

АННОТАЦИЯ

В статье приведена методика оценки экономической эффективности внедрения регулируемого электропривода (РЭП) на циркуляционном насосе применительно к оборудованию Гомельской ТЭЦ-2. Расчеты выполнялись с использованием математической модели работы станции, состоящей из математических моделей турбины, циркуляционных насосов, системы технического водоснабжения и градирен. Результаты исследования свидетельствуют об эффективности РЭП при различных режимах работы оборудования ТЭЦ. Предложены мероприятия по совершенствованию управления циркуляционными насосами с помощью РЭП.

ANNOTATION

This article deals with the economic effectivity evaluation methods of the implementation of regulated electric drive (REP) on a circulating pump on the example of the equipment of Gomel CHP-2. Calculations were performed using a mathematical model of the operating station, consisting of mathematical models of turbine, circulation pumps, process water supply system and cooling towers. The research results show the effectiveness of the regulated electric drive under various operating conditions of the CHP equipment. Measures are proposed in order to improve the operation control of circulation pumps with the use of REP.

Эффективность применения регулируемого электропривода на циркуляционном насосе при различных режимах работы оборудования ТЭЦ

Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, директор,

Ю. С. Осипов, начальник ЦНиИО, филиал «Гомельская ТЭЦ-2»
РУП «Гомельэнерго»,

Е. Л. Телюк, начальник отдела ОРАЭС,

А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская, инженер,
РУП «БелНИПИэнергопром»,

Н. В. Широглазова, старший преподаватель
ГГТУ им. П. О. Сухого

Введение

Применение частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) механизмов собственных нужд электростанций является одним из перспективных направлений повышения эффективности их работы. Оно позволяет снизить расход потребляемой электроэнергии, улучшить условия эксплуатации тягодутьевых установок и насосного оборудования, увеличить их надёжность, снизить расходы на ремонт, исключить дросселирование и реализовать зону максимальных КПД агрегатов, обеспечить оптимальные условия пуска мощных механизмов, создать необходимые предпосылки для развития систем автоматизации энергоблоков.

В [1] рассмотрены вопросы выбора оптимального вакуума в конденсаторах паровых турбин и пока-

зано, что поддержание оптимального вакуума возможно при применении ЧРЭП на циркуляционном насосе (ЦН) и устройств измерения расхода на технологических механизмах турбин и системы технического водоснабжения.

В продолжение темы поднимем вопросы технико-экономического обоснования (ТЭО) внедрения РЭП и предложим мероприятия по совершенствованию управления ЦН с помощью РЭП.

В настоящее время нет достаточно приемлемого метода определения эффективности применения регулируемого электропривода на циркуляционном насосе в системах технического водоснабжения, учитывающего различные режимы работы основного оборудования ТЭС.

По оценкам (заявлениям) производителей применение преобразователей частоты должно давать снижение электропотребления на 30–50 %. Однако в условиях реальных режимов работы расчётный (декларируемый) эффект часто отличается от фактического.

До начала внедрения необходимо провести ТЭО, позволяющее определить не только сроки окупаемости от внедрения, но и правильно организовать технологический процесс с учётом возможностей приводов с частотным регулированием.

ТЭО внедрения РЭП на циркуляционном насосе

Для оценки эффективности внедрения РЭП были выполнены расчёты с использованием математической модели работы станции, состоящей из математических моделей турбины (ММТ), циркуляционных насосов (ММН), системы технического водоснабжения (ММСТВ) и градирен (ММГ) применительно к оборудованию Гомельской ТЭЦ-2.

В моделях использовались данные гидравлических испытаний СТВ, тепловых испытаний градирен Гомельской ТЭЦ-2. Расчёты выполнялись по данным 2016 года для двух вариантов группы ЦН:

- ♦ два ЦН с нерегулируемыми приводами;
- ♦ один ЦН с нерегулируемым и один ЦН с регулируемым приводом.

Расчёты проводились при одинаковых расходах пара на турбины и теплофикационных нагрузках.

Расход циркуляционной воды через конденсаторы паровых турбин регулировался изменением частоты вращения ЦН без применения регулирующей арматуры.

