

А.П. Лазуренко, канд. техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-4409-629X

Г.И. Черкашина, канд. техн. наук, доц. ORCID 0000-0003-1229-9604

Н.М. Кругол, аспирант ORCID 0000-0003-1229-9604

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ

*В статье рассмотрен режим работы оборудования собственных нужд ТЭЦ работающей по тепловому графику нагрузки в летний период на примере работы Харьковской ТЭЦ-3. Проанализировано потребление электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ. Рассмотрены основные причины повышенного энергопотребления механизмами собственных нужд ТЭЦ, при ее работе на частичных нагрузках. При анализе потребления электроэнергии на собственные нужды были определены группы механизмов по их режиму работы. Для каждой из групп механизмов собственных нужд были построены график потребления электроэнергии при разных режимах работы основного оборудования станции в течении суток. Показана экономия электрической энергии при внедрении индивидуального частотного привода для регулирования производительности механизмов собственных нужд ТЭЦ.*

**Ключевые слова:** теплоэлектроцентраль, механизмы собственных нужд, частотно-регулируемый привод, сетевые насосы, питательные насосы, дымососы, дутьевые вентиляторы

**Вступ.** Принято считать, что потребление электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ составляют 5-15% [1] от установленной мощности ТЭЦ. Данный показатель зависит от разных факторов: топлива, размещения и режима работы, состояния оборудования, но исследования показывают, что реальное потребление на собственные нужды украинских ТЭЦ может достигать 35% от их выработки. Особенно критично это для отопительных ТЭЦ, работающих по тепловому графику нагрузки в летний период.

Особенностью работы отопительных ТЭЦ летом есть то, что их электрическая нагрузка полностью зависит от тепловой нагрузки станции. Это обусловлено тем, что на таких ТЭЦ используются теплофикационные турбины либо турбины с противодавлением.

Работа основного оборудования ТЭЦ на частичных нагрузках приводит к необходимости регулирования производительности механизмов собственных нужд ТЭЦ, в следствии чего, они работают в зоне неоптимального КПД. Основными способами регулирования производительности механизмов собственных нужд, которые были заложены в те годы, когда об энергоэффективности никто не думал, являются байпасирование и дросселирование. Но данные способы, сегодня, не являются эффективными, так как регулирование производительности достигается за счет увеличения сопротивления сети, а это приводит к дополнительным потерям на шибере, клапане или задвижке механизма. Наиболее эффективным способом регулирования производительности центробежных механизмов является изменение частоты вращения рабочего колеса. Для этого можно использовать турбопривод механизмов, гидропривод и частотно-регулируемый привод.

Использование турбопривода широко используется на питательных насосах блоков ТЭС мощностью 300МВт и выше. Также можно встретить турбопривод тяго-дутьевых механизмов котла. Но использование турбопривода не всегда оправдано и возможно. Особенно это касается небольших ТЭЦ с поперечными связями, работающих по тепловому графику загрузки. Анализ применения турбопривода на разных типах блоков электрических станций и ТЭЦ с поперечными связями по пару представлен в [2]. Применение гидромурфт также имеет свои особенности [3,4]. Основной их недостаток - низкая надежность механических элементов [3,4,5].

Много работ посвящено теме внедрения частотно-регулируемого привода. Сегодня на ряде крупных электростанций используются частотные приводы для регулирования производительности питательных насосов, циркуляционных насосов и другого вспомогательного оборудования. Наиболее широко используется индивидуальный частотный привод. Но при анализе режимов работы электрических станций, авторы делают вывод [6], что в некоторых случаях эффективно использовать групповой частотный привод.

**Режимы работы ТЭЦ.** Рассмотрим график режим работы Харьковской ТЭЦ-3 за 14 августа 2013г. В работе оборудование двух очередей – очередь высокого давления (котел К-6 паропроизводительностью

120 т/час, ТГ-5 мощностью 24 МВт) и очередь среднего давления (котел К-1 паропроизводительностью 100т/час, ТГ-1Б мощностью 6 МВт). На рисунке 1 показан график выработки тепловой и электрической энергии Харьковской ТЭЦ-3 за 14 августа 2013г.

