

2. *Методичні вказівки з визначення розрахункового ресурсу і оцінки живучості роторів і корпусних деталей турбін: СОУ–Н–МПЕ.* – 2010.
3. *Детали паровых стационарных турбин. Расчет на малоцикловую усталость: РТМ 108.021.103–85.* – М.: НПО Центр. котлотурбин. ин-т, 1986. – 50 с.
4. *Ланин А. А. Жаропрочные металлы и сплавы: справочные материалы / А. А. Ланин, В. С. Балина.* – СПб.: Энерготех, 2006. – 224 с.
5. *Резинских В. Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин / В. Ф. Резинских, В. И. Глашштейн, Г. Д. Авруцкий.* – М.: Издат. дом Моск. енерг. ин-та, 2007. – 296 с.
6. *Свойства сталей и сплавов, применяемых в котлотурбостроении. Ч. первая. Руководящие указания.* – Л.: Центр. котлотурбин. ин-т, 1966. – Вып. 16. – 219 с.
7. *Мацевитый Ю. М. Переменные режимы работы энергоблоков ТЭЦ с турбинами Т-250/300-240 и срабатывание их ресурса / Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Шульженко, В. Н. Голощанов // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин «РЕСУРС», зб. наук. статей за результатами, отриманими в 2007–2009 рр. – Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, 2009. – С. 321–325.*
8. *Шульженко Н. Г. Расчетный ресурс высокотемпературных роторов турбины Т-250/300-240. Ч. I. Методика оценки ресурса / Н. Г. Шульженко, П. П. Гонтаровский, В. Н. Голощанов, А. В. Пожидаев, А. Ю. Козлоков // Энергетика та електрифікація. – 2011. – № 1 (329). – С. 41–46.*

Поступила в редакцию
27.02.11

УДК 621.125

А. А. Дворников

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
(м. Харків, e-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТУРБОУСТАНОВОК ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Разработан программный комплекс, позволяющий выполнять расчет показателей экономичности как отдельных узлов, так и турбоустановки в целом. Предлагается применять данный программный комплекс для анализа режимов работы турбоустановок в условиях электростанций в режиме реального времени.

Розроблено програмний комплекс, що дозволяє виконувати розрахунок показників економічності як окремих вузлів, так і турбоустановки в цілому. Пропонується застосовувати цей програмний комплекс для аналізу режимів роботи турбоустановок в умовах електростанцій в режимі реального часу.

Введение

Экономичность турбоустановки ТЭС и ТЭЦ зависит от их состояния. На экономичность энергоблоков могут влиять состояние подогревателей питательной воды, конденсатора, цилиндров турбины. Эффективность работы подогревателей и конденсатора может в процессе работы ухудшаться по разным причинам. Это загрязненность поверхностей теплообмена, присосы (из-за неплотностей) и многое другое. Экономичность цилиндров зависит от состояния проточной части, величины зазоров концевых и диафрагменных уплотнений. На экономичность турбоустановки существенное влияние оказывает состояние тракта промперегрева. Со временем КПД отдельных узлов и турбоустановки снижаются. Для эффективной эксплуатации турбоустановок необходимо контролировать их состояние и своевременно выполнять ремонт.

Основная часть

В настоящее время для определения состояния оборудования проводят тепловые испытания перед и после модернизации или капитального ремонта турбины.

Для того чтобы определять эффективность как отдельных узлов, так и турбоустановки в целом, необходимо измерять множество рабочих параметров – температуры, давления и расходы пара [4,5]. По измеренным параметрам рассчитываются: внутренний относительный КПД цилиндров и отсеков, мощности отсеков и цилиндров, экономичность тракта промпрегрева, абсолютный электрический КПД турбоустановки, тепловой баланс подогревателей, расход тепла в конденсатор, удельный расход условного топлива, эффективность системы регенерации. КПД цилиндра низкого давления определяется из расчета общего теплового баланса турбоустановки.

Для того чтобы непрерывно определять экономичность энергетического оборудования, автором работы создан программный комплекс.

