

УДК 621.313.333

Технологическая востребованность и оценка эффективности внедрения частотно-регулируемых электроприводов на объектах тепловой электростанции

В.Н. Медведев¹, А.С. Карандаев², О.И. Карандаева², Ю.И. Мамлеева², Е.А. Храмшина²
¹ООО «ЭнергоСеть», г. Москва, Российская Федерация
²ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Российская Федерация
E-mail: askaran@mail.ru, hvr_mgn@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Промышленное внедрение частотно-регулируемых электроприводов на вспомогательных механизмах тепловой электростанции требует технико-экономического обоснования. При этом должны быть максимально учтены особенности технологического процесса и состав оборудования объекта.

Материалы и методы: Анализ технологической востребованности регулируемого электропривода проведен на ТЭЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» с учетом основных критериев оценки технической эффективности внедрения.

Результаты: Показано, что наряду с экономией электрической энергии основными побудительными мотивами являются технологическая востребованность и возможность автоматизации. Дано технико-экономическое обоснование, предложена очередность внедрения частотно-регулируемых электроприводов при поэтапной реконструкции оборудования ТЭЦ.

Выводы: Помимо энергосбережения основными побудительными мотивами внедрения систем частотного регулирования являются совершенствование технологического процесса и более точное соблюдение технологических режимов, а с точки зрения социального эффекта – улучшение условий труда и повышение надежности тепло-водоснабжения населения.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль, частотно-регулируемый электропривод, внедрение, технологическая востребованность, эффективность, очередность модернизации.

Technological Demand and Efficiency Assessment of Implementation of Variable-Frequency Electric Drives on Thermal Power Plants

V.N. Medvedev¹, A.S. Karandaev², O.I. Karandaeva², Y.I. Mamleeva², E.A. Khrushina²
¹JSC «EnergoSet», Moscow, Russian Federation
² Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation
E-mail: askaran@mail.ru, hvr_mgn@mail.ru

Abstract

Background: The industrial implementation of variable-frequency electric drives on additional mechanisms of any thermal power station requires the technical and economic analysis. Thus, the features of the technological process and the equipment configuration should be considered attentively.

Materials and methods: The authors carry out the analysis of the technological demand of the controlled electric drive on the Heat Power Station of open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works» in accordance with the basic criteria of the estimation of implementation technical efficiency.

Results: It is shown that with economy of electric energy the basic stimulating motives are the technological demand and automation possibility. The feasibility report is given, the implementation sequence of variable-frequency electric drives is offered at stage-by-stage redesigning of the Heat Power Station equipment.

Conclusions: Apart from the energy savings the main stimulating motives of frequency regulation systems implementation are the improvement of technological process and more accurate adherence to technical modes, as well as the improvement of working conditions and reliability improvement of heat-water supply of the population.

Key words: heat and power plant, variable-frequency electric drive, implementation, technological demand, efficiency, sequence of upgrading.

Технологическая востребованность частотно-регулируемого электропривода на вспомогательных механизмах ТЭЦ. Употребление словосочетания «внедрение частотно-регулируемого электропривода» связано, прежде всего, с понятием сбережения электрической энергии. И действительно, это техническое мероприятие обеспечивает 30–40 % экономии электроэнергии, причем эти усред-

ненные значения имеют практическое подтверждение [1]. Оценка такого эффекта от внедрения частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) на примере основных электропотребителей ТЭЦ является важной, но не единственной задачей. Она должна рассматриваться в контексте общей технико-экономической эффективности, в комплексе с другими побудительными мотивами внедрения

ЧРП. Основными побудительными мотивами перехода на частотное регулирование скорости (производительности) является не прямая экономия, отражаемая в денежном эквиваленте, а ряд сопутствующих положительных эффектов, главные из которых:

- 1) совершенствование технологического процесса, приводящее к росту выпуска продукции и повышению ее качества;
- 2) автоматизация производства с более точным соблюдением технологических режимов и улучшением условий труда;
- 3) ресурсосбережение (газ, вода и др.), сопровождающее процесс внедрения ЧРП;
- 4) обновление оборудования;
- 5) увеличение сроков службы оборудования и межремонтных периодов;
- 6) предотвращение аварийных ситуаций, связанных с гидроударами в сетях;
- 7) создание условий для внедрения комплексной АСУТП производства;
- 8) улучшение экологической обстановки.