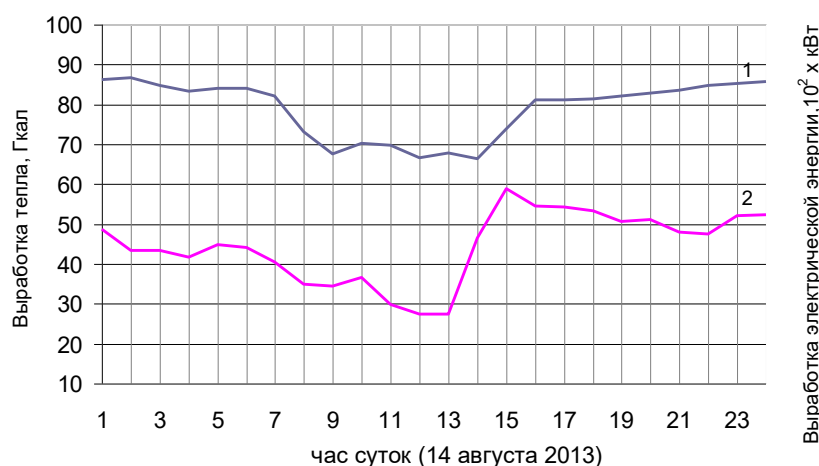


Рисунок 1 – Отпуск тепловой и электрической энергии Харьковской ТЭЦ-3 за 14 августа 2013г  
1 – выработка электрической энергии; 2 – выработка тепловой энергии

Для ТЭЦ, работающей по тепловому графику нагрузки, основным параметром, задающим режим ее работы является, количество сетевой воды, которая циркулирует через ее теплораспределительный пункт, а также задание диспетчера по температуре этой воды. Для анализа режима станции рассмотрим данные параметры. На рисунке 2 показана количество сетевой воды, циркулирующее через теплораспределительный пункт, ее температура и выработка тепла ТЭЦ.

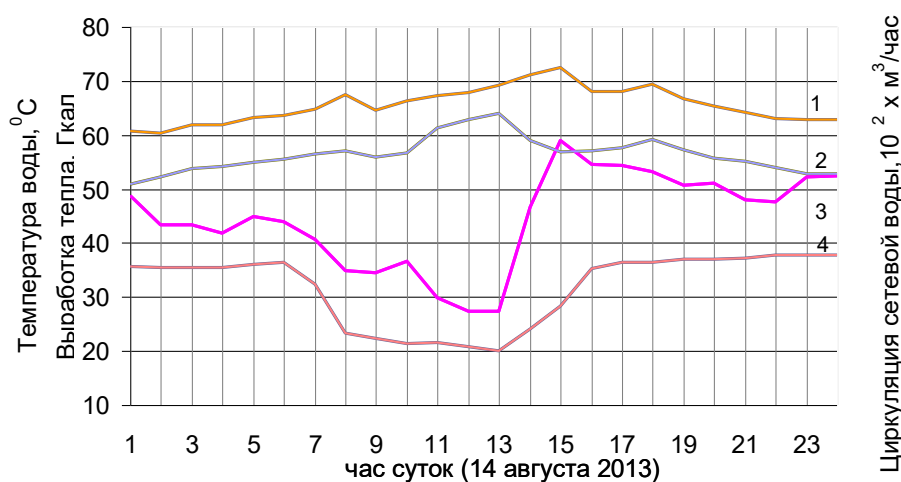


Рисунок 2 – Циркуляция сетевой воды, ее температура и выработка тепловой энергии на Харьковской ТЭЦ-3 за 14 августа 2013г.  
1 – температура сетевой воды на выходе с ТРП; 2 – температура сетевой воды на входе в ТРП;  
3 – выработка тепловой энергии; 4 – циркуляция сетевой воды.