Результатом расчёта является определение эффективности применения РЭП на ЦН при различных режимах основного оборудования Гомельской ТЭЦ-2. Исходные данные и результаты расчёта приведены в таблице.

В порядке анализа таблицы отметим следующее.

1. В отопительный период (октябрь–апрель) турбины работают в основном по тепловому графику (с малыми расходами отработавшего пара в конденсатор). Изменение расхода циркуляционной воды с помощью РЭП практически не влияет на вырабатываемую мощность, так как в этом режиме малые расходы отработавшего пара (14,9–48,7 т/ч) и низкие температуры воды на входе в конденсатор (13–18 °С). При этом снижение расхода электроэнергии на привод ЦН составило 261,4–346,0 тыс. кВт·ч, а отпуск электроэнергии увеличился практически на такую же величину.

2. В межотопительный период турбины работают по электрическому графику с частичной тепловой нагрузкой (расход отработавшего пара 90 т/ч и более). Температура охлаждающей воды выше, чем в отопительный период (19–25 °С). В этом режиме при некотором снижении расхода циркуляционной воды с помощью РЭП обеспечивается более эффективная работа градирни (увеличивается перепад температур на градирне и снижается температура воды на входе в конденсатор), что в свою очередь приводит к снижению давления пара в конденсаторе и, соответственно, к повышению мощности турбоагрегата на 0,16–0,22 МВт

и выработки электроэнергии на 120–164 тыс. кВт·ч. При этом снижение расхода электроэнергии на привод ЦН составило 180–319 тыс. кВт·ч., а отпуск электроэнергии с учётом эффекта от повышения мощности блока увеличился на 343,0–477,2 тыс. кВт·ч. Таким образом, применение РЭП в летний период даёт ещё больший экономический эффект.

Годовая экономия электроэнергии при оптимальном регулировании расхода циркуляционной воды с помощью РЭП с учётом изменения отпуска электроэнергии $\Delta \mathcal{E}_{\text{отп}}$ (см. табл.) за период январь–декабрь составит:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} = & 293,6 + 289,8 + 320,7 + 346,0 + 469,6 + \\ & + 477,2 + 428,9 + 432,0 + 343,0 + 279,4 + \\ & + 261,4 + 279,0 = 4\,220,6 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч.} \end{aligned}$$

Годовая экономия топлива от внедрения РЭП с учётом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях [7]:

$$\begin{aligned} \Delta B = \Delta \mathcal{E} \cdot B_{\mathcal{E}} \cdot (1 + K_{\text{пот}} / 100) = & 4220,6 \cdot 0,2809 \cdot \\ & \cdot 1,0892 = 1\,291,3 \text{ т у.т.,} \end{aligned}$$

где $\Delta \mathcal{E}$ — экономия электроэнергии, тыс. кВт·ч;
 $B_{\mathcal{E}} = 0,2809$ кг у.т./кВт·ч — удельный расход топлива на отпуск электроэнергии на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) по данным за 2016 год;

$K_{\text{пот}} = 8,92\%$ — потери электроэнергии в электросетях ГПО «Белэнерго» по данным за 2016 год.

При ориентировочном определении капитальных вложений (K) стоимость электротехнических устройств и КИП составляет ориентировочно 3–5 % от стоимости РЭП, строительно-монтажных работ — 5–10 % от стоимости оборудования, пусконаладочных работ — 3–5 % от стоимости оборудования [7].

Стоимость оборудования:

$$\begin{aligned} C_{\text{об.}} = C_{\text{р\text{эп}}} + 0,05 \cdot C_{\text{р\text{эп}}} = & 350\,000 + 0,05 \cdot \\ & \cdot 350\,000 = 367\,500 \text{ USD,} \end{aligned}$$

где $C_{\text{р\text{эп}}}$ — стоимость РЭП, принята из расчёта 350 USD за 1 кВт установленной мощности ЦН ($N_{\text{цн}} = 1000$ кВт).

