ной прочности позволяет оценивать остаточный ресурс с учетом температурно-временных факторов. Переход от регламентного к риск-ориентированному подходу с использованием цифровых паспортов и IoT-мониторинга позволит оптимизировать затраты и повысить надежность газоснабжения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на адаптацию европейских методик к условиям эксплуатации в Республике Беларусь.

Литература

1. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления : СН 4.03.01-2019. – М. : НТЦ ПБ, 2019.
2. Трубы полиэтиленовые для газопроводов : ГОСТ 18599-2001. – М. : Стандартинформ, 2001.
3. Трубы и фитинги из полиэтилена для газопроводов : СТБ ГОСТ Р 50838-2019. – Минск : Госстандарт, 2019.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭЦ

Б. В. Чернейко, А. В. Кононович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. А. Вальченко

Проведен расчет гидравлических потерь в системе оборотного водоснабжения ТЭЦ-2. Установлено, что максимальная скорость потока достигает 4,42 м/с на участках с диаметром 1000 мм, число Рейнольдса превышает значение 10^6 (режим развитой турбулентности). Суммарные путевые потери составили 9,74 м, местные – 11,36 м, что соответствует нормативному диапазону 5–15 м. Выявлен потенциал снижения энергопотребления циркуляционных насосов на 20–40 % путем увеличения диаметров напряженных участков.

Ключевые слова: оборотное водоснабжение, гидравлические потери, гидравлический расчет, энергоэффективность.

Система оборотного водоснабжения (СОВ) является критически важным элементом ТЭЦ, обеспечивающим охлаждение конденсаторов турбогенераторов. Гидравлические потери напора непосредственно влияют на энергопотребление циркуляционных насосов, которое составляет 0,25–0,35 % от мощности турбогенератора. Оптимизация гидравлических характеристик позволяет снизить эксплуатационные затраты на 20–40 % [1].

Объект исследования – СОВ ТЭЦ-2 с пятью циркуляционными насосами (производительность до 12500 т/ч, напор 0,1–0,2 МПа), тремя конденсаторами турбогенераторов (гидравлическое сопротивление 48,1 кПа) и двумя градирнями. Общая протяженность напорных и сливных трубопроводов составляет 552 и 351 м при диаметрах 1000–2200 мм. Расчетный расход воды при работе трех насосов и двух турбогенераторов – 25000 т/ч.

Гидравлический расчет выполнен по методике [2] с использованием зависимостей для определения потерь на трение по длине трубопроводов и коэффициентов местных сопротивлений. Расчет проведен при следующих физических свойствах воды: плотность 999 кг/м³, кинематическая вязкость $1{,}56 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, шероховатость труб 0,15 мм, ускорение свободного падения 9,81 м/с^2.

Коэффициенты гидравлического сопротивления варьируются от 0,056 до 0,068. Максимальная скорость потока 4,42 м/с зафиксирована на участке 3а-4а с диаметром 1000 мм. Наибольшие потери напора наблюдаются на участках с небольшими диаметрами: 1,68 м на участке 36-35 (диаметр 1600 мм, $Re = 5{,}26 \cdot 10^6$), 0,81 м на участке 4а-5а и 0,72 м на участке 9-64 с диаметром 1600 мм. Участки с диаметрами 2200 мм характеризуются минимальными потерями (0,18–0,42 м) при скоростях 1,6–2,4 м/с.

Суммарные путевые потери составляют 9,74 м, в том числе по напорному циркводоводу № 2 – 8,77 м, циркводоводу № 1 – 0,97 м. Местные сопротивления дают потери 11,36 м, включая вход и выход в конденсаторы (8,44 м), сужения и расширения (2,84 м), повороты труб (0,08 м).

Расчетные потери в трубопроводах находятся в пределах нормативного диапазона 5–15 м для систем оборотного водоснабжения ТЭЦ [3]. Сопротивление конденсаторов турбин (4,9 м, или 48,1 кПа) соответствует проектным значениям. Развитая турбулентность обеспечивает эффективный теплообмен в конденсаторах, но приводит к повышенным гидравлическим потерям.

Таким образом, система функционирует в штатном режиме, гидравлические параметры соответствуют проектным значениям. Наиболее напряженными являются участки с диаметрами 1000–1200 мм, где скорости достигают 3–4,4 м/с.

В работе выполнен анализ гидродинамических режимов системы оборотного водоснабжения Гомельской ТЭЦ-2 на основе эксплуатационных данных, что позволило оперативно оценить характер течения и потери напора.

Установлено, что движение охлаждающей воды на всех участках трубопроводов происходит при развитой турбулентности (Re составляют $1{,}15 \cdot 10^5$–$5{,}26 \cdot 10^5$). Такой режим обеспечивает высокую интенсивность теплообмена в конденсаторах, но сопровождается значительными гидравлическими потерями, квадратично зависящими от скорости потока.

Установлен существенный разброс скоростей течения: от 1,28 до 4,42 м/с. На участке 3а-4а зафиксировано превышение рекомендуемого диапазона (1,5–3,5 м/с), что создает риски эрозионного износа и кавитации. Подтверждена квадратичная зависимость потерь от скорости: увеличение расхода в 2,2 раза (с 3,47 до 7,64 $м^3$/с) привело к десятикратному росту путевых потерь на участке 36–35 (с 0,166 до 1,679 м). Отмечено, что конденсатор является доминирующим источником местного сопротивления ($\xi = 84{,}42$, потери 7,04 м, что составляет 78,9 % от суммарных местных потерь). Обнаружена диспропорция потерь между параллельными ветвями (8,77 м против 0,97 м), требующая гидравлической балансировки системы.

Полученные результаты можно использовать для снижения энергопотребления циркуляционных насосов (внедрение частотно-регулируемых приводов, оптимизация числа работающих агрегатов), планирования модернизации СОВ (замена зауженного участка 3а-4а, очистка теплообменника 5в), гидравлической балансировки системы и разработки эксплуатационных регламентов.

Литература

1. Соколов, Е. Я. Промышленная теплоэнергетика / Е. Я. Соколов. – М. : Энергоатомиздат, 2012. – 312 с.
2. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Справочник по проектированию систем водоснабжения и канализации / под ред. А. А. Добромыслова. – М. : Стройиздат, 2010. – 256 с.