

Энергетические системы и комплексы

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ ТЭС

- Дудкин М.М., доктор техн. наук, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия

A REVIEW OF POTENTIAL FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF COAL-FIRED THERMAL POWER PLANTS

- Dudkin M.M., D.Sc., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Актуальность темы заключается в изучении потенциала для дальнейшего увеличения коэффициента полезного действия (КПД) тепловых электростанций, работающих на органическом топливе. Отмечается, что даже при увеличении доли природного газа, угольные энергоблоки продолжают появляться в угледобывающих регионах. В связи с этим, новые ТЭС ориентированы на два ключевых аспекта: усовершенствование процессов и оборудования для сжигания органического топлива, а также внедрение экономически оправданных технологий, использующих низкопотенциальные и возобновляемые источники энергии. В качестве иллюстрации можно привести пример строительства новых ТЭЦ и автономных систем генерации с возможностью хранения тепловой и электрической энергии. В заключение сформулированы наиболее перспективные подходы к повышению эффективности тепловых электростанций, что имеет важное экономическое значение.

Ключевые слова: топливо, теплота, электроэнергия, тепловая электростанция.

The topic's relevance lies in exploring the potential for further increasing the efficiency of fossil-fuel-fired thermal power plants. It is noted that even with the increasing share of natural gas, coal-fired power units continue to appear in coal-mining regions. Therefore, new thermal power plants are focused on two key aspects: improving processes and equipment for burning fossil fuels, and implementing cost-effective technologies using low-potential and renewable energy sources. This can be illustrated by the construction of new thermal power plants and autonomous generation systems with the ability to store thermal and electrical energy. In conclusion, the most promising approaches to improving the efficiency of thermal power plants are formulated, which has significant economic implications.

Key words: low-potential energy, heat, electricity, thermal power plant.

Введение

Эффективность работы тепловых электростанций, особенно новых проектируемых, должна быть повышена за счет использования более широкого диапазона температур.

Таким образом, можно повышать температуру верхнего источника теплоты и понижать тем-

пературу нижнего для увеличения термического КПД.

КПД пылеугольных тепловых электростанций (ТЭС) обычно составляет 33-40 % – это сравнительно невысокий показатель. Определим основные элементы ТЭС, из-за которых существуют ограничения базового технологического цикла. ТЭС работают по пароводяному циклу,

который физически не позволяет достичь высокого КПД. Даже в идеальных условиях часть энергии неизбежно теряется – прежде всего из-за необходимости охлаждать пар после турбины до относительно низкой температуры: потери в котле; потери в турбинной установке; расход энергии на собственные нужды; потери в электроэнергетическом оборудовании [1].

Современные тепловые электростанции работают в основном на природном газе, поддерживая нормы экологических выбросов на низком уровне. Для пылеугольных энергоблоков помимо систем очистки дымовых газов от золовых частиц необходимо предусматривать стабильную работу систем топливоприготовления, топливоподачи, смешения реагентов и поддержания горения.

Одним из вариантов современного оборудования – это ПГУ (парогазовая установка), которая сочетает два типа турбин (газовую и паровую) для более эффективного производства электроэнергии. В качестве основного топлива используется природный газ.

Этапы работы ПГУ следующие. По газовому циклу: природный газ сжигается в камере сгорания; образующиеся горячие газы вращают газовую турбину; турбина приводит в действие первый электрогенератор – вырабатывается «первая часть» электроэнергии; после газовой турбины газы всё ещё очень горячие (около 500–550 °C). По паровому циклу: горячие газы из газовой турбины поступают в котёл-утилизатор; в котле-утилизаторе они нагревают воду и превращают её в пар; пар подаётся в паровую турбину, которая вращает второй электрогенератор и вырабатывается дополнительная «вторая часть» электроэнергии.

Актуальность темы исследования

Тенденции развития энергетической отрасли страны связаны со строительством новых энергоблоков тепловых электростанций, работающих на базе парогазовых установок.

Дальнейшее повышение КПД ТЭС должно быть связано с использованием возобновляемой энергетики и низкопотенциальных источников энергии.

Технологические схемы промышленных предприятий, тепловые схемы ТЭЦ в частности, постоянно совершенствуются. Предлагаются

различные методы их оптимизации, в том числе многопараметрические. Однако даже при проведении самых простых оптимизаций становится понятно, что не используются низкопотенциальные источники теплоты и возобновляемые источники энергии, которые могли бы увеличить термический КПД тепловой электрической станции.

Рекомендуемые методы повышения эффективности ТЭС

При надстройке основного цикла дополнительными устройствами, в том числе низкопотенциальными и возобновляемыми источниками энергии, используется более широкий диапазон температур, а также дополнительные источники теплоты, что приводит к увеличению полезной работы на тепловом оборудовании электростанции. Таким образом, при проведении исследования используются методы термодинамического анализа.

Результаты

Добиться этой стабильности можно для существующего оборудования наладкой режимов. Однако в связи с выработкой запасов проектного топлива ТЭС приходится искать варианты его замены, что влечет перенастройку работы всех систем работы котельного агрегата [2]. Методики настройки работы котла при факельном сжигании угольной пыли представлены в работе. Методики позволяют перенастроить работу малозатратными способами [3].