Стоимость капиталовложений составит:

$$\begin{aligned} K_{\text{р\text{эп}}} = C_{\text{об.}} + 0,1 \cdot C_{\text{об.}} + 0,05 \cdot C_{\text{об.}} = & C_{\text{об.}} \cdot (1 + 0,1 + 0,05) = \\ = & 367\,500 \cdot 1,15 = 422\,625 \text{ USD.} \end{aligned}$$

Стоимость сэкономленного топлива при цене 170 USD/т у.т. равна:

$$C_{\text{топл.}} = \Delta B \cdot \Pi_{\text{топл.}} = 1\,291,3 \cdot 170 = 219\,521 \text{ USD.}$$

Табл. Результаты расчёта экономии электроэнергии при внедрении РЭП на ЦН СТВ Гомельской ТЭЦ-2

Обозначение	Расчётная формула	Исходные данные											
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Средний расход пара на блоки, т/ч	D_0	403,9	401,0	387,1	328,7	346,5	319,8	324,7	321,8	327,7	360,4	417,8	434,6
Средняя теплофикационная нагрузка блоков, Гкал/ч	$Q_{тб}$	164	168	157	119	97	69	63	68	81	142	174	176
Блоков в работе, шт.		3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
Количество часов работы блоков, ч	$T_{бн}$	2110	1392	1508	911	744	747	752	744	779	1231	1440	1573
Количество часов работы ЦН, ч	$T_{нас}$	1491	1349	1493	1485	1494	1531	1510	1418	1418	1533	1392	1485
Насосы без РЭП													
Средняя электрическая нагрузка блоков, МВт	N_{r1}	113,35	113,38	110,25	96,43	95,43	90,34	93,04	91,35	92,20	103,53	118,90	124,60
Выработка ЭЭ, тыс. кВт·ч	$\Delta_{выр1} = N_{r1} \cdot T_{бн}$	239169	157825	166257	87848	71000	67484	69966	67964	71824	127445	171216	195996
Давление в теплофикационном отборе, кгс/см ²	$P_{то}$	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60
Температура воды на входе в конденсатор, °С	$t'_{в1}$	14	13	15	18	19	24	25	23	18	12	13	13
Температура воды на выходе из конденсатора, °С	$t''_{в2}$	14,6	14,0	15,5	20,3	21,5	26,5	27,9	25,9	20,7	12,8	13,3	14,0
Расход воды через конденсатор, м ³ /ч	$G_{цб}$	7833	11750	11750	11750	21700	21700	21700	21700	21700	21700	11764	11764
Давление пара в конденсаторе, кгс/см ²	P_k	0,0234	0,0221	0,0245	0,0293	0,0315	0,0400	0,0427	0,0388	0,0300	0,0213	0,0221	0,0223
Расход пара в конденсаторе, т/ч	D_k	27,7	14,9	23,0	48,8	89,2	116,9	129,6	119	101,8	30,4	15	21,6
Расход ЭЭ на привод ЦН, тыс. кВт·ч	$\Delta_{цп1}$	1371,7	1241,1	1373,6	1366,2	1352,2	1385,7	1366,7	1283,4	796,5	1387,5	1280,6	1366,2
Один насос без РЭП, один — с РЭП													
Средняя электрическая нагрузка блоков, МВт	N_{r2}	113,35	113,38	110,25	96,46	95,65	90,56	93,20	91,54	92,41	103,53	118,90	124,60
Выработка ЭЭ, тыс. кВт·ч	$\Delta_{выр2} = N_{r2} \cdot T_{бн}$	239169	157825	166257	87875	71164	67648	70086	68106	71987	127445	171216	195996
Давление в теплофикационном отборе, кгс/см ²	$P_{то}$	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60
Температура воды на входе в конденсатор, °С	$t'_{в1}$	14,0	13,0	15,0	15,3	17,8	22,3	23,4	21,8	16,7	12,0	13,0	13,0
Температура воды на выходе из конденсатора, °С	$t''_{в2}$	14,9	13,5	15,8	18,6	20,6	25,9	27,4	25,5	19,9	13,1	13,5	13,7
Расход воды через конденсатор, м ³ /ч	$G_{цб}$	6600	9759	9759	9759	17650	17650	17650	17650	17650	18140	10050	10050
Давление пара в конденсаторе, кгс/см ²	P_k	0,0234	0,0220	0,0244	0,0270	0,0293	0,0376	0,0408	0,0366	0,0280	0,0213	0,0220	0,0222
Расход пара в конденсаторе, т/ч	D_k	27,7	14,9	23,0	48,7	89,5	116,6	129,4	118,7	101,5	30,4	15	21,6
Расход ЭЭ на привод ЦН, тыс. кВт·ч	$\Delta_{цп2}$	1078,1	951,3	1052,9	1047,2	1046,6	1072,5	1057,8	993,4	616,5	1108,1	1019,2	1087,2
Экономия электроэнергии при внедрении РЭП													
Изменение электрической нагрузки блоков, МВт	ΔN_r	$N_{r2} - N_{r1}$	0	0	0,03	0,22	0,22	0,16	0,19	0,21	0	0	0
Изменение выработки ЭЭ, тыс. кВт·ч	$\Delta \Delta_{выр}$	$\Delta_{выр2} - \Delta_{выр1}$	0	0	27	164	164	120	142	163	0	0	0
Изменение расхода ЭЭ на ЦН, тыс. кВт·ч	$\Delta \Delta_{цн}$	$\Delta_{цп2} - \Delta_{цп1}$	-293,6	-289,8	-320,7	-319,0	-305,6	-308,9	-290,0	-180,0	-279,4	-261,4	-279,0
Изменение отпуска ЭЭ, тыс. кВт·ч	$\Delta \Delta_{отп}$	$\Delta \Delta_{выр} - \Delta \Delta_{цн}$	293,6	289,8	320,7	346,0	469,6	477,2	432,0	343,0	279,4	261,4	279,0

