



THE EXPERIENCE OF STEAM TURBINE K-200-130 LMZ RECONSTRUCTION WITH SUBSTITUTION OF A LOW- PRESSURE CYLINDER

Gregory RIABOKON¹, Joseph MYSAK²

¹Join stock company «LVIVORGRES»

²National university «Lviv Polytechnic»

Abstract – The thermal acceptance tests results of steam turbines K-200-130 LMZ after their reconstructions are presented in this paper. One of these turbines is a part of the unit № 5 of Kurakhovo power plant and the other turbine is a part of the unit № 5 of Burshtyn power plant. The reconstruction was in substitution of a low-pressure cylinder, which has larger exhaust area due to eliminating the last pressure stage, so called "Bauman stage". The efficiency of this low-pressure cylinder is 87.5%, which was proved by the thermal acceptance tests. Also, specific heat rate was decreased due to the reconstruction of the turbine and it is lower for 1.3% than the data of typical power characteristics of the turbine K-200-130 LMZ. Thus the experience of steam turbine K-200-130 LMZ reconstructions at Ukrainian power plants can be use to increase the work efficiency of Moldova power plant, which includes ten units with turbines of this type.

Keywords – steam turbine, thermal acceptance tests, efficiency, low-pressure cylinder, specific heat rate.

EXPERIENȚA RECONSTRUCȚIEI TURBINEI K-200-130 LMZ PRIN SUBSTITUIREA CILINDRULUI DE JOASĂ PRESIUNE

Gregori RIABOCON¹, Joseph MÎSAC²

¹Compania mixtă "LVOVGRĂȘ"

²Universitatea Națională din Lvov „Politehnica din Lvov”

Rezumat – În articol sunt prezente rezultatele testărilor de garanție a turbinelor cu abur K-200-130 LMZ a blocurilor energetice st. 5 CET Curahovo și a st. 5 CET Burștînc după reconstrucție, care a constat în substituirea vechiului CND pe unul modernizat, cu aria de eșapament mărită din contul eliminării treptei Bauman. Din rezultatele testărilor este confirmată atingerea randamentului de 87,5% garantat de către uzina producătoare din contul cărora a fost posibilă sporirea puterii turbinelor. La fel, în rezultatul reconstrucției s-a reușit reducerea consumului specific de căldură la turbină în mediu cu 1,3 % comparativ cu datele tipice ale caracteristicii energetice a turbinei K-200-130 LMZ. În așa fel, experiența de reconstrucție a turbinelor cu abur K-200-130 LMZ la CETurile din Ucraina poate fi util și la sporirea eficienței CET de la Cuciurgan, la care sunt instalate zece blocuri energetice cu turbine cu abur K-200-130 LMZ și două blocuri energetice cu gaz – abur.

Cuvinte cheie – turbină cu abur, teste de garanție, randament, cilindrul de tensiune joasă, consumul specific de căldură.

ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН К-200-130 ЛМЗ С ЗАМЕНОЙ ЦИЛИНДРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Г.О. Рябокoнь¹, Й.С. Мысак²

¹ПАО «ЛЬВОВОРГРЭС»

²Национальный университет «Львовская политехника»

Реферат – В статье представлены результаты гарантийных испытаний паровых турбин К-200-130 ЛМЗ энергоблоков ст. № 5 Кураховской ТЭС и ст. № 5 Бурштынской ТЭС после реконструкции, которая заключалась в замене старого ЦНД на модернизированный, с увеличенной за счет исключения ступени Баумана площадью выхлопа. По результатам испытаний подтверждено достижение гарантированного заводом-изготовителем значения КПД ЦНД на уровне 87,5 %, за счет чего удалось повысить мощность турбин. Также, в результате реконструкции, удалось сократить удельный расход теплоты на турбину в среднем на 1,3 % по сравнению с данными типовой энергетической характеристики турбины К-200-130 ЛМЗ. Таким образом, опыт реконструкции паровых турбин К-200-130 ЛМЗ на Украинских ТЭС может быть полезен для проведения мероприятий по повышению эффективности работы Молдавской ГРЭС, на которой установлено десять паротурбинных энергоблоков с турбинами К-200-130 ЛМЗ и два парогазовых энергоблока.