Большинство из указанных мотивов внедрения ЧРП и их эффективность практически невозможно оценить в денежном эквиваленте, другие, например 4, 5, 8, не осознаны и не работают в России. Обновление оборудования при внедрении ЧРП происходит само собой: заменяется коммутирующая аппаратура, кабельные линии, прослужившие 30 и более лет, устанавливаются программируемые средства. Это значительно увеличивает капитальные затраты и срок окупаемости, если учитывать только эффект энергосбережения [1].

Рассмотрим один из основных побудительных мотивов – технологическая востребованность регулируемого электропривода применительно к основным механизмам ТЭЦ. Схема технологического процесса ТЭЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»), типичная для большинства аналогичных станций, с указанием вспомогательных механизмов представлена на рис. 1.

Тягодутьевые механизмы котлов.

Анализ режимных карт котлов, являющихся руководящими документами при регулировании качества сгорания топлива, показывает, что при паропроизводительности котлов 60–82,5 т/ч содержание кислорода в дымовых газах лежит в допустимых пределах 1,4–1,8 %. Однако при меньших тепловых мощностях содержание O_2 увеличивается до 4,4–6,8 %, что говорит о прямых потерях тепла вместе с дымовыми газами.

Непрерывный мониторинг содержания O_2 в дымовых газах не ведется, что затрудняет оценку реального качества сжигания топлива, но из практики известно, что дискретность регулирующих клапанов (реакция на импульс управления) не позволяет осуществлять регулирование соотношения воздух-газ с погрешностью менее 5 %.

Использование в качестве исполнительного механизма регулируемого электропривода дутьевого вентилятора решает обе указанные проблемы и обеспечивает:

- 1) повышение точности регулирования соотношения воздух-газ и, таким образом, экономии газа и улучшение экономических показателей;
- 2) расширение диапазона регулирования паропроизводительности котла в сторону уменьшения в 2 раза относительно паспортного значения.

Если второй пункт не всегда актуален для ТЭЦ, то дополнительная мобильность в отношении тепловых мощностей, как правило, желательна. Первый же пункт актуален для всех котлов, так как позволяет усовершенствовать существующую АСУТП и повысить качество сжигания топлива (экономия газа).

