

УДК 621.311

М. Н. Чепурной, к. т. н., доц.; С. И. Ткаченко, д. т. н., проф.; С. В. Дышлюк**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИСТРОЕННЫХ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЯХ**

Определены основные показатели работы комбинированных установок на промышленных теплоэлектроцентралях, созданных на базе противодавленческих и пристроенных теплофикационных турбин, в условиях переменных нагрузок.

Ключевые слова: *паровой котел, паровая турбина, противодавленческая турбина, пристроенная турбина, теплоэлектроцентраль.*

Состояние проблемы

Идея комбинированного производства электроэнергии и теплоты, которая предложена еще вначале прошлого столетия, предусматривала уменьшение расходов топлива на выработку единицы энергопродукции (электроэнергии и теплоты). Эта идея была реализована путем строительства теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Использование ТЭЦ позволяет экономить топливо в энергосистеме, а также является перспективной и проверенной технологией, которая позволяет решить задачи энергоснабжения. Кроме того, применение комбинированного производства видов энергопродукции является одним из немногих способов уменьшения выбросов парникового газа CO₂, оксидов азота и серы. Благодаря этим преимуществам комбинированное производство теплоты и электроэнергии признано одним из приоритетных направлений развития энергетики Украины [1].

Наиболее целесообразным условием для применения ТЭЦ является постоянство тепловой нагрузки. Однако теперь сложилась ситуация, когда уменьшение использования технологического пара не позволяет вырабатывать проектные мощности. Промышленные ТЭЦ входят в региональную энергосистему и вырабатывают электроэнергию на базе отпуска теплоты. За последние годы в связи с переориентацией промышленных производств или с сокращением промышленного производства отпуск теплоты с паром на технологические нужды существенно сократился. Особенно негативно сложилась ситуация на ТЭЦ с противодавленческими турбинами, которые работают с половинной нагрузкой или полностью остановлены. Работа с небольшими нагрузками характеризуется существенным сокращением коэффициентов полезного действия (КПД) как турбоустановки, так и парогенератора, что ведет к перерасходу топлива. Большое число противодавленческих турбин работает на промышленных ТЭЦ перерабатывающих производств, многие из которых остановили работу вообще. Простой теплоэнергетического оборудования на промышленных ТЭЦ увеличивает расходы предприятий на содержание, ремонт и уплату налогов на имущество, что приводит к росту стоимости продукции и снижению ее конкурентоспособности. Отметим также, что уменьшение энергогенерирующих мощностей увеличивает дефицит необходимых маневренных электрических мощностей в энергосистеме и значительно усложняет работу последней в пиковых режимах [2].

Одним из приоритетных направлений развития отечественной теплоэнергетики на сегодняшний день считается модернизация существующего теплоэнергетического оборудования. Именно в теплоэнергетике существуют реальные возможности использования новых эффективных технологий за средства отечественных, а не иностранных инвесторов. Обеспечить полную загрузку промышленного отбора турбин типа Р, П, ПТ, ПР можно с помощью пристроенных турбин, которые работают на параметрах пара в промышленных отборах или в противодавлении турбины Р.

