

УДК 621.321

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТУРБОАГРЕГАТА ТП-115/125-130-1ТП ПО ТМЗ ПРИ РАБОТЕ В КОНДЕНСАЦИОННОМ РЕЖИМЕ

Г.В. ЛЕДУХОВСКИЙ, А.А. ПОСПЕЛОВ, кандидаты техн. наук,
Н.С. АСТАШОВ, И.Б. ВОЛКОВ, Г.Б. КОМИССАР, инженеры

Приведены результаты тепловых испытаний турбоагрегата Тп-115/125-130-1ТП ПО ТМЗ при его работе в конденсационном режиме, выполнено сопоставление полученных данных с результатами расчетов завода-изготовителя.

Ключевые слова: паровая турбина, испытания оборудования, конденсационный режим работы.

HEAT RUNS RESULTS OF TP-115/125-130-1TP PU TMZ IN CONDENSATION MODE

G.V. LEDUKHOVSKY, A.A. POSPELOV, Candidates of Engineering;
N.S. ASTASHOV, I.B. VOLKOV, G.B. KOMISSAR, Engineers

The authors present the heat runs results of Тp-115/125-130-1tp PU TMZ in the condensation mode. The comparison of the final data and the calculation results of a manufacturing plant is carried out.

Key words: steam turbine, heat run, condensation mode.

Ранее были опубликованы результаты тепловых балансовых испытаний турбоагрегата Тп-115/125-130-1ТП ПО ТМЗ Йошкар-Олинской ТЭЦ-2 применительно к теплофикационным режимам работы по тепловому и электрическому графикам нагрузок, а также результаты экспериментальных исследований по определению влияния давления отработавшего пара в конденсаторе турбины на электрическую мощность турбогенератора [1–3]. Ниже приведены результаты испытаний рассматриваемого турбоагрегата при его работе в конденсационном режиме.

Тепловая схема турбоустановки при проведении испытаний в конденсационном режиме соответствовала тепловой схеме для теплофикационного режима с двухступенчатым подогревом сетевой воды [2] со следующими отличиями: отключена подача сетевой воды в теплофикационную установку (сетевые подогреватели первой и второй ступени – ПСГ-1 и ПСГ-2); отключен подогреватель низкого давления № 1 (ПНД-1), поскольку конденсат греющего пара этого подогревателя может быть направлен только в конденсатосборник ПСГ-2; регулирующая диафрагма части низкого давления (ЧНД) турбоагрегата полностью открыта; регулятор давления пара в камере теплофикационного отбора отключен.

Программой испытаний предусмотрено проведение 12 опытов при изменении расхода свежего пара на турбоагрегат и, соответственно, электрической мощности в регулировочном диапазоне. При этом четыре опыта являлись дублирующими, проведенными дополнительно на средней и максимальной нагрузках турбоагрегата.

Для каждого из опытов в целях минимизации влияния на итоговый результат испытаний поправок на отклонение режимных пара-

метров от их номинальных значений соблюдались следующие условия: минимальная разница между расходом питательной воды через группу подогревателей высокого давления (ПВД) и расходом свежего пара на турбоагрегат; минимальное отклонение параметров свежего пара перед стопорным клапаном и давления отработавшего пара в конденсаторе от номинальных значений; минимальные колебания уровней конденсата в конденсатосборниках конденсатора и регенеративных подогревателей.

Длительность каждого опыта при работе в конденсационном режиме составляла не менее 1 ч. Между опытами после каждого изменения нагрузки делалась выдержка по времени для стабилизации теплового состояния оборудования.

Алгоритмы обработки результатов испытаний для конденсационного режима в целом соответствуют алгоритмам обработки результатов испытаний турбоустановки при ее работе в теплофикационных режимах по электрическому графику нагрузок [2, 3] с соответствующим сокращением перечня рассчитываемых поправок к электрической мощности на этапе приведения результатов к номинальным условиям. В данном случае требовалось учесть поправки на отклонение расходов теплоносителей по тепловой схеме, обусловленное отклонением значений ряда режимных параметров от номинальных условий; поправки на отклонение от номинальных значений коэффициента мощности $\cos(\varphi)$ турбогенератора, параметров свежего пара перед стопорным клапаном, давления отработавшего пара в конденсаторе.

Основное ограничение на нагрузку в конденсационном режиме введено заводом-изготовителем по максимальному расходу свежего пара (300 т/ч).

