**

*Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

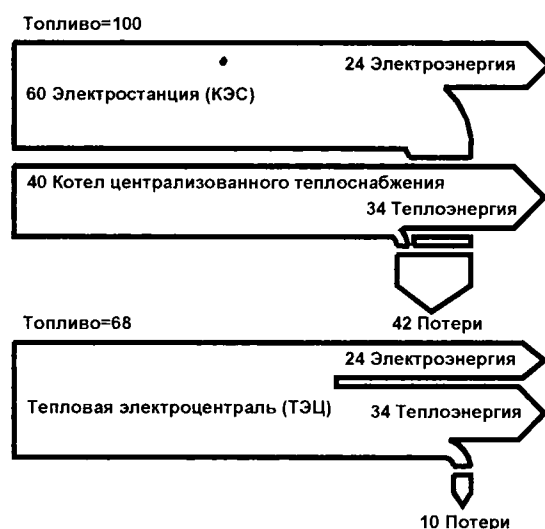
По различным оценкам потенциал энергосбережения в Беларуси составляет 25–40% от существующего уровня потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). При этом считается, что основные резервы экономии ТЭР находятся в промышленности и жилищно-

бытовом секторе (отопление и горячее водоснабжение зданий). Однако значительные резервы экономии ТЭР имеются в сфере производства электрической и тепловой энергии. Длительное время развитие энергетики Беларуси ориентировалось на создание мощных тепловых электростанций и централизованное производство электрической и тепловой энергии за счет импорта органического топлива (газ, мазут). При таком подходе изначально считалось нецелесообразным строительство малых тепловых и гидравлических электростанций не только в энергосистемах, но и на промышленных предприятиях. Для пояснения этого в табл. 1. приведена структура генерирующих мощностей Беларуси по состоянию на декабрь 1999 г.

Таблица 1

№ пп	Наименование электростанций	Установленная электрическая мощность, МВт
1.	Конденсационные электростанции (КЭС)	
1.1.	Лукомльская ГРЭС	2400
1.2.	Березовская ГРЭС	930
	Итого КЭС	<b>3300</b>
2.	Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)	
2.1.	Минская ТЭЦ-4	1030
2.2.	Гомельская ТЭЦ-2	540
2.3.	Новополоцкая ТЭЦ	505
2.4.	Минская ТЭЦ-3	420
2.5.	Могилевская ТЭЦ-2	350
2.6.	Минская ТЭЦ-5	330
2.7.	Светлогорская ТЭЦ	260
2.8.	Мозырская ТЭЦ	195
2.9.	Бобруйская ТЭЦ	180
2.10.	Гродненская ТЭЦ	170
2.11.	Оршанская ТЭЦ	73
2.12.	Витебская ТЭЦ	70
2.13.	Жодинская ТЭЦ	54
2.14.	Минская ТЭЦ-2	31
2.15.	Могилевская ТЭЦ-1	20,5
2.16.	Бел ГРЭС	16,9
2.17.	Барановичская ТЭЦ	12
2.18.	Брестская ТЭЦ	12
2.19.	Лидская ТЭЦ	11
2.20.	Пинская ТЭЦ	10
2.21.	Полоцкая ТЭЦ-1	3,6
	Итого ТЭЦ	<b>4294</b>
3.	Гидроэлектростанции	<b>7,1</b>
4.	ТЭЦ промышленных предприятий	<b>97,7</b>

Суммарная установленная мощность электростанций Беларуси составляет 7728,8 МВт. При этом доля станций типа КЭС достигает 43%. Поскольку станции типа КЭС производят только электрическую энергию, а типа ТЭЦ осуществляют комбинированное производство электрической и тепловой энергии, то целесообразно сравнить эти два энергоисточника между собой. При использовании КЭС теплоэнергию производит котел централизованного теплоснабжения. Используя характеристики станций КЭС и ТЭЦ и котла централизованного теплоснабжения можно построить следующие диаграммы:



При построении этих диаграмм для упрощения применены условные единицы (тонны условного топлива). При этом потребность в электроэнергии и теплоэнергии принята неизменной для обоих вариантов решения задачи. Учитывая разницу в коэффициентах полезного использования топлива в рассматриваемых вариантах можно отметить, что комбинированное производство электрической и тепловой энергии позволяет получить экономию топлива 30–32% по сравнению с отдельным производством. Абсолютные цифры экономии топлива в Беларуси можно представить из баланса производства электроэнергии в 1998 г.

