

$$F_{cm2} = (V_{r3} + V_{b1}) / (3600 \cdot 25) = (300 + 540,5) / (3600 \cdot 25) = 0,0093 \text{ м}^2.$$

При наружном диаметре центрального газового сопла диаметре $d_{13}=42$ мм внутренний диаметр наружного кольца выходного сопла защитного факела составит

$$d_{10} = \sqrt{\left(\frac{F_{cm2}}{\pi} 4 + d_{1H}^2\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,0093}{3,14} 4 + 0,042^2\right)} = 0,285 \text{ м или } 285 \text{ мм}.$$

Толщина стенки сопла из жаропрочной стали – 10 мм. Наружный диаметр носика горелки – $d_{11}=285+20=305$ мм.

Список использованных источников

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
2. Теория практика теплогенерации / С.Н. Гуцин, М.Д. Казяев, Ю.В. Крючков, В.Б. Кутьин, В.И. Лобанов, Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 379 с.

УДК 62–97/–98

И. А. Бабенко, В. Л. Шульман

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗВИТИЕ УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА СУПЕРСВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ В РОССИИ

Аннотация

В статье рассмотрены преимущества перехода мировой и отечественной энергетики со сверхкритических параметров на суперсверхкритические. Дан обзор экологических и экономических аспектов, связанных с повышением КПД цикла. Рассмотрен компромисс уменьшения затрат эксплуатационных и повышения затрат капитальных на стадии проектирования станций. Указан положительный опыт строительства станций, работающих на суперсверхкритических параметрах в прошлом в Европе. Приведён анализ текущей ситуации в угольной энергетике России, также в статье продемонстрирован пример эффективной эксплуатации опытного блока на суперсверхкритических параметрах на Каширской ГРЭС и опыт создания промышленного блока на Троицкой ГРЭС. Их успешная работа, проведенные на них тесты и полученные результаты дают отчетливо понять, что Россия готова к внедрению современных эффективных и экологических технологий.

Ключевые слова: суперсверхкритические параметры, угольная энергетика, Троицкая ГРЭС, Каширская ГРЭС, ТЭС.

Abstract

Advantages of changing steam parameters from supercritical to advanced-supercritical for world and Russian power engineering are considered in the article. The review of ecological aspects and economic dimension related to efficiency upgrading is given. The compromise between operating costs decreasing and capital costs growing on the stage of power plants developing is observed. The positive experience of advanced-supercritical power stations construction in Europe in recent years is described. Analysis of current situation of coal-fired power engineering in Russia is presented in this paper. The examples of efficient operating of the mock-up unit in Kashirskaya power plant and

creating of the commercial unit in Troitskaya power plant are observed. The successful maintenance of such power plants, running tests and their results can be understood as a readiness of Russian power engineering to the introduction of modern and environment-oriented technologies.

Key words: *advanced-supercritical parameters, coal energy engineering, Troitskaya power plant, Kashirskaya power plant, power station.*

Повышение параметров пара является одним из главных путей повышения КПД паротурбинных энергоблоков современных тепловых электростанций. Каждый процент увеличения КПД сокращает удельные выбросы CO₂ на 2–3 %. Мировая теплоэнергетика достигла значительного прогресса, переходя от критических параметров пара (давление $P = 16$ МПа, температура $t = 540$ °С) к сверхкритическим ($P = 24$ МПа, $t = 550$ °С) и суперсверхкритическим ($P > 30$ МПа, $t > 600$ °С) [1].

Существенные успехи в развитии угольных ТЭС достигнуты давно уже во многих странах, например, в Германии, где уже в 1998 г. на ТЭС Schwarze Pumpe были введены два энергоблока, работающих на буром угле, мощностью по 800 МВт с параметрами пара 26,8 МПа, 547/565 °С, КПД 40,8 %; в 2002 г. – энергоблок на ТЭС Nideraussem мощностью 1012 МВт брутто и 965 МВт нетто с КПД 45,2 %, параметры пара — 27,5 МПа, 580/600 °С [2].

Что касается отечественной энергетики, то в советское время уже были наработки по блокам, работающим на суперсверхкритических параметрах. Одним из первых пилотных проектов был блок СКР–100 на Каширской ГРЭС. Созданию этого блока предшествовал пуск на ТЭЦ ВТИ в ноябре 1949 года первого в мире опытного котла 60–ОП на параметры пара 30 МПа, 600 °С, а затем после реконструкции 30 МПа, 650 °С. На основе этого была создана экспериментальная база с крупномасштабными стендами для исследования теплогидравлических процессов, а также металла и арматуры для указанных параметров пара. Создание надстроечного блока СКР–100 осуществлено в 1956 году на Каширской ГРЭС.

Надстроечный блок мощностью 100 МВт на параметры пара 30 МПа, 650 °С с промперегревом при 10 МПа, 565 °С подавал пар на работающие турбины станции мощностью до 30 МВт в количестве трёх штук [3].

Пусковые работы 1967–1968 гг. обеспечили взятие первой нагрузки в сентябре 1968 года. Впервые в отечественной энергетике был создан котёл ПК–37 (производство ЗиО) инвертной компоновки, особенности конструкции которого обеспечили минимальную длину паропроводов из дорогих аустенитных сталей, что резко сократило затраты на производство, а также уменьшило их сопротивление.

Опыт эксплуатации котла ПК–37 позволил определить необходимые марки стали для парогенерирующих и пароперегревательных поверхностей нагрева котлов новых блоков на СКП.

В составе блока СКР–100 была применена турбина с противодавлением Р–100–300 (производство ХТГЗ). Отличительной особенностью данной турбины является то, что впервые в отечественной практике турбостроения было принято решение по охлаждению проточной части и паровпуска ЦСВД.