В ходе обработки результатов испытаний получены искомые зависимости режимных параметров по турбоустановке, важнейшими из которых являются: диаграмма режимов – зависимость расхода свежего пара от электрической мощности (рис. 1) и основная характеристика тепловой экономичности – зависимость удельного расхода тепловой энергии брутто на выработку электроэнергии от электрической мощности (рис. 2). Последняя является расчетной характеристикой, определяемой по данным испытаний, поэтому точки, соответствующие опытным режимам, на рис. 2 не показаны.

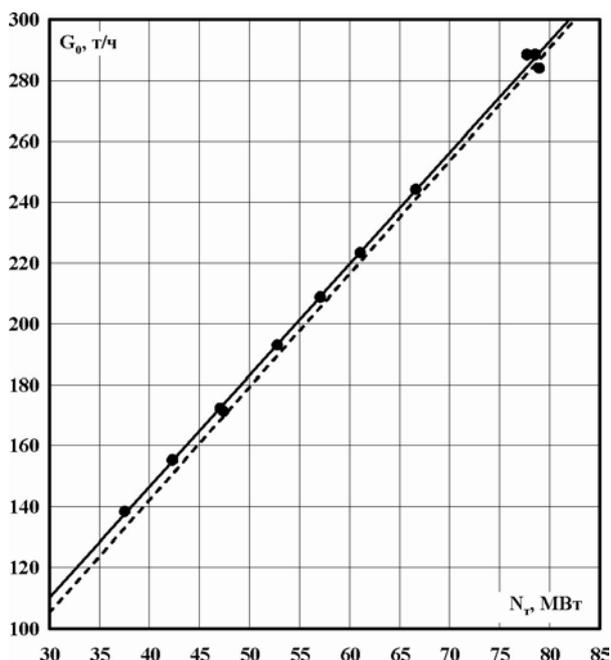


Рис. 1. Сопоставление опытной диаграммы режимов турбоагрегата при работе в конденсационном режиме с данными завода-изготовителя: G_0 – расход свежего пара на турбоагрегат, т/ч; N_T – электрическая мощность, МВт; точки – опытные данные; сплошная линия – аппроксимация опытных данных; пунктирная линия – данные завода-изготовителя, приведенные к выбранным номинальным условиям (условия построения – номинальные [2])

Диаграмма режимов сопоставлена с результатами расчетов завода-изготовителя – Уральского турбомоторного завода (рис. 1). Среднее отклонение опытных данных от данных завода-изготовителя составило 2,7 % в большую по расходу свежего пара сторону. Здесь необходимо отметить, что заводская зависимость, представленная на рис. 1, приведена к заданным для испытываемого турбоагрегата номинальным условиям. При этом выполнено следующее: учтены поправки к электрической мощности на отклонение параметров свежего пара перед стопорным клапаном, давления отработавшего пара в конденсаторе; введены поправки к расходу свежего пара на отработанный ресурс в размере 0,0085 % на 1000 часов работы [4], на питание деаэратора паром стороннего источника.

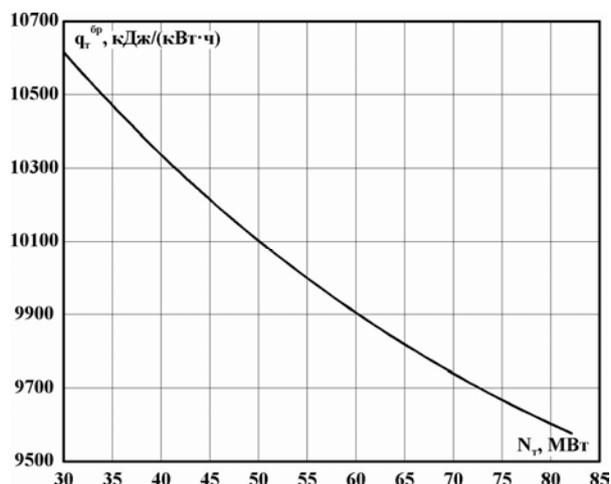


Рис. 2. Опытная характеристика тепловой экономичности турбоагрегата при работе в конденсационном режиме: q_T^{br} – удельный расход тепловой энергии брутто на выработку электроэнергии, кДж/(кВт·ч); прочие обозначения и условия построения – те же, что на рис. 1

Рассмотренные зависимости предназначены для непосредственного использования при расчете номинальных показателей работы турбоагрегата и составляющих резерва тепловой экономичности – перерасходов или экономии топлива из-за отклонения режимных параметров или технического состояния элементов турбоустановки от номинальных условий в ходе эксплуатации. Кроме этих характеристик по результатам испытаний построены также дополнительные зависимости по расходу пара в ЧНД турбоагрегата (рис. 3, 4) и давлениям пара в камерах отборов (рис. 5).