Таблица 2

Производство электроэнергии, млрд. кВт·ч				Импорт, млрд. кВт·ч
ТЭЦ	КЭС	Пром. ТЭЦ	ГЭС	
11,9	11,3	0,3	0,03	10,8

Анализируя данные табл. 2 можно отметить, что производство электроэнергии на КЭС незначительно уступает производству на станциях типа ТЭЦ, но сопряжено со значительным нерациональным расходом топлива, который нужно рассматривать как потенциал энергосбережения в энергетике. Сейчас, конечно, невозможно вместо одной Лукомльской ГРЭС мощностью 2400 МВт построить 10 ТЭЦ по 240 Мвт каждая (или 100 ТЭЦ по 24 МВт каждая), но планируя развитие энергетических мощностей нельзя не считаться с тем, что строительство таких электростанций было ошибочным.

В связи с этим уместно обратиться к опыту других стран, которые после нефтяного кризиса 1974–75 гг. решали проблемы повышения эффективности использования ТЭР. Значительных успехов в этом направлении добилась Дания [1]. За последние 20 лет рост валового внутреннего продукта составил 50%, а суммарное потребление ТЭР осталось практически неизменным. При этом развитие энергетики базировалось на комбинированном производстве электрической и тепловой энергии путем строительства малых ТЭЦ. Достаточно привести такие цифры. С 1984 по 94 гг. были построены и введены в

строй 121 малая ТЭЦ суммарной электрической мощностью 770 МВт и тепловой мощностью 1118 МДж/с, а в 1997 г. суммарная установленная электрическая мощность малых ТЭЦ Дании достигла 1300 МВт. При этом около 30% электроэнергии производится на малых ТЭЦ.

В России и Беларуси монополия на производство электрической и тепловой энергии и принятая с 1930 годов система централизованного теплоснабжения городов препятствовали появлению ТЭЦ на промышленных предприятиях. Однако при переходе к рыночным отношениям ситуация стала изменяться и такие энергоисточники стали появляться [2]. Опыт работы таких энергоисточников показал, что стоимость произведенной на них электрической и тепловой энергии в 2–3 раза ниже покупных в энергосистеме.

Происходит это потому, что раздельное производство теплоты в котельных, а электроэнергии – на мощных КЭС и атомных электростанциях не обеспечивает эффективного использования топлива, приводит к значительному перерасходу денежных средств по сравнению с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии на малых и мини-ТЭЦ. При этом целесообразной оказывается установка турбоагрегатов (турбин и генераторов) на котельных промышленных предприятий.

В качестве примера можно привести Мозырьский НПЗ, где с 1998 г. работает первая в Беларуси газотурбинная установка (газовая турбина, генератор напряжением 10 кВ и котел-утилизатор), которая имеет электрическую мощность 17 МВт и вырабатывает пар для технологических нужд. Коэффициент полезного действия ГТУ Мозырского НПЗ достигает 85%. На котельной завода "Гомсельмаш" установлены 2 турбоагрегата электрической мощностью по 600 кВт каждый на напряжении 0,4 кВ, которые работают на избыточном паре высокого давления.

Однако появление в системах электроснабжения предприятий таких энергоисточников вызвало ряд проблем. Главная из них заключается в том, что изначально такие агрегаты разрабатывались и выпускались для надводных кораблей и подводных лодок и оснащались достаточно простыми системами регулирования электрических параметров. Исследования, проводимые автором, позволили сформулировать требования к регуляторам частоты и напряжения агрегатов малых ТЭЦ при их параллельной и автономной работе в системе электроснабжения предприятия, что особенно важно для предприятий с непрерывным технологическим процессом, где малые ТЭЦ рассматриваются в качестве независимого источника питания.

#### *Литература*

1. Датская модель теплофикации: финансовая и законодательная база ее развития // Энергетик. – 1999. – №11.
2. Оптимизация электрической мощности ГТУ при реконструкции котельных в малые ТЭЦ // Ю. М. Хлебалин, Ю.Е. Николаев, Д.А. Андреев // Промышленная энергетика. – 1998. – №9.

### **ПРОБЛЕМА АНАЛИЗА ЭНЕРГООБМЕНА В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

**М. Н. Погуляев, А. Е. Спорик, А. В. Бескровный**  
*Гомельский государственный технический университет  
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Проблема анализа энергообмена в асинхронных электродвигателях (АД), работающих в динамических режимах, было посвящено большое количество работ [1 – 6], но общего приемлемого решения до сих пор не найдено.

Основное внимание уделялось исследованию энергетики переходных процессов, сопровождающих пуск, торможение, реверс, сброс-наброс нагрузки [1 – 3] и являющихся