Ключевые слова – паровая турбина, гарантийные испытания, коэффициент полезного действия, цилиндр низкого давления, удельный расход теплоты.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одними из самых распространенных на тепловых электростанциях стран СНГ являются энергоблоки мощностью 200 МВт с паровыми турбинами К-200-130 производства Ленинградского металлического завода (ЛМЗ). Так, на Украинских ТЭС установлено более 40 турбин такого типа. Турбины данного типа установлены также на Молдавской ГРЭС, которая состоит из десяти паросиловых блоков мощностью 200 МВт и двух парогазовых энергоблоков. Поскольку энергоблоки мощностью 200 МВт с турбинами К-200-130 ЛМЗ вводились преимущественно в 70-х годах, большинство из них уже выработало свой ресурс. Поэтому энергетические компании, эксплуатирующие турбины данного типа столкнулись с потребностью реконструкций оборудования, для продления ресурса его эксплуатации и повышения экономичности его работы.

О реконструкциях турбин К-200-130 ЛМЗ проведенных на Кураховской ТЭС и Бурштынской ТЭС и о результатах их испытаний пойдет дальше речь в этой статье.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ТУРБИНЫ

В объем работ по реконструкции турбины входил ремонт проточных частей цилиндров высокого и среднего давления, который заключался в восстановлении зазоров в уплотнениях до проектных размеров. Основную ставку в ходе реконструкции сделано на замену проточной части цилиндра низкого давления (ЦНД).

В существующих турбинах К-200-130 ЛМЗ установлен двух поточный ЦНД, который имеет в каждом потоке по четыре ступени направляющих и рабочих лопаток. Предпоследняя ступень - двухъярусная, имеет перегородки между ярусами (ступень Баумана). В таком ЦНД треть рабочего пара после третьей ступени отводится в конденсатор, а остальная часть подводится к четвертой ступени.

Модернизация проточной части ЦНД в основном состоит в исключении ступени Баумана, за счет чего в последней ступени давления используются рабочие лопатки высотой 960 мм. Рабочий пар в проточной части расширяется плавно. Рабочие лопатки имеют цельно фрезерованные бандажи, которые предотвращают раскручивание пера лопатки под действием центробежных сил и позволяют применять эффективные радиальные уплотнения. В последних ступенях ЦНД используется система влагоудаления. Модернизацию ЦНД на турбинах Кураховской и Бурштынской ТЭС производил Ленинградский металлический завод.

3. ГАРАНТИЙНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1 Гарантийные испытания

Гарантийные испытания реконструированных

паровых турбин К-200-130 ЛМЗ энергоблоков ст. № 5 Кураховской ТЭС и ст. № 5 Бурштынской ТЭС проводились по предварительно утвержденным техническим и рабочим программам испытаний, согласно методике [1], и в соответствии с международными правилами приемочных испытаний [2].

Основной задачей испытаний являлась проверка на достижение в результате реконструкции гарантированных показателей работы турбины, а именно - повышению мощности и уровня экономичности. Кроме того, проверялось достижение гарантированного значения коэффициента полезного действия (КПД) ЦНД, которое в обоих случаях составляло 87,5 %.

3.2 Приведение результатов испытаний к номинальным гарантийным условиям.

Гарантии по мощности и удельному расходу теплоты на турбину на выработку электроэнергии организации, проводящие реконструкции турбин, предоставляли при определенных условиях работы оборудования, названных гарантийными.

Таким образом, для сравнения с гарантиями полученные в результате испытаний значения мощности и удельного расхода теплоты необходимо было привести к единым гарантийным условиям. Приведение проводилось методом полного пересчета тепловой схемы турбоустановки на гарантийные условия, с помощью специально составленной компьютерной программы.

Приведение результатов испытаний выполнено по методу «при неизменном положении органов парораспределения», согласно рекомендациям [1], то есть при неизменном КПД цилиндра высокого давления (ЦВД) при переходе на пересчитанный расход острого пара на номинальные параметры.

Расход острого пара при номинальных начальных параметрах определялся по формуле:

$$G_0^n = G_0 \cdot \sqrt{(P_0^n \cdot V_0) / (P_0 \cdot V_0^n)}, \text{ т/ч} \quad (1)$$

где: G_0 - измеренный расход острого пара в опытных условиях, т/ч;

$P_0^n = 130 \text{ кгс/см}^2$ - номинальное давление острого пара;

V_0 - удельный объем острого пара в опытных условиях, $\text{м}^3/\text{кг}$;

P_0 - давление острого пара в опытных условиях, кгс/см^2 ;

$V_0^n = 0,02694 \text{ м}^3/\text{кг}$ - удельный объем острого пара при номинальных параметрах.