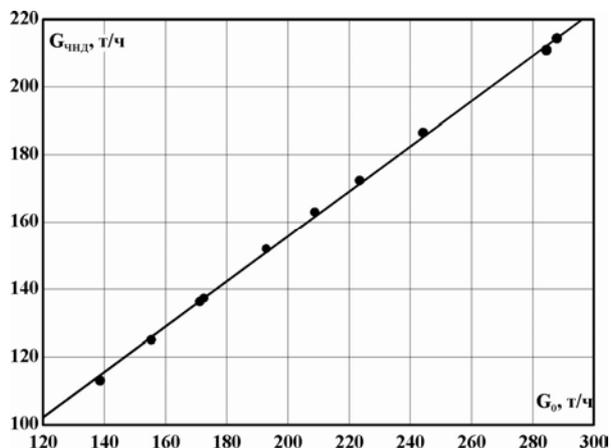


Рис. 3. Опытная зависимость расхода пара в ЧНД турбоагрегата от расхода свежего пара при работе в конденсационном режиме: $G_{чнд}$ – расход пара в ЧНД турбоагрегата, т/ч; прочие обозначения и условия построения – те же, что на рис. 1

Построение зависимости, показанной на рис. 3, необходимо при разработке энергетических характеристик турбоагрегата [4] в целях обеспечения возможности расчета номинального расхода пара в конденсатор и, соответственно, номинального давления отработавшего пара в конденсаторе.

Фактический расход пара в конденсатор в условиях эксплуатации для большинства теплофикационных турбоагрегатов определить проблематично. Расчет этого расхода по балансу конденсатора затруднен необходимостью учета многочисленных потоков, вводимых в конденсатор, при недостаточности или полном отсутствии соответствующего приборного контроля. Непосредственное измерение расхода пара в конденсатор невозможно. Таким образом, при эксплуатации целесообразно иметь зависимость, позволяющую косвенно определять расход пара в конденсатор. Такие расчеты можно проводить, например, используя зависимость расхода пара в конденсатор от давления в контрольной ступени турбоагрегата (рис. 4).

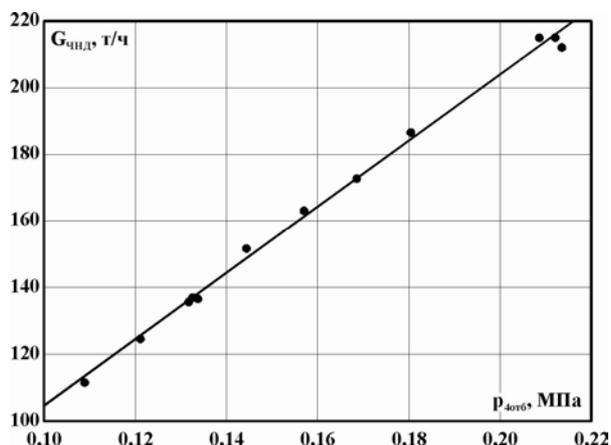


Рис. 4. Опытная зависимость расхода пара в ЧНД турбоагрегата от давления в камере контрольной ступени при работе в конденсационном режиме: $p_{отб4}$ — абсолютное давление пара в камере контрольной ступени (камере четвертого отбора) турбоагрегата, МПа; прочие обозначения и условия построения — те же, что на рис. 1, 3

Поскольку в конденсационном режиме регулирующая диафрагма ЧНД полностью открыта и не вносит дополнительного аэродинамического сопротивления в проточную часть турбины, рассматриваемая зависимость оказывается достаточно точной для практических расчетов. Требуется лишь обеспечить качественный приборный контроль давления пара в камере соответствующего регенеративного отбора (в данном случае — четвертого отбора турбоагрегата).