Для получения исходных данных турбоустановка должна быть оснащена системой сбора и хранения данных.

В данный программный комплекс входят:

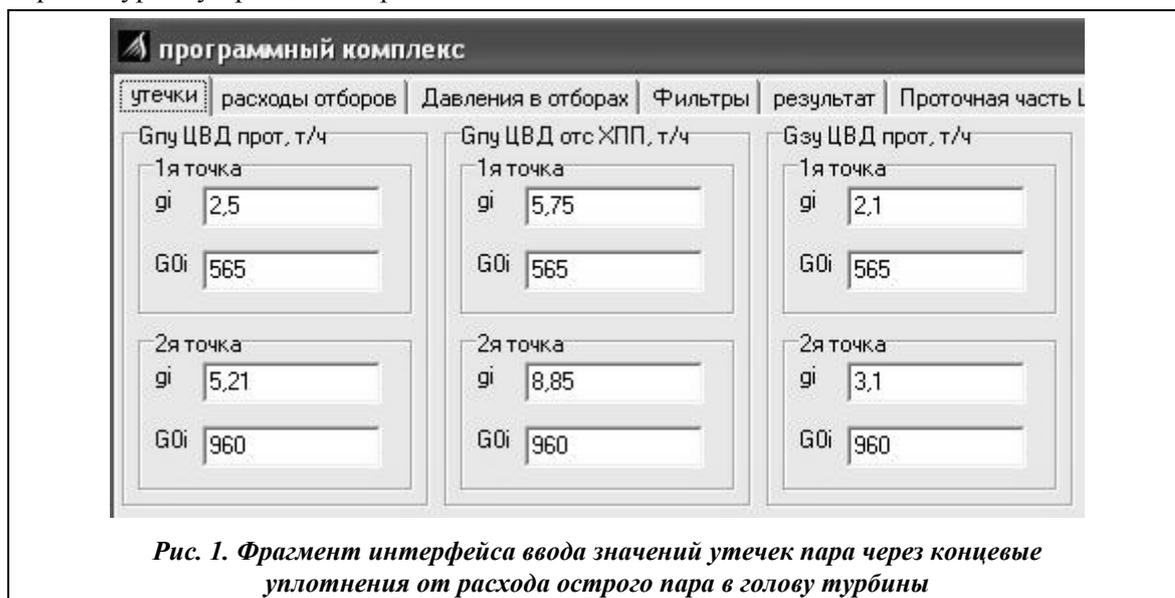
- программы, подготавливающие исходные данные измерений параметров, полученные с электростанций;
- программа для расчета КПД отсеков и цилиндров, мощностей отсеков и цилиндров, тепловых балансов подогревателей, теплового баланса конденсатора, общий тепловой баланс турбоустановки, абсолютного электрического КПД турбоустановки.
- программа построения графиков.

Программный комплекс отличается гибкостью и может быть адаптирован для любого существующего типа турбоустановки, с учетом тепловой схемы и описания конструкции [1, 2].

В случае, если ряд необходимых параметров на станции непрерывно не измеряется, для расчетов могут быть использованы нормативные характеристики или результаты тепловых испытаний [3]. По данным тепловых испытаний строятся зависимости и используются при расчетах.

Интерфейс программного комплекса дает возможность заложить в алгоритм расчета дополнительно нормативные характеристики и результаты тепловых испытаний. Фрагмент интерфейса, с помощью которого можно вести значения утечек через концевые уплотнения, приведен на рис. 1.

Фрагмент интерфейса ввода значений утечек через концевые уплотнения от расхода пара на турбину приведен на рис. 1.