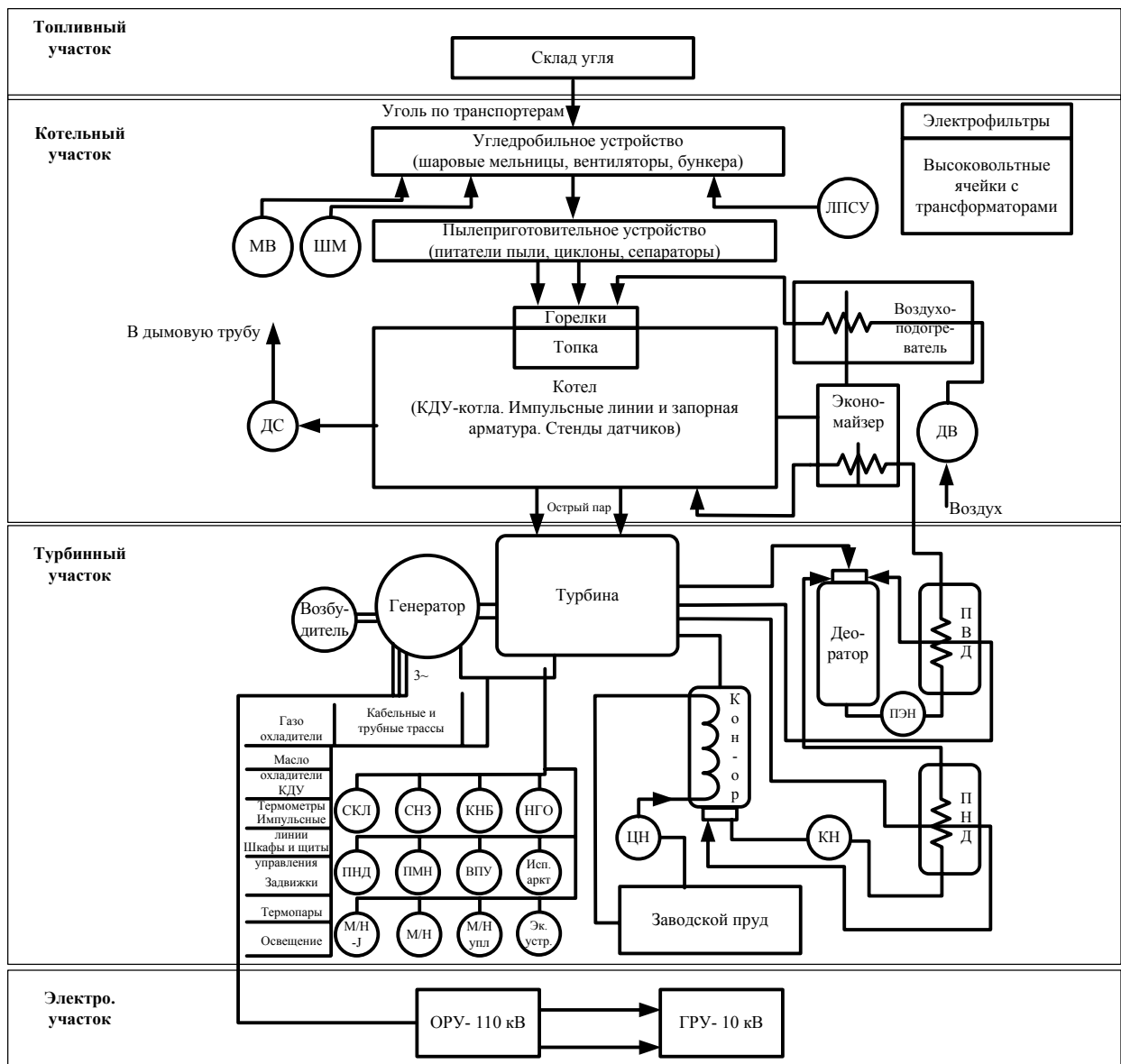
Анализ диапазона регулирования разрежения, осуществляемого электроприводом дымососа, показал, что при паропроизводительности 77 т/ч разрежение в топке составляет 1,3 мм в. ст., а открытие шиберов дымососа соответствует 36,5 %. Следовательно, при уменьшении расхода газа в несколько раз регулирование разрежения закрытием шиберов практически неосуществимо.

Резюмируя сказанное о тягодутьевых механизмах, следует отметить, что технологическая востребованность применения регулируемого электропривода на дутьевых вентиляторах и дымососах заключается в следующем:

- улучшение качества сгорания топлива, повышение КПД котлов;
- расширение диапазона регулирования паропроизводительности;
- облегчение розжига котлов после их останова путем задания требуемого напора дутьевого воздуха и разрежения.

Питательные насосы. При существующей схеме с общим коллектором питательной воды и индивидуальным регулированием на каждый котел появляется проблема равномерной подачи воды при малых тепловых мощностях. Это вызвано недостаточным диапазоном регулирования клапанами и несоответствием их возможностей при стабильно высоком напоре в общем коллекторе, который еще и увеличивается при снижении расхода. Ручное регулирование задвижкой на напоре питательных насосов, также имеющее ограничение, не может обеспечить качественное регулирование, синхронизированное с потребителем.