Для существующих ТЭС возможен еще один вариант повышения КПД – это совершенствование технологии сжигания органического топлива в парогенераторах [4].

Данное направление развивается за счет разработки новых горелочных устройств, которые, например, для пылеугольных энергоблоков снижают тепловые потери от механического и химического недожогов, а также потери с уходящими газами. Кроме того, новые горелочные устройства позволяют наладить режимы работы котлов, снизить ошлакование поверхности нагрева, тем самым избежать аварийных остановов котла и поддерживать номинальную паропроизводительность.

Обсуждение

Во-первых, качество угля, безусловно, влияет на эффективность работы ТЭС. Высокая зольность (до 30–40 %) означает, что большая часть массы угля будет сжигаться без теплового эффекта. Влага в угле (10–15 %) требует дополнительной энергии на испарение. Нестабильный состав (различия в калорийности, содержании серы и летучих веществ) затрудняет настройку оптимального режима горения.

Во-вторых, старые энергоблоки (особенно построенные десятилетия назад) работают менее эффективно по сравнению с современными: поверхности нагрева менее эффективны; системы автоматизации устарели; турбины и котлы физически изношены.

В-третьих, оборудование для очистки газов создаёт дополнительное сопротивление потоку газов, из-за чего требуется больше энергии на работу дымососов и вентиляторов.

Таким образом, перейдем к главной цели работы – рекомендациям по повышению КПД ТЭС:

1. Переход на сверхкритические параметры пара (более высокие давление и температура) позволяет поднять КПД до 45 %. Данная рекомендация применима для вновь строящихся энергоблоков.

2. Газификация угля для пылеугольных ТЭС с комбинированным циклом (ПГУ) даёт существенный прирост эффективности.

3. Оптимизация размола угля и процессов горения снижает потери от недожога.

Низкий КПД пылеугольных ТЭС обусловлен как фундаментальными физическими ограничениями, так и технологическими особенностями работы на твёрдом топливе. Частично улучшить показатели можно за счёт модернизации, но серьёзный рост эффективности требует перехода на иные технологические схемы.

Выводы

Проведен анализ методов повышения энергетической эффективности ТЭС. Предложены варианты применения технологий сжигания органического топлива, увеличивающих КПД котельных агрегатов, а также использования возобновляемых источников энергии, как надстройки основного цикла тепловой электрической станции.

Список литературы

1. Пилова, Е. П. Повышение экономической эффективности недропользования при применении на ТЭС обогащенных углей / Е. П. Пилова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 9. – С. 130-134.

2. Замалиева, А. Т. Повышение надежности, энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС / А. Т. Замалиева, М. Г. Зиганшин // Надежность и безопасность энергетики. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 288-293. – DOI 10.24223/1999-5555-2018-11-4-288-293.

3. Васильев, А. Р. Повышение энергетической эффективности и экологической безопасности ТЭС / А. Р. Васильев, С. А. Кострюков // XXIX Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Направление «Инновационные и цифровые технологии»: тезисы докладов XXIX Региональной конференции молодых ученых и исследователей Волгоградской области, Волжский, 28 октября – 17 ноября 2024 года. – Волжский: ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2025. – С. 22-25.

4. Борисов, Г. М. Повышение эффективности работы ТЭС при организации контроля параметров и диагностики эксплуатационного состояния теплоэнергетического оборудования / Г. М. Борисов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 2(46). – С. 34-36.

References

1. Pilova, E. P. Increasing the Economic Efficiency of Subsoil Use with the Use of Enriched Coals at Thermal Power Plants / E. P. Pilova // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2005. – No. 9. – Pp. 130-134.

2. Zamalieva, A. T. Increasing the Reliability, Energy, and Environmental Efficiency of Gas Cleaning Systems at Thermal Power Plants / A. T. Zamalieva, M. G. Ziganshin // Reliability and Safety of Energy. – 2018. – Vol. 11, No. 4. – Pp. 288-293. – DOI 10.24223/1999-5555-2018-11-4-288-293.

3. Vasiliev, A. R. Improving the energy efficiency and environmental safety of thermal power plants / A. R. Vasiliev, S. A. Kostryukov // XXIX Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd Region. Direction «Innovative and Digital Technologies»: abstracts of reports of the XXIX Regional Conference of Young Scientists

and Researchers of the Volgograd Region, Volzhsky, October 28 – 17, 2024. – Volzhsky: FSBEI VO «NRU «MPEI», 2025. – Pp. 22-25.

4. Borisov, G. M. Improving the efficiency of thermal power plants when organizing parameter

monitoring and diagnostics of the operational state of heat and power equipment / G. M. Borisov // Energy Saving and Water Treatment. – 2007. – No. 2 (46). – Pp. 34-36.

Сведения об авторе

Дудкин Максим Михайлович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск, Россия, dudkinmm@susu.ru.

About the author

Dudkin Maxim Mikhailovich – D. Sc., Associate Professor, professor of the Department of Electric Drives, Mechatronics and Electromechanics, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia, dudkinmm@susu.ru.

Дата поступления рукописи: 29.01.2026

Дата принятия рукописи: 18.09.2026