B1 = Т ПП ЗА КОТЛОМ												
1	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	К	Л	
1	время	Т ПП ЗА	Ф ХПП-А Д	Ф ХПП-Б Д	ПВ ДО	ДАВЛ ПА	ОСТРОГ	Т ОП ПЕР	Т ОП ПЕР	Р ГПП ДО	Р ГПП ДО	Р ПАРА 1
2	2010.04.09	541,707	345,645	345,948	831,658	230,74	847,627	53,785	541,502	28	27,32	49,73
3	2010.04.09	542,121	347,545	345,878	831,105	230,54	851,699	53,775	540,127	28,08	27,4	49,97
4	2010.04.09	541,908	346,353	345,067	834,949	232,64	849,174	53,89	543,269	28,04	27,28	49,82
5	2010.04.09	540,48	346,689	344,366	822,991	228,32	846,841	53,61	538,545	27,88	27,2	49,68
6	2010.04.09	539,083	345,578	344,12	827,193	227,4	847,765	53,58	541,889	27,8	27,16	49,63
7	2010.04.09	539,573	345,582	343,213	823,481	228,24	852,012	53,785	540,401	27,84	27,16	49,78
8	2010.04.09	542,062	348,909	347,787	838,432	234,44	853,184	53,56	544,232	28,2	27,44	50,11
9	2010.04.09	541,817	349,742	347,35	837,422	235,26	855,828	53,595	541,13	28,28	27,6	50,2
10	2010.04.09	540,194	352,283	351,027	830,046	233,54	868,373	53,63	537,941	28,28	27,56	50,5
11	2010.04.09	541,009	349,323	348,907	833,474	235,44	860,955	53,68	537,807	28,24	27,6	50,29
12	2010.04.09	540,254	343,629	343,867	820,003	230,3	840,03	53,455	538,552	27,88	27,32	49,47
13	2010.04.09	539,894	339,833	339,438	806,185	231,94	829,976	53,525	541,58	27,6	26,8	49
14	2010.04.09	539,966	333,318	330,775	791,168	229,4	810,546	53,605	540,287	26,88	26,28	47,85
15	2010.04.09	534,865	325,139	324,821	773,513	224,68	792,789	53,605	539,666	26,04	25,32	46,63
16	2010.04.09	534,839	325,476	325,06	768,935	230,48	794,209	53,465	544,923	25,92	25,28	46,55
17	2010.04.09	535,505	321,213	320,53	755,495	229,36	784,616	53,525	538,431	25,56	24,92	46,15
18	2010.04.09	535,21	312,276	311,734	733,014	224,64	767,485	53,57	537,692	24,88	24,16	44,89
19	2010.04.09	537,885	307,366	306,519	727,609	222,22	757,025	53,805	539,33	24,44	23,76	44,32
20	2010.04.09	540,172	301,364	301,685	704,411	220,88	742,727	53,595	539,335	23,96	23,36	43,61
21	2010.04.09	542,119	294,184	295,837	704,803	221,12	728,104	53,695	541,907	23,52	22,88	42,62
22	2010.04.09	542,495	290,747	291,613	680,376	217,68	713,975	53,605	538,004	23,32	22,68	42,13
23	2010.04.09	540,263	285,075	284,184	659,751	211,74	694,4	53,65	538,161	22,72	22	41,19
24	2010.04.09	538,608	279,275	279,351	646,633	205,2	686,642	53,58	541,697	22,2	21,64	40,54
25	2010.04.09	538,884	271,495	272,011	625,883	204,54	670,072	53,525	538,501	21,64	20,96	39,48
26	2010.04.09	540,358	265,967	267,445	614,186	206,16	656,585	53,62	541,476	21,28	20,64	38,82

Рис. 2. Фрагмент файла исходных данных, подготовленного для расчета параметров турбины К-325-240 с помощью программного комплекса

При определении утечек пара через концевые уплотнения для построения зависимости $G_{ут} = f(G_0)$ нужно взять значения расхода свежего пара на турбину и расхода утечек на номинальном режиме и на режиме с уменьшенной нагрузкой.

Интерфейс программы также позволяет ввести для расчета массив исходных данных, полученных со станции, в виде таблицы в формате «текстовый файл с разделителем – табуляция».