Полный расход теплоты на турбину в номинальных условиях определялся по формуле:

$$Q_0^n = G_0^n \cdot (i_0^n - i_{нс}^n) + G_{хнн} \cdot (i_{хнн}^n - i_{хнн}^n), \text{ ккал/ч} \quad (2)$$

где: i_0^n - энтальпия острого пара перед ЦВД при

номинальных начальных параметрах, ккал/кг;

$i_{нс}^n$ - энтальпия питательной воды на котел в номинальных условиях, ккал/кг;

$G_{хпн}^n$ - расход пара холодного промперегрева в номинальных условиях, т/ч;

$i_{гпн}^n$ - энтальпия пара горячего промперегрева перед ЦСД в номинальных условиях, ккал/кг;

$i_{хпн}^n$ - энтальпия пара холодного промперегрева после ЦВД в номинальных условиях, ккал/кг.

Мощность турбины в номинальных условиях определялась по формуле:

$$N_m^n = N_3^{on} + \Delta N_{p2} + \Delta N_{cos\phi} + \Delta N_{cx}, \text{ МВт} \quad (3)$$

где: N_3^{on} - измеренная электрическая мощность на выводах генератора в опытных условиях, МВт;

ΔN_{p2} - поправка на отклонение давления отработанного пара в конденсаторе, МВт;

$\Delta N_{cos\phi}$ - поправка на отклонение опытного коэффициента мощности генератора от номинального значения 0,85;

ΔN_{cx} - суммарная поправка на отличия параметров тепловой схемы в опытных условиях от номинальных условий, при которых предоставлены гарантии, МВт.

Поправка на отличия параметров тепловой схемы турбоустановки представляет собой разность внутренних мощностей турбины в опытных и номинальных условиях. Внутренняя мощность турбины в номинальных условиях определена после пересчета опытных характеристик турбоустановки на номинальные условия при неизменном положении органов парораспределения. Пересчет выполнен методом последовательных приближений с помощью вышеупомянутой компьютерной программы, которая является математической моделью данной турбоустановки.

Удельный расход теплоты на турбину на выработку электроэнергии брутто в номинальных условиях определялся по формуле:

$$q_m^n = Q_0^n / N_m^n, \text{ ккал/квтч} \quad (4)$$

3.3 КПД ЦНД.

Поскольку определить КПД ЦНД прямым способом по измеренным параметрам пара на входе и выходе из цилиндра нельзя, на практике используют метод полного баланса потоков теплоты и мощности турбоустановки, с помощью которого находят энтальпию отработанного пара. Поскольку при определении КПД ЦНД таким методом на точность результата влияют погрешности измерений всех величин, берущих участие в уравнении баланса потоков теплоты и мощности, то погрешность может достигать $\pm 3\%$, о чем упоминается в [1].

После реконструкции турбин ЛМЗ гарантировал КПД модернизированных ЦНД на уровне 87,5%.

На Рис. 1 показанные графические зависимости КПД ЦНД турбин Кураховской (2) и Бурштынской ТЭС (3)

от расхода острого пара, а также точкой показано гарантийное значение. Как видно на рис. 2 значение КПД ЦНД обеих турбин находятся на уровне гарантийного в пределах погрешности определения.

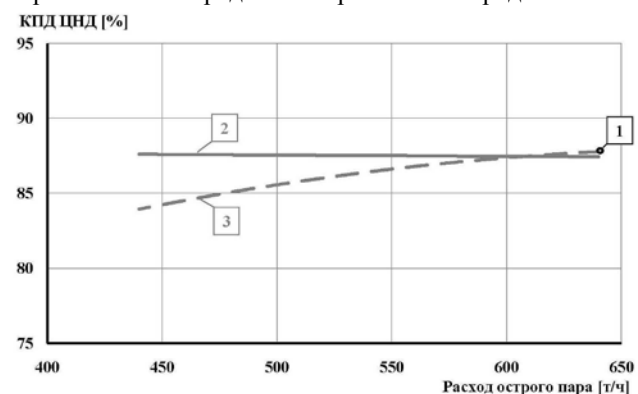


Рис. 1. Зависимость КПД ЦНД от расхода острого пара на турбину

3.4 Удельный расход теплоты

Определенные по результатам испытаний зависимости удельного расхода теплоты брутто от мощности реконструированных турбин К-200-130 ЛМЗ Кураховской и Бурштынской ТЭС показаны на Рис. 2. Также, на Рис. 2 показана зависимость удельного расхода теплоты от мощности на серийную (не реконструированную) турбину К-200-130 ЛМЗ, взятую с ее энергетической характеристики [3].