Преимущество охлаждаемого ЦВД заключается в отсутствии трудностей, связанных с получением крупных и весьма дорогих поковок для ротора и внутреннего корпуса из аустенитных сталей, так как перлитные стали имеют меньший коэффициент линейного расширения и более высокую теплопроводность.

Опыт эксплуатации цилиндра СВД показал, что особых проблем с внутренним корпусом не было.

Из опыта по турбине Р–100–300 следует, что применение аустенитных сталей в новых турбинах и арматуре (кроме рабочих и направляющих лопаток первых ступеней) должно быть исключено.

Время пуска из холодного состояния при наличии аустенитных деталей турбины достигало 20 часов, что существенно ухудшает маневренные характеристики блока.

Тем не менее ряд конструктивных решений турбины Р–100–300 могут быть использованы при создании турбин мощных блоков СКП.

На блоке СКР–100 длительность работы пароперегревателей из стали на опытном котле ТЭЦ ВТИ составила 130 тыс. часов. За всё время эксплуатации не было ни одного случая разрушения деталей в обеих энергоустановках.

Срок службы энергоблоков ТЭС составляет примерно 40 лет, при этом множество российских энергоблоков исчерпали данный ресурс. Целесообразность постепенного перехода к энергоблокам со суперсверхкритическими параметрами пара (ССКП) в России в настоящее время обусловлена многими обстоятельствами.

Российская энергетика вернулась к вводу новых мощностей современного уровня, пережив кризис застоя в развитии. Согласно Генеральному плану развития энергетике до 2030 г. планируется разработка и ввод до 2020 г. первых пылеугольных блоков мощностью 660 МВт на суперсверхкритических (ССКП) параметрах пара с давлением до 30 МПа и температурой 600–620 °С. Повышение параметров пара – это один из наиболее эффективных способов повышения КПД ТЭС.

На площадке филиала ПАО «ОГК–2»–Троицкая ГРЭС в рамках договора о предоставлении мощности реализовался уникальный для России проект строительства пылеугольного энергоблока ПСУ–660 МВт (блок №10). Такой мощный угольный энергоблок иностранного производства появился в РФ впервые за последние 30 лет. Новый энергоблок полностью автономный от действующей части электростанции, имеющий отдельный комплекс инфраструктурных вспомогательных производственных объектов. КПД современного газоочистного оборудования блока № 10 Троицкой ГРЭС превышает 99 %. Основное топливо для блока, как и для всей станции – Кузнецкий уголь. Растопочное топливо – мазут.

Общая стоимость проекта составила 54 млрд рублей. Решение о строительстве двух новых пылеугольных блоков (по 660 МВт каждый) принял новый собственник ОГК–2 – Газпром. По мнению его менеджмента, Троицкая ГРЭС выработала ресурс и нуждается в радикальной модернизации. В период с 1992 по 2016 гг. оборудование второй очереди станции, выработавшее свой ресурс (4 энергоблока, мощностью по 300 МВт каждый) было выведено из эксплуатации [4].

Проектом строительства предусмотрена установка очистки дымовых газов от серы, что позволит получить побочный продукт производства в виде строительного гипса в количестве более 20 тыс. т/год. Штат вновь построенного энергоблока ПСУ 660 МВт ст.№10 составляет 151 чел., т.е. создано 151 рабочее место [4].

Рабочие параметры блока № 10:

- давление – 250 кгс/см²;
- температура – 566 °С;
- КПД энергоблока – 42%;
- удельный расход условного топлива – 292 г/кВт·ч (у действующего оборудования – 450 г/кВт·ч).

Как можно заметить, в России успешно были построены и эксплуатируются блоки на суперсверхкритических параметрах. Опыт Троицкой ГРЭС показал, что замена устаревших мощностей новыми, современными и экологическими блоками позволит России пойти в ногу со временем. Мы сможем максимально эффективно использовать богатые запасы угля, при этом получая мощность конкурентную на рынке электроэнергии и следовать самым жестким экологическим стандартам.

Также можно нельзя не отметить, что рост КПД несомненно приведет к увеличению капитальных вложений. Но на данном этапе развития технологий производства металлов граница, когда производство будет экономически выгодно находится между 600 °С и 700 °С. Даже уже на 700 °С себестоимость будет больше, чем на блоках, которые работают длительное время. Но если не выходить за границы разумных пределов, уже сейчас можно и нужно строить новые блоки на параметры пара выше, чем уже существующие и распространённые 24 МПа и 545/545 °С.

Список использованных источников

1. Технологическая платформа «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» [Электронный ресурс]. URL: http://tp-rusenergy.ru/technology/coal_blocks_with_supercritical_steam_parameters.

2. Энергоконсультант «Основы современной энергетики» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energocon.com/pages/id1079.html> (дата обращения 5.04.2018).

3. Всероссийский теплотехнический институт «Аудит энергоблока СКР-100 на суперсверхкритические параметры пара установленного на Каширской ГРЭС» [Электронный ресурс]. URL: <http://vti.ru/about/scientific-technical-council/itogi-zasedanij-nts/30-maya-2011-goda-sostoyalos-zasedanie-nts-oao-vti-po-auditu-energobloka-skr100-na-supersverhkriticheskie-parametry-para-ustanov/>(дата обращения 5.04.2018).

4. ОГК-2 «Проект строительства энергоблока ПСУ-660» [Электронный ресурс]. URL: http://www.ogk2.ru/rus/investment/objects/psu_660_territoriya_troitskoy_gres.php.