Срок окупаемости РЭП ЦН:

$$S_{\text{ок}} = K / C_{\text{топл}} = 422\,625 / 219\,521 = 1,9 \text{ года.}$$

Пути совершенствования управления циркуляционными насосами с помощью РЭП

Теоретические исследования, опыт внедрения и эксплуатации энергосберегающих систем в насосных установках показали, что частотно-регулируемый электропривод является эффективным и надёжным средством управления режимами работы насосных установок различного назначения.

Определяя число регулируемых насосов, следует иметь в виду, что понижение скорости вращения одного из насосов может вызвать перегрузку нерегулируемых насосов, снизить их КПД и в особо неблагоприятных условиях вызвать кавитацию. Если такая ситуация возможна, РЭП должен устанавливаться на всех насосных агрегатах, а частота вращения насосов, работающих параллельно, должна изменяться синхронно, что обеспечивается управлением всех насосов общей системой автоматики.

В процессе проектирования станций управления насосными агрегатами в первую очередь разрабатывается функциональная схема системы автоматического управления (САУ), которая должна обеспечивать:

- ♦ плавное регулирование подачи насосной установки путём изменения частоты вращения регулируемых насосных агрегатов в сочетании с изменением количества работающих регулируемых и нерегулируемых агрегатов по выбранному параметру управления;
- ♦ синхронное изменение частоты вращения регулируемых насосных агрегатов;
- ♦ предотвращение работы регулируемых агрегатов в зоне перегрузок и зоне низких КПД;
- ♦ возможность автоматического включения и отключения нерегулируемых насосов при достижении регулируемыми насосами граничных значений частоты вращения, при которых требуется изменение количества работающих насосных агрегатов;
- ♦ возможность формирования управляющих воздействий САУ на любой из работающих регулируемых насосов;
- ♦ формирование сигнала управления частотой вращения на все регулируемые агрегаты;
- ♦ ручное управление частотой вращения любого из регулируемых насосов;

- ♦ изменение структурной схемы управления программным путём.

При создании комплектного электропривода ЦН для нужд электростанций необходимо решение ряда научно-технических задач, важнейшие из которых:

- ♦ разработка систем технологической автоматизации электропривода ЦН для условий ТЭС;
- ♦ разработка алгоритмов и САУ электроприводом ЦН в различных режимах работы основного оборудования как единой технологической системы;
- ♦ проведение всесторонних технико-экономических исследований по эффективности использования РЭП на ЦН.

Решение указанных задач позволит максимально использовать резервы повышения эффективности и надёжности работы энергетического оборудования, экономии топлива и электроэнергии.

