

системами с экспертной оценкой является скорость определения оптимального решения благодаря использованию нечетких математических моделей.

Список литературы

1. **Марюта А.Н.** Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках / **А.Н. Марюта.** – М.: Недра, 1975. – 231 с.
2. **Купин А.И.** Обзор существующих систем принятия решений и экспертных систем в области горного дела / **А.И. Купин, А.В. Азарян** // Качество минерального сырья / Сб. научн. тр. – Кривой Рог, 2011. – 455 с.
3. Программное обеспечение для горняков, геологов, маркшейдеров: геоинформационная система K-MINE [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://kai.com.ua/razrabotki/gis-k-mine>
4. Решения для горно-обогатительного комплекса - Горно-обогатительная промышленность: Решения: SaturnData [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://saturn-data.com/rus/solutions/1/>
5. **Азарян А.В.** Fuzzy-модель информационных потоков в условиях технологического процесса обогащения первой стадии магнетитовых кварцитов Международный форум-конкурс «Проблемы недропользования», 20-22 апреля 2011 г.: докл. - Санкт-Петербург: СПбГУ им Г.В.Плеханова, 2011. – 278 с.
Рукопись поступила в редакцию 01.09.11

УДК 621.18

Ю.П. КВЯТКОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц., А.А. РИДЕР, аспирант
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИНЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ УКРАИНЫ

Рассмотрены способы повышения эффективности энергетических установок, использующих органическое топливо с помощью газотурбинных и парогазовых технологий, а также возможность наиболее простого способа модернизации тепловых электростанций, что позволит значительно снизить удельный расход топлива и стоимость вырабатываемой электрической и тепловой энергии.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время в Украине сложилась такая ситуация, что составляющая электрической и тепловой энергии в стоимости продукции, выпускаемой фабриками и заводами, велика. И эта ситуация осложняется высокой стоимостью топлива - природного газа и несовершенными технологиями в энергетике.

Наблюдаемая тенденция отдельного производства электрической и тепловой энергии вызвало излишне высокую централизацию теплоснабжения с разветвленной сетью теплопроводов и, как следствие, со значительными транспортными потерями теплоты и затратами, связанными с эксплуатацией теплопроводных сетей.

Строительство значительного количества тепловых пунктов, снабжающих теплом небольших потребителей, и неоправданная замена ТЭЦ на котельные [1,3] показывает, что решение проблемы состоит во внедрении более совершенной и разумной децентрализации теплоснабжения при совместном производстве электрической и тепловой энергии.

Исследования, проводимые в Украине и в других странах [1-4] показывают, что с наименьшими затратами задача децентрализации теплоснабжения решается с помощью газотурбинных и парогазовых технологий.

Газотурбинные и парогазовые технологии позволят обеспечить высокоэкономичное и надежное электроснабжение страны при ускоренном вводе новых энергетических мощностей как при новом строительстве, так и при техническом перевооружении существующих электростанций и в первую очередь при замене морально и физически изношенного оборудования.

Анализ исследований и публикаций. Газотурбинные установки можно с большим эффектом использовать для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии.

Современные теплогенераторы представляют собой малоэффективные и металлоемкие сооружения. Повысить эффективность существующих котельных можно путем надстройки газотурбинными установками (ГТУ). Теплота выхлопных продуктов сгорания ГТУ утилизируется в существующих котлах. При этом снижается суммарный расход топлива по сравнению со схемой отдельного использования ГТУ для выработки электрической энергии и котлов для выработки теплоты. При совместной работе котлов и ГТУ наиболее экономичной является схема, при которой сжигание топлива в котле осуществляется в потоке выхлопных газов ГТУ, являющихся окислителем, так как при этом не присоединяется дополнительный балласт в виде азота

воздуха. Кроме того, в летний период теплофикационная нагрузка (горячее водоснабжение) должна покрываться только выхлопными газами ГТУ.