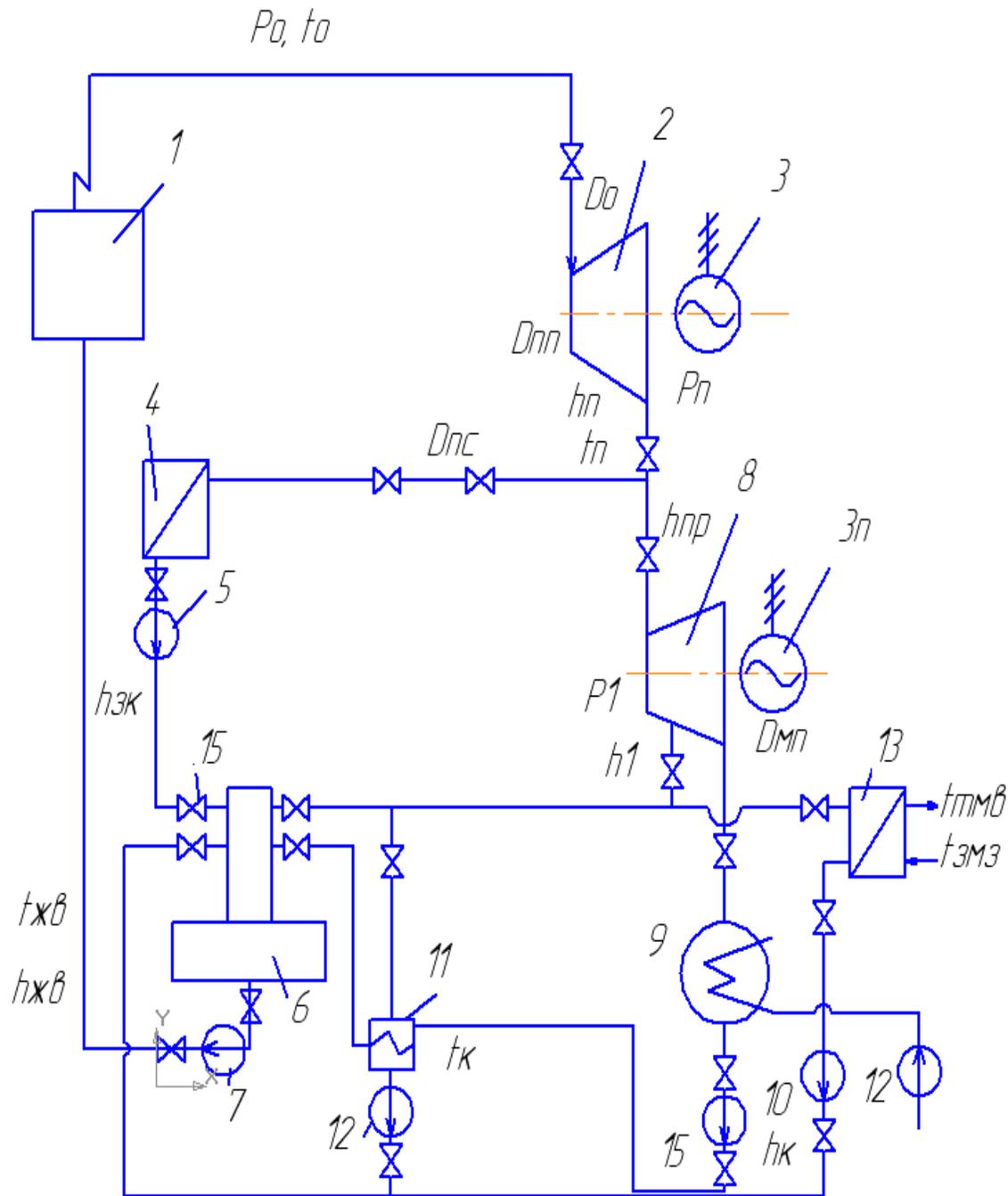


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированной установки с базовой пртиводавlenческой и пристроенной теплофикационными паровыми турбоустановками: 1 – парогенератор; 2 – базовая пртиводавlenческая турбина; 3 – электрогенератор; 4 – промышленные потребители пара; 5 – насос обратного конденсата; 6 – деаэрактор; 7 – питающий насос; 8 – пристроенная теплофикационная турбина; 9 – конденсатор; 10 – конденсатный насос; 11 – регенеративный подогреватель; 12 – дренажный насос; 13 – бойлер системы теплофикации; 14 – циркуляционный насос; 15 – запорная арматура.

На турбомашиностроительных предприятиях разработаны и разрабатываются различные типы турбин, которые могут работать с небольшими начальными параметрами пара [3 – 5]. Выбор модификации пристроенной турбины зависит от наличия потребителей пара, тепловых нагрузок и источников технического водоснабжения. Понятно, что применение чисто конденсационных пристроенных турбин нецелесообразно, в результате их небольшой

эффективности обусловленной небольшими начальными параметрами пара, значительных расходов воды на конденсацию пара и расходов электроэнергии на собственные нужды.

В предыдущей работе [8] рассмотрено применение пристроенных противодавленческих турбин. Предусматривалось наличие промышленных или теплофикационных потребителей пара от пристроенной турбины. Выяснено, что оптимальные режимы работы комбинированной установки находятся в диапазоне давлений за пристроенной турбиной от 0,14 – 0,18 МПа. Недостатком применения противодавленческих пристроенных турбин, поставляющих пар в систему теплофикации, является резкое уменьшение нагрузки в межотопительный период, вследствие чего и базовая, и привьюченнная турбины будут работать существенно недогруженными, т. е. весьма неэффективно.

В связи с вышеизложенным ставилась задача определить эффективность работы комбинированной установки, которая состоит из базовой противодавленческой турбины и пристроенной теплофикационной турбины, в условиях переменных загрузок.