Следует иметь в виду, что оснащение насосной установки РЭП ещё не гарантирует экономию электроэнергии. Чтобы эту экономию получить, необходимо, во-первых, убедиться в наличии её потенциала исходя из технологических, гидравлических и режимных характеристик объекта. Во-вторых, разработать рациональные технические решения и алгоритм управления, которые обеспечат реализацию указанного потенциала.

Решение обозначенных задач требует системного подхода, когда насосная установка как объект анализа и управления рассматривается с точки зрения количественной определённости всех параметров взаимосвязанных характеристик работающих насосов, трубопроводной сети, режимов работы насосной установки и др.

Выводы

1. Применение частотно-регулируемого электропривода циркуляционного насоса позволит не только продлить ресурс насосного оборудования, увеличить межремонтные периоды, но и обеспечить на Гомельской ТЭЦ-2 экономию 4,2 млн кВт·ч электроэнергии, или 1291 т у.т.

2. Преобразователи частоты целесообразно использовать не в качестве элементов системы управления конкретным агрегатом, а как составляющие комплексные системные решения с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Это позволит получить дополнительный эффект, заведомо больший, чем простой экономии электрической энергии.

3. Оптимальное количество электроприводов, оснащённых преобразователем частоты, определяется технико-экономическим обоснованием с учётом режимов работы основного оборудования и СТВ.

4. Система управления должна обеспечивать оптимальное распределение нагрузок между насосами, что значительно повышает эффективность применения ЧРЭП. ЭЭМ

Литература

1. Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю. А. Применение регулируемого электропривода на циркуляционном насосе для повышения эффективности систем технического водоснабжения тепловых электростанций / Ю. А. Зенович-Лешкевич-Ольпинский, Ю. С. Осипов, Е. А. Тельюк, А. Ю. Зенович-Лешкевич-Ольпинская, Н. В. Широглазова // Энергия и Менеджмент. — 2017. — № 4 (97). — С. 32–40.

2. Бродов Ю. М., Савельев Р. З. Конденсационные установки паровых турбин: Учебное пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 288 с.

3. Типовые энергетические характеристики циркуляционных насосов энергоблоков мощностью 150–1200 МВт. — М.: Союзтехэнерго, 1989.

4. Руководство по оптимизации оборотной системы водоснабжения электростанций с градирнями. — М.: 1981.

5. Гулбрандсен Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент: учебно-методическое пособие / Т. Х. Гулбрандсен, А. П. Падалко, В. А. Червинский. — Мн.: БГАТУ, 2010. — 240 с.

6. Технический отчёт по работе «Испытания и наладка системы технического водоснабжения Гомельской ТЭЦ-2», № 6/63, ЗАО «Техэнерго», Львов, 2006 г.

7. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. — Мн., 2017. — 109 с.

8. Методические указания по испытанию циркуляционных насосов и систем циркуляционного водоснабжения паротурбинных установок электростанций. СО 34.41.711 (МУ 34–70–002–82). — М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.

Анализаторы качества электроэнергии ELSPEC BlackBox — «Чёрный ящик» для вашей электросети

Стационарные



G4410
G4420
G4430



DFR

Портативные



Pure



G4500

- Мониторинг качества электроэнергии в режиме реального времени в соответствии с новым ГОСТ 32144-2013 или любым другим стандартом.
- Приборы внесены в реестр СИ Республики Беларусь, межповерочный интервал — до 4 лет.
- Запись абсолютно всех параметров качества электроэнергии 24/7 в высочайшем разрешении.
- ПО для формирования и исследования отчётов с возможностью интеграции стороннего оборудования.
- Возможность отображения и экспорта данных в виде графиков, таблиц, диаграмм, гистограмм и статистики.
- Объём встроенной памяти позволяет хранить до 1 года измерений.
- Частота дискретизации до 1024 в цикл.
- Измерение гармоник до 511-го порядка.
- Положительный опыт эксплуатации на крупнейших промышленных предприятиях.
- Решения для производителей, поставщиков и потребителей электроэнергии.

Комплексные решения и продукция для энергетики, метрологии, автоматизации процессов и производств, нефтехимической промышленности и машиностроения.