В течении суток, изменение объемов циркуляции сетевой воды обусловлено поочередным отключением тепловых районов в дневные часы с целью экономии энергоресурсов КП «Харьковские тепловые сети». Как известно, мощность развиваемая паровой турбиной зависит от количества пара, подающегося в саму турбину и разницы давлений на входном клапане и выхлопе турбины. В летний период на Харьковской ТЭЦ-3 работают турбины с противодавлением типа Р (ТГ-5, ТГ-1Б). Выхлоп данных машин подключен к общей группе тепловых бойлеров, где пар конденсируется нагревая при этом сетевую воду. Температура сетевой воды на входе в теплораспределительный пункт и количество этой сетевой воды в свою очередь определяет противодавление на выхлопе турбины, следовательно и

мощность на валу генератора. На рисунке 3 показан график выработки тепловой и электрической энергии на Харьковской ТЭЦ-3 за 14 августа 2013года.

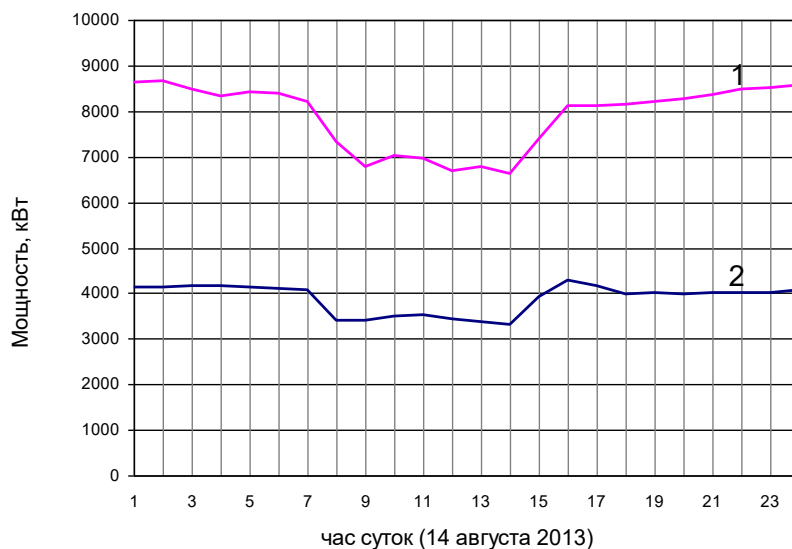


Рисунок 3 – График выработки и потребления электроэнергии на собственные нужды Харьковской ТЭЦ-3 за 14 августа 2013года.

1 – выработка электрической энергии; 2 – потребление на собственные нужды;

Довольно высокая доля потребления электроэнергии на СН Харьковской ТЭЦ-3 объясняется тем что данная ТЭЦ работает по тепловому графику загрузки, основное оборудование работает в режиме близком к минимально-допустимому. Станция находится в центральной части города Харькова, а следовательно через ее ТРП циркулируют значительные объемы сетевой воды.

Как видно из графиков, показанных на рисунках 1,2,3, график потребления электроэнергии коррелируется с графиками производства тепловой и электрической энергии и графиком циркуляции сетевой воды через ТРП ТЭЦ. В [7], была приведена классификация оборудования собственных нужд ТЭЦ по критерию – основное оборудование, от режима которого зависит режим работы оборудования собственных нужд ТЭЦ, и проведен анализ энергопотребления по группам данных механизмов за август месяц 2013 года. Полученная диаграмма показана на рисунке 4.



Рисунок 4 – Потребление электроэнергии по группам механизмов собственных нужд Харьковской ТЭЦ-3 за август 2013 года.

Как видно из рисунка, для данной ТЭЦ характерно потребления 53% электроэнергии именно на группу сетевых насосов ТЭЦ, что объясняет довольно высокий уровень потребления электроэнергии на

собственные нужды ТЭЦ. Согласно данной классификации, потребление электроэнергии на СН можно определить

$$P_{\text{СН}} = P_{\text{об.к.}} + P_{\text{п.тр.}} + P_{\text{ХВО}} + P_{\text{ТС}} + P_{\text{др}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{об.к.}}$  – потребление на оборудования тяго-дутьевой системы котла (дымососы и вентиляторы горячего дутья), кВт;

$P_{\text{п.тр.}}$  – потребление на оборудование питательного тракта (питательные электронасосы, конденсатные насосы), кВт;

$P_{\text{ХВО}}$  – потребление на химводоподготовку, кВт;

$P_{\text{ТС}}$  – потребление на оборудование тепловых сетей (сетевые насосы, насос опрессовки теплосети), кВт;

$P_{\text{др}}$  – потребление оборудования, которое не входит в технологическую схему выработки тепловой и электрической энергии), кВт.