Основные результаты

В качестве базовой турбины выбрана противодавленческая паровая турбина Р-6-35/6, которая наиболее часто встречается на промышленных ТЭЦ небольших мощностей, характерных для перерабатывающих производств. Параметры пара перед базовой турбиной: давление $P_0=3,5$ МПа, температура $t_0=435^\circ$ С, а за турбиной (в противодавлении): $P_n=0,6$ МПа, $t_n=245^\circ$ С. Давление в теплофикационном отборе пристроенной турбины и в конденсаторе: $P_1=0,14$ Мпа и $P_k=5$ кПа, соответственно. Принципиальная схема комбинированной установки показана на рис. 1.

По сравнению с тепловой схемой базовой паротурбинной установки эта схема отличается наличием пристроенной теплофикационной турбины 8; электрогенератора 3п; конденсатора 9 с конденсационным 10 и циркуляционным 14 насосами; регенеративного подогревателя 11 с дренажным насосом 12.

Основным условием работы комбинированной установки является то, что базовая турбина должна работать с постоянной номинальной электрической нагрузкой ($N=6$ МВт), а также с постоянным расходом пара на турбину D_0 , независимо от расхода пара на промышленные потребители $D_{пс}$. В процессе эксплуатации комбинированной установки должно соблюдаться балансовое равенство:

$$D_0=D_{пс}+D_{пр}, \quad (1)$$

где $D_{пр}$ – расход пара на пристроенную турбину.

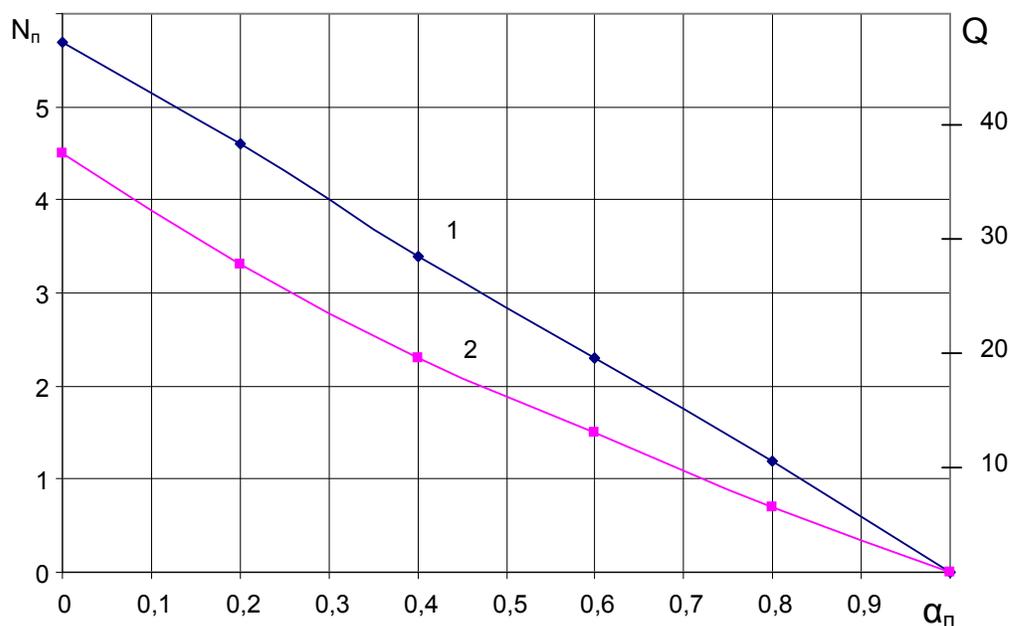
В свою очередь, уравнение материального баланса пристроенной турбины имеет вид:

$$D_{пр}=D_1+D_k=D_d+D_{рп}+D_{мп}+D_k, \quad (2)$$

где D_d , $D_{рп}$, $D_{мп}$, D_k – расход пара на деаэратор, на регенеративный подогреватель конденсата, на сетевой подогреватель системы теплофикации, в конденсатор, соответственно.

Вполне понятно, что в процессе эксплуатации комбинированной установки постоянным остается и расход топлива, поскольку постоянной остается нагрузка (мощность) парогенератора. Расход пара на пристроенную турбину зависит от доли загрузки потребителей пара из противодавления базовой турбины: $\alpha_n=D_{пс}/D_0$.

Расчет тепловых схем и основных показателей работы комбинированных установок с разными значениями α_n осуществлялись по методике, изложенной в [9]. При этом принято, что подогрев конденсата в регенеративном подогревателе 27° С; температура питательной воды 104° С; КПД парогенератора 0,91; электромеханический КПД 0,96. Кроме того, считалось, что в конденсатор пристроенной турбины направляется предельно допустимый расход пара, который оценивался, как 20% от общего расхода пара $D_{пр}$.