К сожалению, мы не обладаем данными по экономичности турбин ст. №5 Кураховской ТЭС и ст. №5 Бурштынской ТЭС до реконструкции, поэтому проведем сравнение удельного расхода теплоты брутто на эти турбины после реконструкции с данными типовой энергетической характеристики [3]. Поскольку результаты испытаний турбин приводились к различным номинальным условиям, также отличным от условий построения типовой характеристики, для корректного сравнения уровней удельных расходов теплоты на эти турбины между собой необходимо привести их к одинаковым условиям. Такие номинальные условия построения зависимостей удельного расхода теплоты от мощности для этих турбин представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Номинальные условия

Параметр	Значение
Давление острого пара	130 кгс/см ²
Температура острого пара	540 °С
Температура пара горячего промперегрева	540 °С
Давление отработанного пара в конденсаторе	0,066 кгс/см ²

Как видно на Рис. 2 линии зависимостей удельных расходов теплоты на турбину ст. № 5 Кураховской ТЭС (2) и ст. № 5 Бурштынской ТЭС (3) практически совпадают во всем диапазоне, а линия зависимости удельного расхода теплоты на серийную турбину К-200-130 ЛМЗ (1) находится значительно выше. При мощности турбины 200 МВт удельный расход теплоты на турбину ст. № 5 Кураховской ТЭС

составляет 2007 ккал/кВт·ч, а на турбину ст. № 5 Бурштынской ТЭС – 2000 ккал/кВт·ч, что соответственно на 1,3% и 1,7% ниже значения удельного расхода теплоты (2034 ккал/кВт·ч) на серийную турбину К-200-130 ЛМЗ. В среднем же во всем диапазоне мощности уровень экономичности обеих реконструированных турбин на 1,3 % выше, чем у серийной турбины.

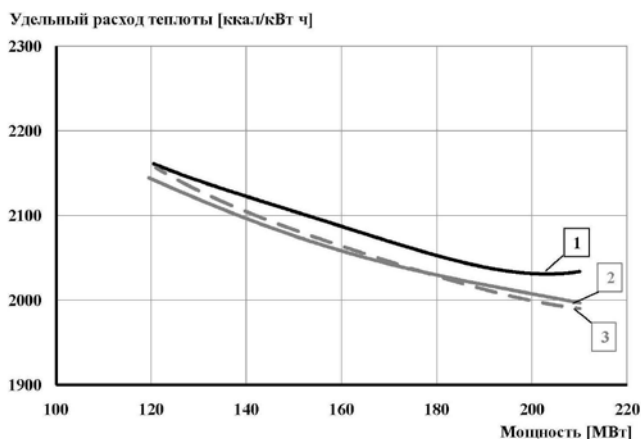


Рис. 2. Зависимость удельного расхода теплоты на турбину от мощности

8. ВЫВОДЫ

В результате реконструкции турбин К-200-130 ст. № 5 Кураховской ТЭС и ст. № 5 Бурштынской ТЭС с заменой старого ЦНД на модернизированный удалось повысить установленную мощность энергоблоков и сократить удельный расход теплоты на выработку электрической энергии. За результатами гарантийных испытаний на обеих турбинах было подтверждено достижение гарантированного ЛМЗ значения КПД модернизированного ЦНД - 87,5%. Повышение экономичности работы реконструированных турбин по сравнению с типовой турбиной К-200-130 ЛМЗ составило в среднем 1,3 %.

8. ВЫВОДЫ

In the result of the reconstructions of the steam turbines К-200-130 LMZ which are at the unit № 5 of Kurakhovo power plant and at the unit № 5 of Burshtyn power plant it was increased the power and decreased specific heat rate. The reconstruction of the steam turbine included the substitution of a low-pressure cylinder. It was proved the efficiency of this low-pressure cylinder by thermal acceptance tests, and the efficiency is 87.5%. The increasing of the work efficiency of the reconstructed turbines compared with the data of typical power characteristics averaged 1.3%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] МУ 34-70-093-84. Методические указания по тепловым испытаниям паровых турбин. ПО «Союзтехэнерго». 1986г.
- [2] IEC 953-2 International standard. Rules for steam turbine thermal acceptance tests. Part 2: Method B – Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines. First edition 1990-12.
- [3] Типовая энергетическая характеристика нетто турбоагрегата К-200-130 ЛМЗ. Специализированный центр научно-технической информации. Москва, 1972г.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Рябокнь Григорий Александрович, родился 01.07.1988 года в городе Львов, Украина. Окончил в 2010 году Национальный университет «Львовская политехника» по специальности инженер-энергетик. На данный момент работу в ПАО «ЛЬВОВОРГРЭС» на должности ведущего инженера. Направление научной деятельности – математическое моделирование в теплоэнергетике.
2. Мысак Йосып Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, тепловых и атомных электрических станций Национального университета «Львовская политехника». Окончил в 1972 году теплоэнергетический факультет Львовского политехнического института. Направление научной деятельности – маневренность энергоблоков тепловых и атомных электростанций.