Поэтому технологическая востребованность регулирования посредством ЧРП заключается в возможности автоматической стабилизации напора в общем коллекторе на любом уровне или по заданному закону, в зависимости от потребления питательной воды.



Турбинный участок

- ПВД – подогреватель высокого давления
- ПНД – подогреватель низкого давления
- КН – конденсатный насос с эл. двигателем
- ЦН – циркуляционный насос с эл. двигателем
- СНЗ – сетевой насос зимний с эл. двигателем
- СНЛ – сетевой насос летний с эл. двигателем
- ПМН – пусковой маслonaсос с эл. двигателем
- М/Н-Ж – маслonaсос пост. с эл. двигателем
- М/Н-У – маслonaсос переем.тока с эл. двигателем
- М/Н – маслonaсос упл. вала с эл. двигателем
- КНБ – конденсатный насос бойлеров с эл. двигателем
- ПНД – насосы ПНД с эл. двигателем
- ПВД – насосы ПВД с эл. двигателем
- ВПУ – валоповоротное устройство с эл. двигателем
- ПЭН – питающий электронасос

Котельный участок

- ДС – дымососы с эл. двигателем
- ДВ – дутьевой вентилятор с эл. двигателем
- ШМ – шаровая мельница с эл. двигателем
- МВ – мельничный вентилятор с эл. двигателем
- ПП – питатели пыли с эл. двигателем
- ЛПСУ – ленточный питатель пыли сырого угля
- ГЗУ – насос гидрозолоудаления с эл. двигателем
- КДУ – колонки дистанционного управления

Рис. 1. Принципиальная схема производственного процесса ТЭЦ

Сетевые насосы. Оценка технологической востребованности применения ЧРП в равной степени относится ко всем сетевым насосам. Сам факт совершенствования технологии заключается уже в замене ручного регулирования задвижками на автоматическое с регулированием частоты вращения насосов. Совершенствование технологического процесса

замены задвижки, не предназначенной для регулирования, на регулирующий клапан практически невозможно.

Разрешение этой проблемы возлагается на персонал и требует постоянного визуального наблюдения и согласованных действий. Внедрение ЧРП с созданием локальных, но взаимосвязанных систем регулирования напо-

ров насосов, дополненных контуром регулирования расхода воды через котлы, – важный шаг на пути совершенствования технологического процесса.

Подпиточные насосы. Эти устройства напрямую связаны с ЖКХ города и обеспечивают горячее водоснабжение. Это хорошо изученная зона [1, 2], в которой средствами регулируемого электропривода обеспечивается экономия электроэнергии, воды (до 10 %) и тепла (до 6 %). Автоматизация процесса подачи воды при этом остро необходима ввиду суточной неравномерности водоразбора. Одновременно с эффектом энергосбережения обеспечивается комфортность водоснабжения.

Кроме того, следует учитывать потребность замены ручного управления задвижками и клапанами, что не всегда обеспечивает требуемое качество тепло- водоснабжения.

Рассмотренные общие признаки технологической востребованности применимы и к другим узлам и участкам ТЭЦ. Необходимость минимизации вмешательства в технологический процесс людей, исключения «человеческого фактора», совершенствования и обновления производства – безальтернативная ситуация на существующем производстве.

Обновление производства. Внедрение любых новых технологий связано с обновлением оборудования объектов модернизации. Это в полной мере относится и к внедрению силовой преобразовательной техники. При установке ЧРП, как правило, обновляются (заменяются) или устанавливаются вновь:

- силовая коммутирующая аппаратура (силовые щиты, высоковольтные выключатели);
- кабельные линии (при сроке службы 30 и более лет или невозможности использования);
- новые РУ; шкафы управления с программируемыми средствами;
- локальные системы управления или двухуровневая АСУТП (а при ее наличии обеспечивается встраивание в существующую).

Такое обновление в реальном денежном выражении ложится на капитальные затраты, но сам факт обновления, имеющий положительное значение, в денежном эквиваленте выразить затруднительно.