Многочисленные котельные промышленных предприятий могут быть объектами применения парогазовых технологий. Они легко могут быть переоборудованы в ГТУ-ТЭЦ. Прогрессивной технологией является использование в ГТУ в качестве рабочего тела газопаровой смеси, которая образуется за счет ввода пара в продукты сгорания топлива. Как показали исследования [5] для этой цели больше всего подходят ГТУ простого типа с невысокими значениями степени повышения давления и температур в камере сгорания. Испытана газопаровая установка (ГПУ) с вводом насыщенного пара в газовый тракт ГТУ и глубокой утилизацией отработанной газопаровой смеси в контактных утилизаторах. Использование пара, как составной части рабочего тела в газовых турбинах, позволяет снизить коэффициент избытка воздуха в камере сгорания, уменьшить мощность компрессора и тем самым увеличить мощность ГТУ. В такой ГПУ сохраняется типовое существующее оборудование котельной и дополнительно устанавливаются: ГТУ, контактный экономайзер и блок подготовки конденсата.

Постановка задачи. Парогазовая технология, основанная на ГПУ «Водолей», позволяет создать ТЭЦ, способные удовлетворять потребности в тепловой энергии как мелких, так и крупных потребителей, при этом будут существенно снижены затраты топлива на производство электрической и тепловой энергии. Использование камеры дожигания перед котлоутилизатором даст возможность в значительных пределах повысить тепловую мощность котлоутилизатора с выработкой перегретого пара различных параметров и с установкой паровых турбин. Парогазовые ТЭЦ являются наиболее экологически чистыми.

На современном этапе развития энергетики одной из важнейших проблем является повышение эффективности теплоэнергетических установок электрических станций, работающих на органическом топливе. Значимость экономии топлива с каждым годом возрастает вследствие увеличения как масштабов его потребления, так и затрат на добычу и транспортировку. Снижение удельного расхода топлива является одним из основных путей повышения эффективности тепловых электростанций.

Современные паротурбинные установки на органическом топливе практически достигли предела тепловой экономичности и на значительной части их эксплуатируется оборудование морально, а иногда и физически устаревшее. Следовательно, технический прогресс в энергетике связан с модернизацией действующих электростанций как наиболее эффективным способом снижения стоимости производства электрической и тепловой энергии.

Применение парогазовых установок представляет собой наиболее эффективное средство значительного повышения тепловой экономичности электростанций на органическом топливе.

Соединение паротурбинной и газотурбинной установок в одном технологическом цикле позволяет снизить потерю теплоты с уходящими газами ГТУ или парового котла, использовать газы за газовыми турбинами в качестве окислителя при сжигании топлива, получить дополнительную мощность за счёт частичного вытеснения регенерации паротурбинных установок и повысить КПД парогазовой электростанции по сравнению с паротурбинной и газотурбинной электростанциями.

Изложение материала и результаты. Среди различных вариантов ПГУ наибольшее распространение получили следующие схемы: ПГУ с высоконапорным парогенератором, ПГУ со сбросом газов газовой турбины в топку парового котла; с утилизационным паровым котлом и с внутрцикловой газификацией твердого топлива.

Наиболее эффективной и простой в осуществлении является парогазовая установка со сбросом газов в паровой котел паротурбинной установки, где выхлопные газы газотурбинного агрегата используются в качестве окислителя при сжигании органического топлива и теплоносителя, передающего часть теплоты ГТУ воде и водяному пару. Принципиальная схема такой ПГУ приведена на рис. 1.

Выхлопные газы из газотурбинного агрегата 1 направляются в котел 2. Температура выхлопных газов современных ГТУ равна 400-500 °С, а содержание кислорода в них составляет 0,16-0,18 кг/кг, в связи с этим выхлопные газы используются в качестве окислителя в паровом котле.

В парогазовой установке осуществляется замена части регенеративного подогрева конденсата и питательной воды подогревом их теплотой уходящих газов ГТУ и котла. Для этого котлы, работающие в составе ПГУ вместо воздухоподогревателя оборудуются газовойодяными теплообменниками (ГВТ), а систему регенерации ПГУ следует реконструировать.