Поскольку большинство механизмов собственных нужд ТЭЦ являются центробежными механизмами, с большой степенью точности мощность на валу механизмов собственных нужд и напор развиваемый, ими можно описать уравнениями

$$P_{\text{мех}} = A_3 n^2 Q - B_3 n Q^2 + D_3 n^3, \quad (2)$$

$$H = A_2 n^2 + B_2 n Q + C_2 Q^2, \quad (3)$$

где  $n$  – скорость вращения механизма, об/мин.;

$Q$  – производительность механизма, м<sup>3</sup>/год.

Коэффициенты  $A_2, B_2, C_2, A_3, B_3, D_3$  рассчитываются исходя из экспериментальных данных, полученных при исследовании режимов работы соответствующего оборудования. Для этого необходимо измерить потребляемую мощность и развиваемый механизмом напор при закрытой задвижке, частичной и номинальной нагрузке механизма [8].

Данные уравнения позволяют определить мощность, которая потребляется механизмов в зависимости от скорости вращения его рабочего колеса. Следовательно, возможно определить экономию электрической энергии за счет внедрения частотно-регулируемого привода.

**Режим работы оборудование тяго-дутьевой системы котла.** К данной группе оборудования котла относятся его дымососы и дутьевые вентиляторы. Потребляемая вентилятором мощность определяется величиной расхода воздуха и развиваемого давления. Расход увеличивается пропорционально мощности блока. По снятым характеристикам котла К-6 были построены зависимости потребления природного газа (рисунок 5), а также зависимость расхода воздуха и уходящих газов через котел (рисунок 6) от его производительности.

На графиках указана интерполяция зависимости потребления природного газа, а также расхода воздуха и уходящих газов через котле от его паропроизводительности. С учетом данных выражений был промоделирован режим работы тяго-дутьевого оборудования котла 6 Харьковской ТЭЦ-3, в результате которого были получены графики потребления электроэнергии на оборудование тяго-дутьевой системы котла с внедрением индивидуального частотного привода и без него, а также построены зависимости нагрузки тяго-дутьевых механизмов котла 6 от его паропроизводительности котла.

Скачок на графике представленном на рисунке 8 объясняется включением второго вентилятора горячего дутья. Как видно из графиков, при работе котла в переменных режимах с помощью применения частотно-регулируемого привода можно достичь значительную экономию электрической энергии, которая в зависимости от режима работы оборудования ТЭЦ может достигать 40%.

**Режим работы сетевых насосов.** Режим работы данных механизмов зависит от количества воды, которое циркулируется через тепло-распределительный пункт ТЭЦ. При анализе работы сетевых насосов Харьковской ТЭЦ-3 было определено, что режим работы данных механизмов определяется количеством районов тепловых сетей, подключенных к тепло-распределительному устройству ТЭЦ. При этом количество насосов работающих для поддержания заданного диспетчером тепловых сетей давления и необходимой циркуляции подбирается по их номинальной производительности с учетом наиболее эффективного распределения воды между работающими насосами. Следовательно, данные насосы

работают в режиме с нагрузкой 70-90%, что соответствует зоне наилучшего КПД таких механизмов, поэтому использование частотного привода данных механизмов в большинстве случаев неоправданно. На рисунке 9 показаны графики потребления электроэнергии сетевыми насосами и циркуляция сетевой воды через тепло-распределительный пункт Харьковской ТЭЦ-3 за 14 августа 2013 года.