Ремонтная составляющая. Практикой эксплуатации установлен и не подвергается сомнению факт увеличения срока службы оборудования и межремонтного периода. Этому способствует более низкая частота вращения механических составляющих электропривода (ротор, рабочее колесо) в статических режимах, исключение гидродаров в динамических. Согласно отзывам эксплуатирующего персонала, после десяти прямых пусков насоса от сети необходима перенабивка уплотнителей, чего можно избежать при плавных пусках ЧРП. Сведений в отношении срока службы подшип-

ников, задвижек и других частей механизмов не имеется.

Технико-экономическое обоснование. Вследствие переменных режимов большинства энергоблоков тепловых электростанций (ТЭС) ухудшается надежность эксплуатации как основного тепломеханического оборудования, так и механизмов собственных нужд (СН). Частые пуски и остановы энергоблоков, изменения их нагрузок сопровождаются дополнительными потерями из-за неоптимальных режимов работы основного оборудования и механизмов СН, вызванных необходимостью дросселирования теплоносителей (пара, воздуха, газов и т.д.) [3]. При этом часы работы механизмов СН с максимальной нагрузкой на большинстве ТЭС, как правило, не превышают 20–25 % общего времени их использования, что приводит к значительным (до 12–14 %) потерям электроэнергии.

Кроме вышеперечисленных достоинств, применение преобразователей частоты на тепловых электростанциях обеспечивает новые важные в эксплуатации энергоблоков возможности:

– позволяет оптимизировать уровни нагрева поверхностей парогенераторов при нагрузках энергоблоков за счет уменьшения температурных перекосов, что не только повышает надежность их работы, но и увеличивает ресурс;

– облегчает режим «мягкого» пуска, а также самозапуска (рестарта) электроприводов собственных нужд при глубоких колебаниях напряжения в системе электроснабжения или его кратковременных исчезновениях с последующим восстановлением;

– в часы максимальной нагрузки в энергосистеме обеспечивает дополнительное повышение мощности энергоблока вследствие исключения дросселирования;

– повышает в целом ресурс тепломеханического и электрического оборудования, увеличивает межремонтные периоды;

– снижает уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (до 1,5 %) и эмиссии CO₂ (до 1,5 тонн) на каждую сэкономленную тонну условного топлива за счет оптимизации процесса его сжигания;

– обеспечивает повышение уровня автоматизации, совершенствование АСУТП энергоблоков.

Достижение высоких показателей экономичности возможно при массовом оснащении частотно-регулируемыми электроприводами таких наиболее энергоемких механизмов ТЭС.

На рис. 2 приведена диаграмма, иллюстрирующая типичные средневзвешенные потери мощности на собственные нужды по группам механизмов пылеугольного энергоблока 200 МВт, оснащенных традиционными асинхронными электроприводами с постоянной частотой вращения [4]. Наибольшую мощность

потребляют механизмы собственных нужд, непосредственно участвующие в производстве энергии: питательные и циркуляционные насосы, мельничные вентиляторы, дутьевые вентиляторы и дымососы.

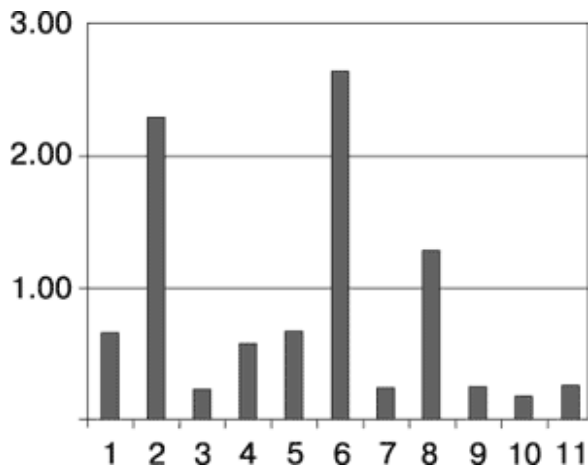


Рис. 2. Диаграмма потерь на собственные нужды ТЭС группы потребителей: 1 – топливоподача; 2 – мельничные вентиляторы; 3 – насосы гидрозолоудаления; 4 – дутьевые вентиляторы; 5 – дымососы; 6 – питательный насос котла; 7 – конденсатные насосы; 8 – циркуляционные насосы охлаждающей воды; 9–11 – вспомогательные механизмы энергоблока (маслонасосные установки, насосы газоохладителей и т.п.)