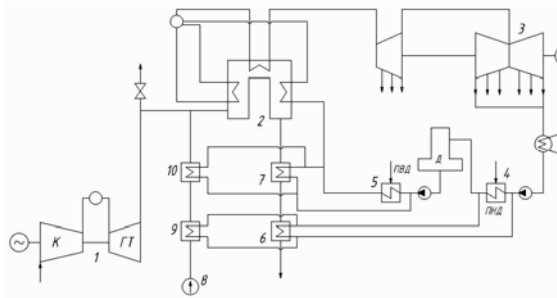


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ПГУ со сбросом газов в паровой котел ПТУ: 1 - газотурбинный агрегат; 2 - котел; 3 - турбоустановка; 4,5 - подогреватели низкого и высокого давления; 6,7 - газодляные теплообменники низкого и высокого давления; 8 - резервный вентилятор; 9,10 - калориферы низкого и высокого давления

В рассматриваемой схеме конденсат подогревается в ПНД 4 и ГВТ низкого давления 6, а питательная вода - в ПВД 5 и ГВТ высокого давления 7.

Схема предусматривает возможность работы ГТУ и ПТУ независимо друг от друга. Для этого в составе ПГУ предусматривается резервный вентилятор 8 и паротурбинная установка может работать автономно: воздух в топку котла подается от резервного вентилятора и подогревается в паровых калориферах 9 и 10, а выхлопные газы ГТУ сбрасываются в атмосферу.

В ПГУ со сбросом газов в паровой котел удачно сочетаются достоинства двух циклов - высокая температура подвода теплоты, характерная для цикла ГТУ, и низкая температура отвода теплоты, свойственная циклу ПТУ. Повышение тепловой экономичности в объединенном цикле достигается за счет отказа от значительной части регенеративного подогрева питательной воды и их эквивалентного подогрева за счёт утилизации сбросной теплоты ГТУ. При этом увеличивается работа, совершаемая паром в турбине.

Таким образом комплексная ПГУ имеет ряд достоинств:

возможность использования серийного энергетического оборудования - газо- и паротурбинных установок;

большую единичную мощность;

меньшую удельную стоимость установки;

высокую тепловую экономичность, повышенную надежность и большую гибкость при регулировании нагрузок.

Нормативные методы расчёта энергопреобразующих установок, используемые в настоящее время, базируются на энергетическом балансе и не отражают действительную эффективность процессов использования энергии органического топлива.

Котельные установки относятся к установкам непосредственной выработки низкопотенциальной теплоты, в которых за счет сжигания органического топлива производится горячая вода или пар для отопительных или технологических целей. По энергетическому балансу тепловой к.п.д. котлоагрегатов составляет 80-91 %. Этого не может быть в реальных условиях, так как процесс теплопередачи в котлоагрегатах протекает с большими потерями, которые объясняются необратимостью процесса горения и разностью температур между продуктами сгорания, с одной стороны, и паром и водой с другой стороны в несколько сот градусов.

И только метод эксергетических балансов даёт возможность качественно и количественно оценить все потери эксергии в любых энергопреобразующих установках и учесть это во вновь проектируемых установках.

Эксергетический баланс во всех случаях показывает величину потерь от необратимости в системе. Степень ее термодинамического совершенства определяется отношением

$$\Sigma E''/\Sigma E' = (\Sigma E' - \Sigma D)/\Sigma E',$$

где E'' - поток эксергии на выходе из системы; E' - поток эксергии на входе в систему; D - потери эксергии.

Эксергетический КПД котлоагрегата составляет $\eta_e = 35-45$ %, что подтверждает: основные потери происходят в топке, потери в остальных элементах котла имеют второстепенное значение. Таким образом при совершенствовании конструкций котлоагрегатов с целью повышения

их ефективності следует идти по пути уменьшения необратимости топочных процессов. Но современное состояние науки и техники пока не дает конкретных рекомендаций.

Точно также энергетический баланс не вскрывает существа энергетических превращений и не дает правильной оценки эффективности тепловых электростанций в целом и их частей.