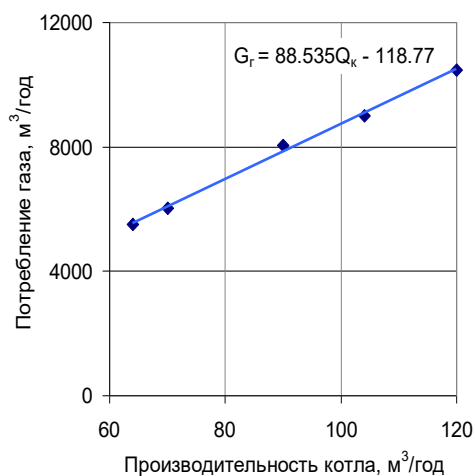


Рисунок 5 – Потребление природного газа котлом от его производительности

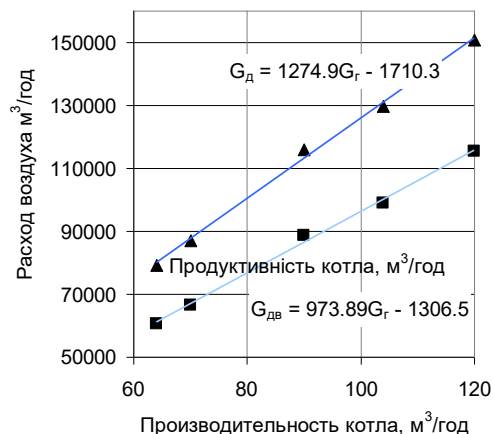


Рисунок 6 – Расход воздуха и уходящих газов через котел от его производительности

**Режим работы питательного насоса.** Питательный насос относится к особо ответственному оборудованию ТЭЦ. От надежности его работы зависит работа котлов ТЭЦ, при этом очень остро стоит вопрос энергоэффективности данного механизма, поскольку единичная мощность данных устройств довольно высокая и работа питательных электронасосов значительно влияет на эффективность работы станции в целом.

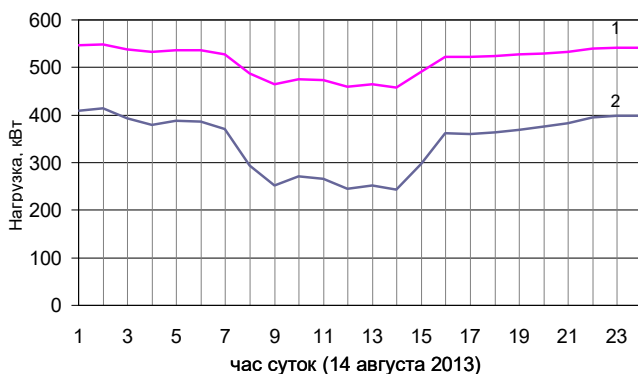


Рисунок 7 – Зависимость потребления электроэнергии тяго-дутьевым оборудованием котла при применении частотно-регулируемого (2) привода и питания от системы а частотой 50Гц (1)

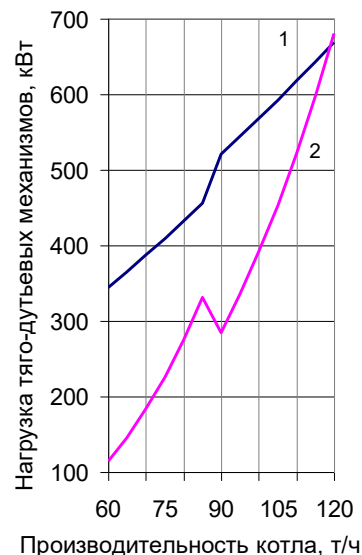


Рисунок 8 – Зависимость нагрузки тяго-дутьевых механизмов котла от его производительности 1 – при дросселировании; 2 – при использовании ЧРП

ПЭН - это высоконапорный механизм, следовательно, использование дросселирования в зонах малой производительности невозможно, так как может привести к закипанию воды в рабочей зоне

насоса. Для выхода с этой ситуации применяется байпасирование, когда жидкость на выходе насоса отводится через байпас для того, чтобы обеспечить нормальную работу механизма.