На рис. 3 приведена интегральная оценка экономии электроэнергии и топлива при оснащении механизмов собственных нужд электроприводами с регулируемой частотой [3, 4]. При значении показателя $K = 0,7$ (это примерно соответствует оснащению регулируемым электроприводом указанных выше мощных механизмов) экономия электроэнергии может составить около 14 %, а экономия удельного расхода топлива – 3 г/кВт.ч.

Рекомендации по планированию и очередности проведения энергосберегающих мероприятий. Изыскать средства на осуществление единовременной модернизации, как правило, затруднительно. При поэтапной модернизации встает вопрос об очередности, решение которого находится в компетенции руководства предприятия. В таблице представлены результаты расчетов прогнозных показателей с нумерацией объектов в порядке приоритетности их модернизации для ТЭЦ ОАО «ММК». Расчеты выполнены с учетом комплексной оценки показателей востребованности регулирования. Эти рекомендации могут быть полезны при долгосрочном планировании мероприятий по реконструкции.

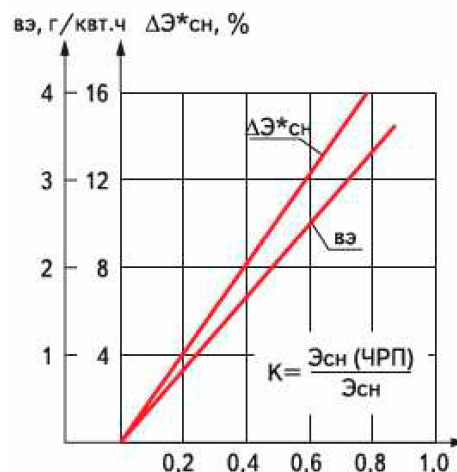


Рис. 3. Зависимости экономии электроэнергии (топлива) от относительного потребления регулируемые механизмы собственных нужд ТЭС: B_z – экономия удельного расхода топлива; $\Delta E_{сн}$ – экономия электроэнергии на собственные нужды; $E_{сн(ЧРП)}$ – электроэнергия, потребляемая механизмами собственных нужд, оснащенными регулируемые электроприводами (ЧРП); $E_{сн}$ – электроэнергия, потребляемая на собственные нужды

Логика построения таблицы заключается в отдаче приоритета тем объектам, энергосбережение которых в денежном эквиваленте выше при приемлемых сроках окупаемости, рассчитанных с учетом всех сопровождающих положительных эффектов.

Следует добавить, что при составлении программы модернизации целесообразно учитывать агрегатность. Например, тягодутьевые механизмы одного котла следует модернизировать одновременно, что сокращает время останова котла на реконструкцию, и желательно в летний период.

Расчет срока окупаемости выполнен по «Инструкции по расчету эффективности внедрения частотно-регулируемого электропривода», утвержденной Минтопэнерго [5]. При этом учтено возрастание тарифа на электроэнергию согласно прогнозу роста тарифов на продукцию естественных монополий в 2011–2013 гг., разработанному министерством экономического развития Российской Федерации при составлении прогноза социально-экономического развития страны на 2011 г. и плановые периоды 2012 и 2013 г. (Сценарные условия функционирования экономики Российской Федерации, основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2011 год и плановый период 2012 и 2013 года: Утв. Мин-вом экономического развития РФ. Июнь 2010 г.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК 14.В37.21.0334)