Выводы и направление дальнейших исследований. 1. Энергетическая обстановка на Украине может быть улучшена в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами за счет внедрения газотурбинных и парогазовых технологий.

2. Достоинства и область применения ГТУ и ПГУ позволяют считать, что в последующие годы их использование в мировой энергетике станет доминирующим.

3. Для оценки эффективности энергопреобразующих систем наиболее приемлемым является метод эксергетических балансов, позволяющих оценить совершенство не только всей системы в целом, но и каждого отдельного узла.

Список литературы

1. Технологическое перевооружение ТЭЦ на базе парогазовых технологий с использованием параллельной схемы / В.И. Длугосельский, А.Д. Гольштейн, Т.Н. Комисарчик [и др.] // Теплоэнергетика, 2006. – №12. – С. 11-18.
 2. Мировой опыт и перспективы внедрения парогазовых и газотурбинных технологий в теплоэнергетику России на основе возможностей отечественного машиностроения / О.Н. Фаворский, В.Л. Полищук, И.М. Лившиц, В.И. Длугосельский // Теплоэнергетика, 2007. – №9. – С. 46-51.
 3. Долинский А. А. Парогазовая технология производства электрической и тепловой энергии / А.А. Долинский, Н.А. Дикий // Пром. Теплотехника, 1999. – №4-5. – С. 89-92.
 4. Бухаркин Е.Н. Газотурбинные установки в водогрейных котельных / Е.Н. Бухаркин // Промышленная энергетика, 2006. – №2. – С. 43-48.
 5. Чепурной М. Н. Показатели работы газопаровых установок на базе промышленных котельных и ГТУ / М.Н. Чепурной, В.В. Бужинский, С.И. Ткаченко // Пром. Теплотехника, 2005. – №4. – С. 86-90.
- Рукопись поступила в редакцию 23.04.11

УДК 621.314.58

Ю.Г. ОСАДЧУК, канд. техн. наук, доц., І.А. КОЗАКЕВИЧ, аспірант,
О.М. КУЛИК, студентка, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДТРИМАННЯ БАЛАНСУ ЧАСТКОВИХ НАПРУГ В ЛАНЦІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ БАГАТОРІВНЕВОГО ІНВЕРТОРА З ФІКСУЮЧИМИ ДІОДАМИ

У статті розглянуто принцип роботи просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції для багаторівневого інвертора напруги з фіксуєчими діодами для підтримання балансу напруг в ланці постійного струму. Розглядається можливість вирівнювання напруг засобами самого інвертора. Встановлені межі щодо коефіцієнту модуляції та кута навантаження, при яких зберігається стійкість роботи системи. Шляхом математичного моделювання підтверджено достовірність отриманих результатів.

Проблема та її зв'язки з науковими та практичними завданнями. Останнім часом багаторівневі інвертори привертають до себе все більше уваги. Це пояснюється тими численними перевагами, які вони мають перед класичними дворівневими інверторами, такими як можливість створення високовольтних пристроїв на базі елементної бази, що розрахована на меншу напругу, уникаючи проблем, що пов'язані з послідовним з'єднанням пристроїв; зменшення спотворень вихідного струму інвертора. Але підвищення кількості напівпровідникових ключів вимагає реалізації більш складного алгоритму керування ними.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш популярними варіантами реалізації багаторівневого інвертора є інвертор з фіксуєчими діодами, інвертор з плаваючими конденсаторами та інвертор на базі послідовно з'єднаних Н-мостів. Варіант інвертора з фіксуєчими діодами представляється як один з найпростіших в реалізації та відносно недорогих. Структура багаторівневого інвертора з фіксуєчими діодами представлена на рис. 1 (число рівнів - 4).

Цей інвертор містить по 6 транзисторів у кожному плечі, які дозволяють підключати вихідну фазу до однієї з часткових напруг ланки постійного струму.

В кожному момент часу (якщо знехтувати наявністю «мертвого» часу) в кожному плечі інвертора включено 3 сусідні транзистори. Тобто, існує 64 різних станів інвертора, які формують вихідні узагальнюючі вектори напруги, що зображені на рис. 2.