A1 = N, МВт												
20101224_114622_rez.txt												
1	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	К		
1	N, МВт	G ОП, т/ч	t ОП, °С	P ОП, кПа	h ОП, кДж	S ОП, кДж	G чер З ст	P 1 отб, кг/т	t 1 отб, °С	h 1 отб, кДж	S 1 отб, кДж	
2	231,521	699,438	541,145	23114,75	3333,178	6,205	687,687	4463,246	310,096	2974,847	6,342	
3	232,611	699,188	536,731	22914,73	3321,507	6,194	687,577	4463,225	310,096	2974,846	6,342	
4	232,907	701,273	536,732	22817,93	3322,695	6,197	689,781	4463,225	310,096	2974,846	6,342	
5	309,715	939,023	536,117	23639,64	3310,607	6,168	924,889	6021,542	337,282	3006,25	6,273	
6	309,715	933,914	536,002	23729,54	3309,118	6,165	919,869	6043,738	337,674	3006,772	6,273	
7	309,154	931,547	536,21	23573,09	3311,731	6,171	917,576	6012,392	337,121	3006,035	6,273	
8	309,683	934,383	536,038	23605,19	3310,777	6,169	920,423	5993,092	336,78	3005,582	6,274	
9	309,434	920,532	540,387	23633,55	3324,503	6,185	906,768	5986,45	336,663	3005,427	6,274	
10	309,17	920,781	540,923	23505,49	3327,772	6,191	907,067	5977,492	336,505	3005,217	6,274	
11	309,434	918,64	540,806	23587,49	3326,408	6,188	904,993	5977,492	336,505	3005,217	6,274	
12	309,434	915,907	540,339	23646,88	3324,188	6,185	902,327	5976,783	336,492	3005,201	6,274	
13	309,434	914,696	540,347	23716,38	3323,373	6,183	901,158	5976,783	336,492	3005,201	6,274	
14	309,154	912,132	540,326	23735,88	3323,068	6,182	898,65	5971,083	336,392	3005,068	6,275	
15	266,943	808,664	541,357	22663,27	3339,243	6,22	796,481	5201,271	322,807	2988,121	6,302	
16	309,73	925,367	535,913	23609	3310,32	6,168	911,903	5954,504	336,099	3004,681	6,275	
17	309,73	925,5	535,913	23620	3310,184	6,168	912,07	5954,504	336,099	3004,681	6,275	
18	296,573	886,079	539,438	23463,64	3323,507	6,187	873,142	5702,537	331,653	2998,921	6,283	
19	296,869	886,438	539,438	23427,74	3323,944	6,188	873,547	5684,337	331,332	2998,513	6,284	
20	296,573	883,493	536,216	23435,51	3313,45	6,175	870,684	5670,512	331,088	2998,204	6,284	
21	296,838	882,664	536,216	23355,01	3314,441	6,178	869,918	5670,512	331,088	2998,204	6,284	

Рис. 3. Результаты расчетов параметров турбины К-325-240 в виде таблицы в формате текстовый файл с разделителем «табуляция»