Вариант очередности модернизации механизмов ТЭЦ при поэтапной реконструкции

№ п/п	Объект системы автоматического регулирования (САР)		Годовая экономия электроэнергии		Суммарные кап. затраты, тыс. руб.	Срок окупаемости, год
			тыс. кВт·ч	тыс. руб. (на 2011г)		
1	ЧРП подачи химически очищенной воды		730	1527	7000	1,6
2	ЧРП дымососов (разрежения в топке, на один котел)	ТП	893	1870	12400	2,3
3		ЧРП подпиточных насосов	Летних	212	425	7500
	Зимних		155	322	6100	4,5
4	ЧРП дутьевых вентиляторов (на один котел)	ТП	560	1120	12800	3,2
		ПТВМ	350	480	12800	4,7
5	САР напора охлаждающей воды (ЧРП насосов БНС)		1230	2160	26400	3,5
6	САР давления питательной воды (ЧРП ПЭН)		2015	4176	35200	2,7

Список литературы

1. **Крылов Ю.А.** Разработка энерго- ресурсосберегающих технологий в топливно-энергетическом хозяйстве города на основе современного электропривода: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МЭИ, 2008. – 40 с.
2. **Ремезов А.Н., Сорокин А.В., Крылов Ю.А.** Особенности массового внедрения энергосберегающих технологий на центральных тепловых пунктах Москвы // Электрические станции. – 2007. – № 10. – С. 43–47.
3. **Лазарев Г.Б.** Частотно-регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок – эффективная технология энерго- и ресурсосбережения на тепловых электростанциях // Силовая электроника. – 2007. – № 3. – С. 41–48.
4. **Лазарев Г.Б.** Опыт и перспективы применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в электроэнергетике России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.privod-news.ru/may_03/25-3.htm
5. **Ильинский Н.Ф., Шакарян Ю.Г.** Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода. – М.: Минтопэнерго РФ, 1997.

References

1. Krylov, Yu.A. *Razrabotka energo-resursosberegayushchikh tekhnologiy v toplivno-energeticheskom khozyaystve goroda na osnove sovremennogo elektroprivoda*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Development of Energy and Resource Saving Technologies in Fuel and Energy City Area based on Modern Electric Drive. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, MEI, 2008. 40 p.
2. Remezov, A.N., Sorokin, A.V., Krylov, Yu.A. *Elektricheskie stantsii*, 2007, no. 10, pp. 43–47.
3. Lazarev, G.B. *Silovaya elektronika*, 2007, no. 3, pp. 41–48.
4. Lazarev, G.B. *Opyt i perspektivy primeneniya chastotno-reguliruemyykh asinkhronnykh elektroprivodov v elektroenergetike Rossii* [Experience and Perspectives of Application of Variable-frequency Asynchronous Electric Drives in Power Engineering in Russia]. Available at: http://www.privod-news.ru/may_03/25-3.htm
5. Il'inskiy, N.F., Shakaryan, Yu.G. *Instruktsiya po raschetu ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya chastotno-reguliruemogo elektroprivoda* [Calculation Instruction of Economical Efficiency of Variable-frequency Electric Drives Application]. Moscow, Mintopenergo RF, 1997.

Медведев Владимир Николаевич,
ООО «ЭнергоСеть»,
руководитель дирекции внедрения энергосберегающих технологий,
e-mail: vl.medvedev@mail.ru

Карандаев Александр Сергеевич,
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
главный научный сотрудник НИС, доктор технических наук, профессор,
телефон 8(3519) 29-17-19,
e-mail: askaran@mail.ru

Карандаева Ольга Ивановна,
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
доцент кафедры электротехники и электротехнических систем,
телефон (3519) 29-84-16,
e-mail: oikaran@mail.ru

Мамлеева Юлия Игоревна,
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
аспирант кафедры электротехники и электротехнических систем,
телефон (3519) 29-84-16.

Храмшина Екатерина Александровна,
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
ассистент кафедры электротехники и электротехнических систем,
телефон (3519) 29-84-16.