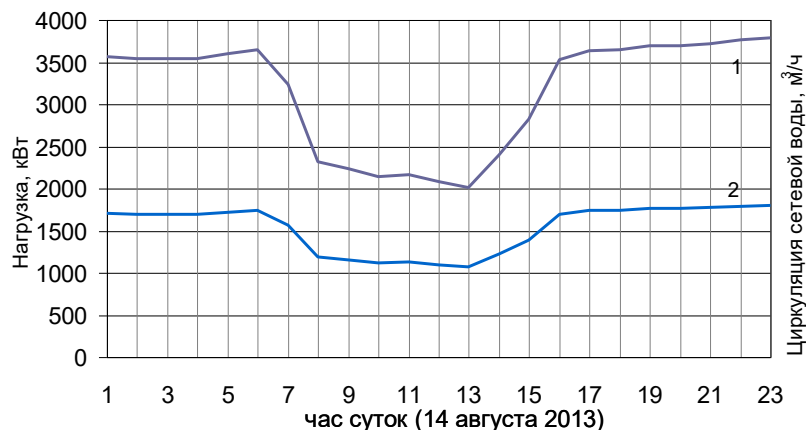


Рисунок 9 – Потребление электроэнергии сетевыми насосами (1) и циркуляция сетевой воды (2) через тепло-распределительный пункт

Часто на малых ТЭЦ с поперечными связями по пару, питательный насос используется для питания сразу нескольких котлов, что приводит к выбору таких насосов со значительной производительностью, но при работе ТЭЦ с частичными нагрузками это часто не оправдано. На ряде таких ТЭЦ установлены насосы с производительностью, рассчитанной на покрытие нагрузки одного котла, но опять таки при работе котла с частичными нагрузками все равно приходится использовать дросселирование.

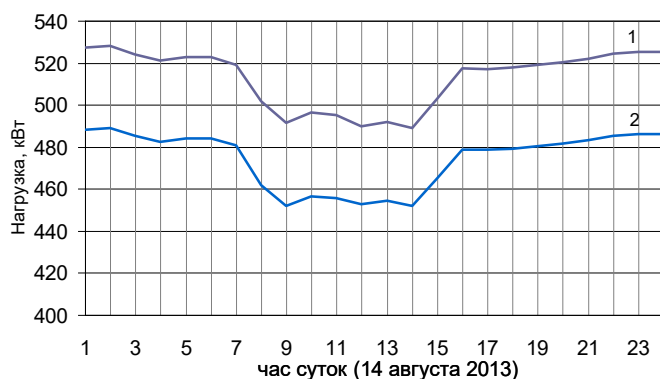


Рисунок 10 – Зависимость потребления электроэнергии питательным насосом котла при применении частотно-регулируемого (2) привода и питания от системы а частотой 50Гц(1)

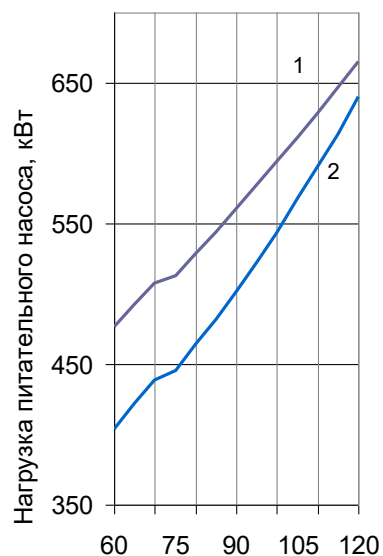


Рисунок 11 – Зависимость нагрузки питательного насоса котла от его производительности 1 – при дросселирование; 2 – при использовании ЧРП

Использование турбопривода для регулирования производительности питательных насосов оправдано лишь для крупных энергоблоков, поэтому для ТЭЦ небольшой мощности предлагается использование частотно-регулируемого привода.

Рассмотрим режим работы питательного насоса при работе ТЭЦ по тепловому графику нагрузки за 14 августа 2013 года. Производительность питательного насоса

$$Q_{ПЭН} = 1,05Q_K + Q_6, \quad (4)$$

где  $Q_K$  – производительность котла, т/час;

$Q_6$  – расход воды через байпас насоса, т/час.

При моделировании режима работы ТЭЦ были получены графики потребления электроэнергии питательным насосом очереди высокого давления Харьковской ТЭЦ-3 с внедрением индивидуального частотного привода и без него, а также построены зависимости нагрузки питательного насоса от паропроизводительности котла. Результаты моделирования показаны на рисунках 10 и 11.