Зависимости давления пара в камерах отборов турбоагрегата от расхода свежего пара (рис. 5) используются для непосредственного контроля аэродинамического сопротивления проточной части (интенсивности ее солевого заноса при нарушениях водно-химического режима) в процессе эксплуатации. Кроме того, эти зависимости необходимы для определения

минимально возможных значений давления пара по проточной части при расчете энергетических характеристик турбоагрегата для теплофикационных режимов его работы, то есть для определения зон естественного повышения давления пара в камерах регулируемых отборов.

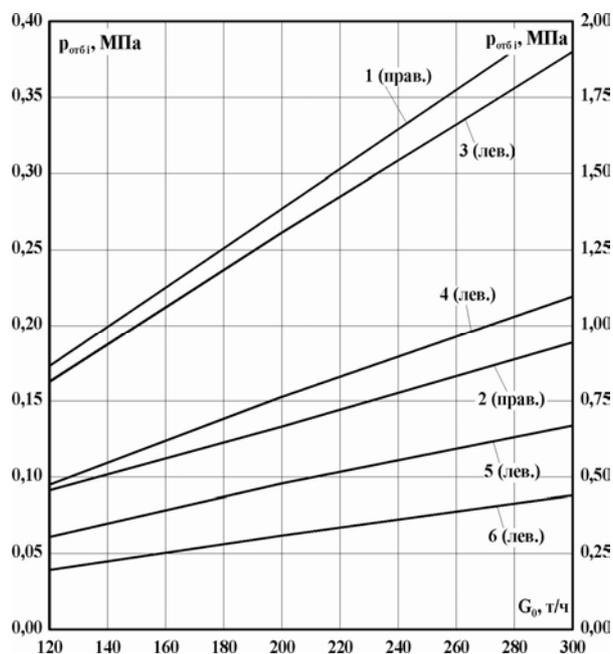


Рис. 5. Опытные зависимости давления пара в камерах отборов турбоагрегата при работе в конденсационном режиме: $p_{отб i}$ — абсолютное давление пара в камере отбора турбоагрегата, МПа; индекс «i» — номер отбора, начиная с верхнего (соответствует номеру линии); в обозначении линий в скобках указана ось давления (лев. — левая; прав. — правая); прочие обозначения и условия построения — те же, что на рис. 1

Список литературы

1. **Экспериментальное** определение сетки поправки к мощности турбины Тп-115/125-130-1ТП УТМЗ на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе / Г.В. Ледуховский, А.А. Поспелов, М.Ю. Зорин и др. // Вестник ИГЭУ. — 2010. — Вып. 4. — С. 4–9.
2. **Испытания** турбоагрегата Тп-115/125-130-1ТП ПО ТМЗ при работе в теплофикационном режиме с двухступенчатым подогревом сетевой воды в целях построения диаграммы режимов / Г.В. Ледуховский, А.А. Поспелов, Н.С. Астахов и др. // Вестник ИГЭУ. — 2011. — Вып. 2. — С. 3–10.
3. **Разработка** диаграммы режимов турбоагрегата Тп-115/125-130-1ТП ПО ТМЗ при работе в теплофикационном режиме с одноступенчатым подогревом сетевой воды по результатам тепловых испытаний / Г.В. Ледуховский, А.А. Поспелов, М.Ю. Зорин и др. // Вестник ИГЭУ. — 2011. — Вып. 3. — С. 3–6.
4. **РД 34.09.155-93.** Методические указания по составлению и содержанию энергетических характеристик оборудования тепловых электростанций: разраб. «Фирма по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей ОРГРЭС»; утв. Мин-вом топлива и энергетики России 22.09.93, введ. в действие с 01.12.93.

Ледуховский Григорий Васильевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций, адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408, e-mail: lgv83@yandex.ru

Поспелов Анатолий Алексеевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Асташов Николай Сергеевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
ассистент кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Волков Игорь Борисович,
Филиал ОАО «ТГК-5» «Марий Эл и Чувашии», Йошкар-Олинская ТЭЦ-2,
начальник котлотурбинного цеха,
адрес: Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Крылова, д.47, ТЭЦ-2

Комиссар Геннадий Борисович,
Филиал ОАО «ТГК-5» «Марий Эл и Чувашии», Йошкар-Олинская ТЭЦ-2,
заместитель начальника котлотурбинного цеха по эксплуатации,
адрес: Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Крылова, д.47, ТЭЦ-2