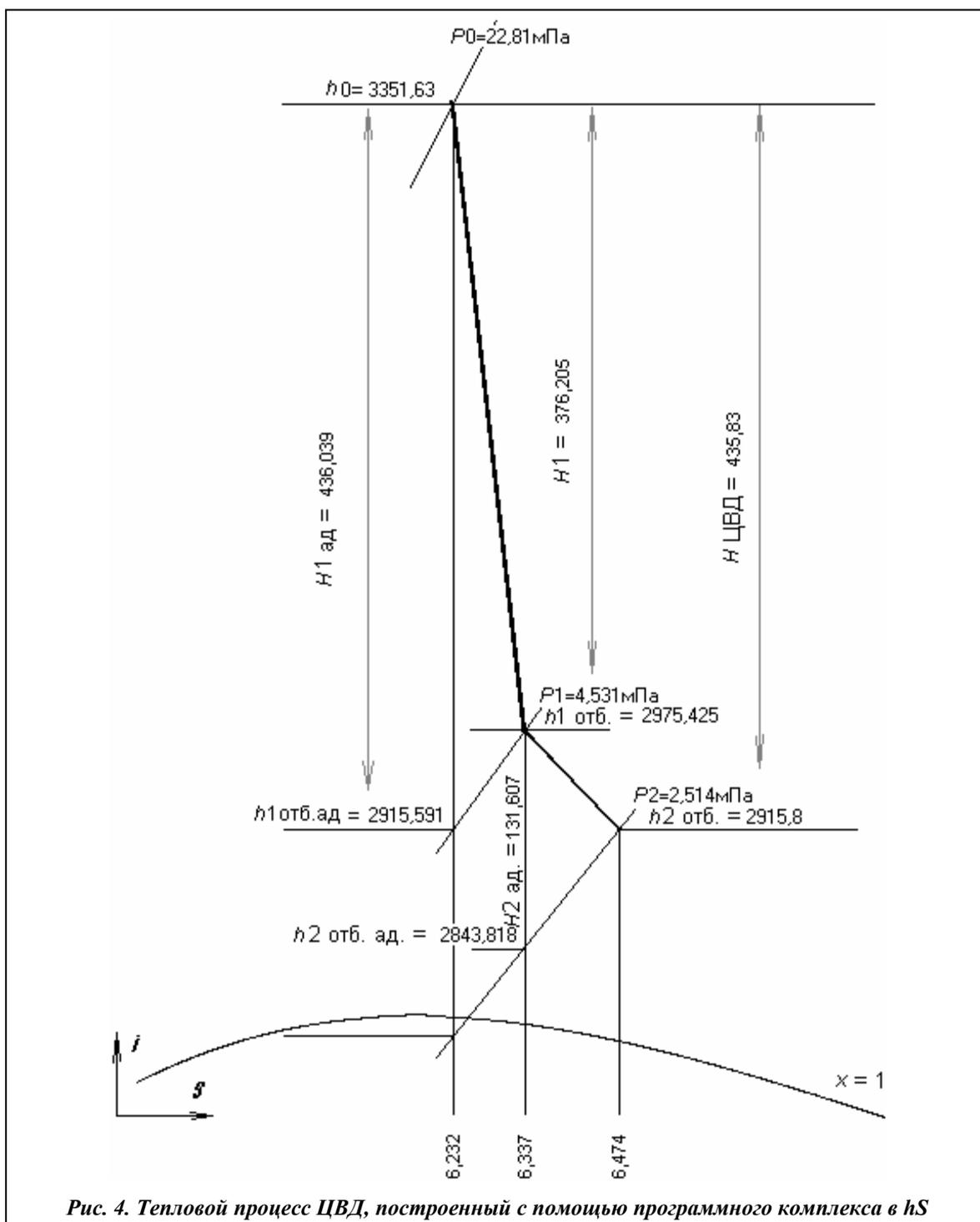


Рис. 4. Тепловой процесс ЦВД, построенный с помощью программного комплекса в hS

Исходные данные представляют собой набор измеряемых параметров, которые должны быть расположены в файле в определенном порядке в соответствии с файлом-шаблоном исходных данных. Пример фрагмента такого файла показан на рис. 2.

Результаты расчетов могут быть представлены как в виде таблиц, так и графиков. В качестве примера на рис. 3 приведен фрагмент таблицы результатов расчетов.

С помощью программы можно построить тепловой процесс расширения пара в турбине в hS диаграмме. В качестве примера на рис. 4 показан тепловой процесс ЦВД.