При работе питательного насоса на частичных нагрузках на общий коллектор питательной воды для рассматриваемых ТЭЦ экономия электроэнергии будет более значительной, поскольку для этой задачи используются питательные насосы с большей производительностью и с большим запасом по напору жидкости после насоса.

**Особенности применение частотно-регулируемого привода.** При использовании частотно-регулируемого привода механизмов собственных нужд ТЭС можно получить следующие выгоды:

- обеспечивается экономия электрической энергии за счет энергоэффективного регулирования производительности центробежных механизмов;

- обеспечивается поддержание высокого коэффициента мощности электроустановки, т.к. современные частотно-регулируемые приводы поддерживают возможность компенсации реактивной мощности;

- значительная экономия электроэнергии в режимах пуска и останова основного оборудования станции;

- удобно обеспечивается плавный пуск механизмов, использующих частотно-регулируемый привод, это позволяет ограничить уровень пусковых токов механизмов, продлить срок службы оборудования станции. При правильном выборе данного оборудования можно также улучшить режимы работы оборудования станции при самозапуске двигателей механизмов собственных нужд ТЭС;

- повышается уровень автоматизации технологических процессов при выработке электрической и тепловой энергии, а также значительная экономия электроэнергии при прохождении минимумов нагрузки энергосистемы а также при работе основного оборудования на скользящих параметрах по пару;

**Выводы.** При работе отопительных ТЭЦ с поперечными связями по тепловому графику нагрузки работа ее основного оборудования сильно зависит от тепловой нагрузки. При этом в летний период, когда тепловое потребление потребителей значительно понижается, основное оборудование таких ТЭЦ работает на частичных нагрузках. Для нормальной работы данных механизмов необходимо глубже регулировать производительность механизмов собственных нужд ТЭЦ. Как было показано выше, применение частотно-регулируемого привода механизмов собственных нужд станции имеет значительный экономический эффект, особенно он выражен для механизмов тяго-дутьевой системы котла. Применение частотно-регулируемого привода сетевых насосов имеет ряд режимных ограничений так как их производительность близка к номинальной, и обоснование его применения должно быть обосновано для каждой ТЭЦ отдельно. Питательные насосы, как особо ответственные механизмы ТЭЦ, имеющие значительную мощность, сильно влияют на эффективность работы станции, поэтому использование частотно-регулируемого привода питательного насоса также дает значительный экономический эффект. Помимо экономии электрической энергии, использование частотно-регулируемого привода дает технические преимущества – удлинение срока службы оборудования, плавный пуск, качественное регулирование производительности.

#### Список использованной литературы

1. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Энергия, 1975. – 704 с.

2. Мамонтов Н. И. Эффективность и целесообразность применения турбоприводов питательных насосов на ТЭЦ и энергоблоках 150 – 200 МВт ТЭС / Н. И. Мамонтов, О. М. Кобцев, В. В. Панов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. - 2012. - № 1. - С. 9-14.

3. Фардиев И.Ш. О целесообразности и опыте применения гидромурфт на вспомогательном оборудовании ТЭС с поперечными связями / И.Ш. Фардиев, А.А. Салихов, Р.М. Фаткуллин // Энергетик, 2004. - №5. – С. 15-18

4. Ситас В.И. Применение регулируемых гидромуфт для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций / В.И. Ситас, А. Пешк, Р.М. Фаткуллин // Электрические станции, 2003. - №2. - С. 61-65

5. Кобцев О.М. Применение турбопривода питательного насоса на энергоблоках 150-200 МВт / О.М. Кобцев, В.В. Панов, Т.Н. Пугачева // Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2012. - №7 – С.117-121

6. Лазуренко А.П. Исследование группового регулирования механизмами собственных нужд ТЭЦ для повышения КПД в летний период / Вістник НТУ «ХПІ». Серія «Енергетика: надійність та енергоефективність», 2014 - №56

7. Лазуренко О.П. Новый під'їзд до класифікації електроустаткування власних потреб теплових електричних станцій / О.П. Лазуренко, М.М. Кругол// Електротехніка та електромеханіка, 2016. - №4(1) – С.43-47.

**A. Lasurenko**, Cand. Sc. (Eng.), Prof. **ORCID** 0000-0002-4409-629X  
**H. Cherkashina**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof. **ORCID** 0000-0003-1229-9604  
**M. Kruhol**, Ph.D. student **ORCID** 0000-0003-1229-9604

### **CHPP ENERGY EFFICIENCY INCREASE THROUGH AUXILIARY CONSUMPTION DECREASE**

In this article, the city heating system CHPP auxiliary conditions are considered, the CHPP working in heating mode. In summer, the heat consumption decreases to result in the main equipment failing to work under the nominal condition. Therefore, the CHPP auxiliary mechanisms capacity requires regulating, in particular, it concerns the rotary wane mechanisms.

At present, conventional ways for rotary wane mechanisms control are throttling and bypassing, additional electricity loss in the CHPP power supply system occurring. To reduce the loss, frequency drives application in CHPP auxiliary control is suggested.

The article analyzes Kharkiv CHPP#3 auxiliary modes. The auxiliary mechanisms are suggested to group according to specific characteristics.

Feed pumps and draught mechanisms power consumption graphs have been obtained as a result of modeling. The graphs compare power consumption of auxiliary mechanisms under the frequency drive based regulation versus conventional regulation. The CHPP network pumps modes have been studied as well. In addition, the authors estimate possible electricity saving in the CHPP auxiliary system under the introduced regulation method.

### **Referenses**

1. Rozhkova LD Electrical equipment of stations and substations / LD Rozhkova, V. S. Kozulin. - Moscow: Energia, 1975. - 704 p.

2. Mamontov NI Efficiency and expediency of feeding pump turbo-drive application at 150 - 200 MW thermal power stations and units / NI Mamontov, OM Kobtsev, VV Panov // Compressor and power engineering. - 2012. - No. 1. - P. 9-14.

3. Fardiev I.Sh. On the expediency and experience of hydraulic clutch application at cross-link CHPP auxiliary equipment / I.Sh. Fardiev, A.A. Salikhov, R.M. Fatkulin // Energetik, 2004. - №5. - P. 15-18

4. Sytas V.I. Application of adjustable hydraulic couplings to reduce power plant auxiliary consumption / V.I. Sytas, A. Pešk, R.M. Fatkulin // Electric stations, 2003. - №2. - P. 61-65

5. Kobtsev OM Application of feed pump turbo drive at 150-200 MW power units / OM. Kobtsev, V.V. Panov, TN. Pugacheva // Energy and Thermal Processes and Equipment, 2012. - №7 - P.117-121

6. Lazurenko AP, Kruhol N.M. Study of group control by CHPP auxiliary equipment to enhance summer mode efficiency (in Russian). Bulletin of NTU “KhPI”, 2014, №56

7. Lazurenko A.P., Kruhol M.M. A new approach to the classification of auxiliaries thermal power plant mechanisms (in Russian). Electrical Engineering & Electromechanics, 2016 – №4(1) – P.43-47



Лазуренко О.П., канд. техн. наук., проф ORCID 0000-0002-4409-629X

Черкашина Г.І., канд. техн. наук, доц. ORCID 0000-0003-1229-9604

Кругол М.М., асп. ORCID 0000-0003-1229-9604

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕЦ ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ**

*В статті розглянутий режим роботи устаткування власних потреб ТЕЦ, що працює за тепловим графіком навантаження в літній період на прикладі роботи Харківської ТЕЦ-3. Проаналізовано споживання електричної енергії на власні потреби ТЕЦ. Розглянуті основні причини підвищеного енергоспоживання механізмами власних потреб ТЕЦ, при її роботі на часткових навантаженнях. При аналізі споживання електричної енергії на власні потреби були визначені групи механізмів власних потреб по режиму їх роботи. Для кожної з груп були побудовані графіки споживання електричної енергії при різних режимах роботи основного устаткування станції на протязі доби. Показана економія електричної енергії при впровадженні регульованого частотного приводу для регулювання продуктивності механізмів власних потреб ТЕЦ.*

**Ключові слова:** теплоелектроцентрально, механізми власних потреб, частотно-регульований привод, мережеві насоси, живильні насоси, димососи, дуттєві вентилятори

Надійшла 23.05.2017

Received 23.05.2017