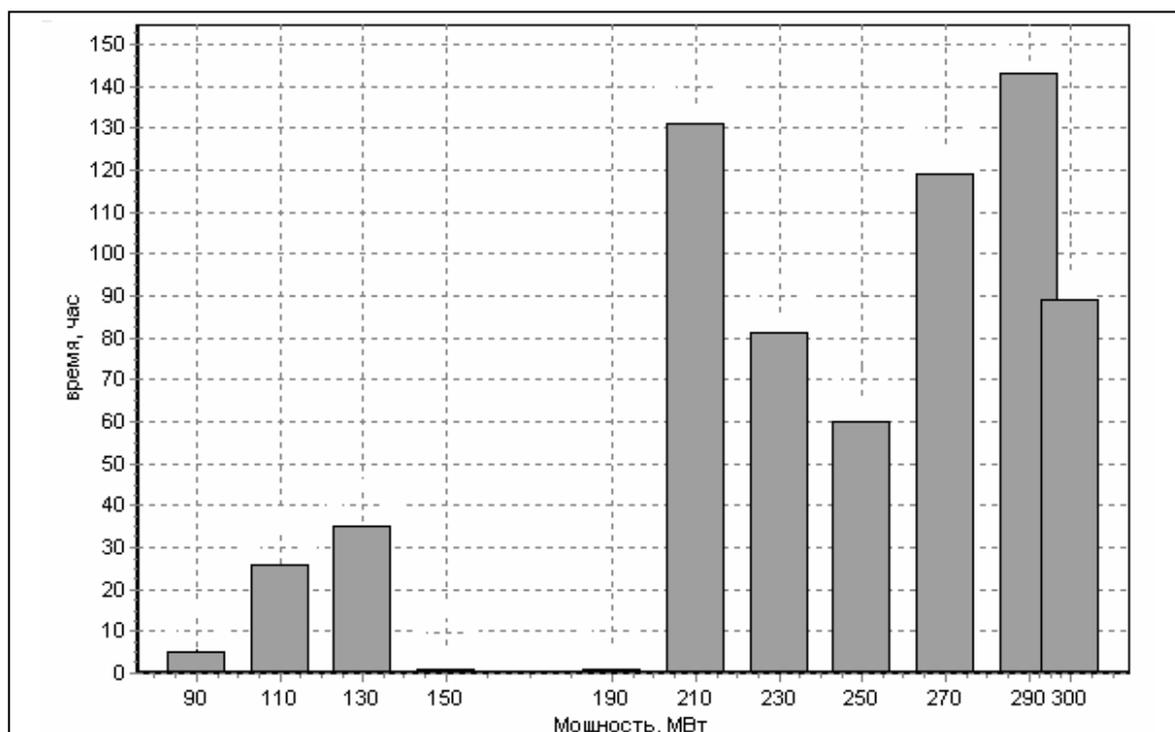


Рис. 5. Гистограмма «Нагруженность турбоустановки по времени за определенный период, построенная с помощью программного комплекса (общее время работы 816 ч)

По результатам расчетов могут быть построены графики работы энергоблока: нагрузки, давления в конденсаторе, температуры охлаждающей воды, объемного расхода пара за последнюю ступенью ЦНД, расход тепла на выработку электроэнергии, расход тепла потерь, тепло регенерации и т. д. как за любой период времени.

На рис. 5 приведена гистограмма электрической нагрузки турбоустановки за определенный период, построенная с помощью программного комплекса. На гистограмме отображено, в каком диапазоне мощностей и сколько в сумме часов турбина проработала за определенный период времени.

Вывод

Данный комплекс может быть использован при анализе работы действующих турбоустановок.

Литература

1. РД 34,30,718. Типовая энергетическая характеристика «нетто» турбоагрегата К-200-130 ЛМЗ / СЦНТИ ОРГРЭС. – М.: 1972. – 33 с.
2. Сорокин М. А. Паровая турбина ЛМЗ мощностью 200 МВт с модернизированной серией цилиндра низкого давления / М. А. Сорокин // Теплоэнергетика. – 1984. – № 4. – С. 15–19.
3. Тепловые испытания турбоагрегата К-325-240 “Siemens-Турбоатом” станц. № 8 Змиевской ТЭС после реконструкции; Технический отчет (заключительный) / ДонОРГРЭС. – № ГР 0-2964; Инв. № Т-2320. – Горловка, 2005. – 107 с.
4. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции / Под ред. В. Я. Гиршфельда. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 420 с.
5. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата К-300-240 ХТГЗ второй модификации. – М.: СПО ОРГРЭС, 1967. – 38 с.

Поступила в редакцию
15.02.11