Рис. 2. Зависимости $N_{п}=f(\alpha_{п})$, $Q_{п}=f(\alpha_{п})$

На рис. 2 показано изменение электрической мощности $N_{п}$, МВт (линия 1) и отпущенной тепловой мощности $Q_{п}$, МВт (линия 2) пристроенной турбины в зависимости от доли загрузки промышленных потребителей $\alpha_{п}$. Условие $\alpha_{п}=1$ отвечает режиму, когда расход пара на пристроенную турбину равен нулю, т. е. работает только базовая турбина. С увеличением $\alpha_{п}$ мощность пристроенной турбины линейно снижается. Уменьшается также и отпущенная с паром тепловая мощность на теплофикацию.

Для комбинированной установки изменение электрической мощности $N_{к}$ осуществляется аналогично, но изменение тепловой мощности $Q_{к}$ имеет совсем другой характер (рис. 3). Это объясняется тем, что с ростом $\alpha_{п}$ увеличивается тепловая мощность, отданная промышленным потребителям из противодействия базовой турбины.

Эффективность работы комбинированной теплоэнергетической установки однозначно характеризуется удельным расходом условного топлива, которое затрачивается на совместное производство тепловой и электрической энергии b , кг/МДж. Хорошо известно, что комбинированная выработка этих видов энергии обуславливает экономию топлива в энергосистеме. В данном случае выработка пристроенной турбиной дополнительной электрической мощности осуществляется без дополнительного расхода топлива в парогенераторе. Тогда экономию условного топлива можно рассматривать как его расход на выработку этой дополнительной мощности на конденсационных тепловых электростанциях данной энергосистемы.

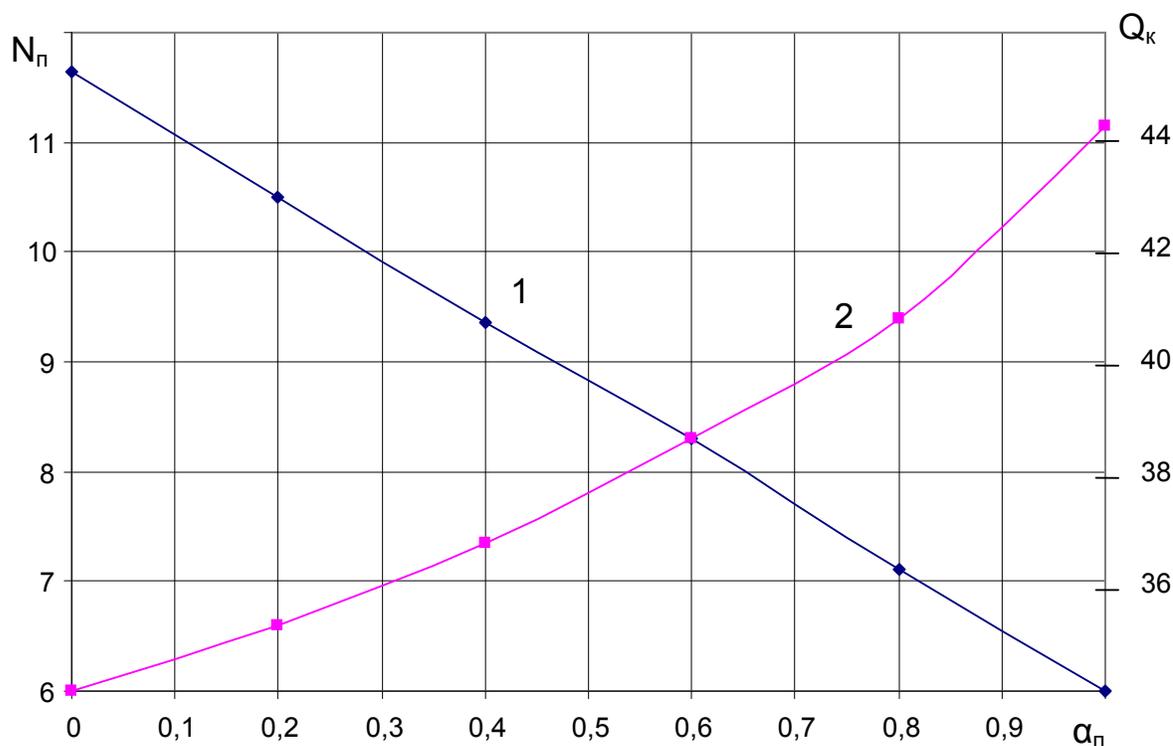
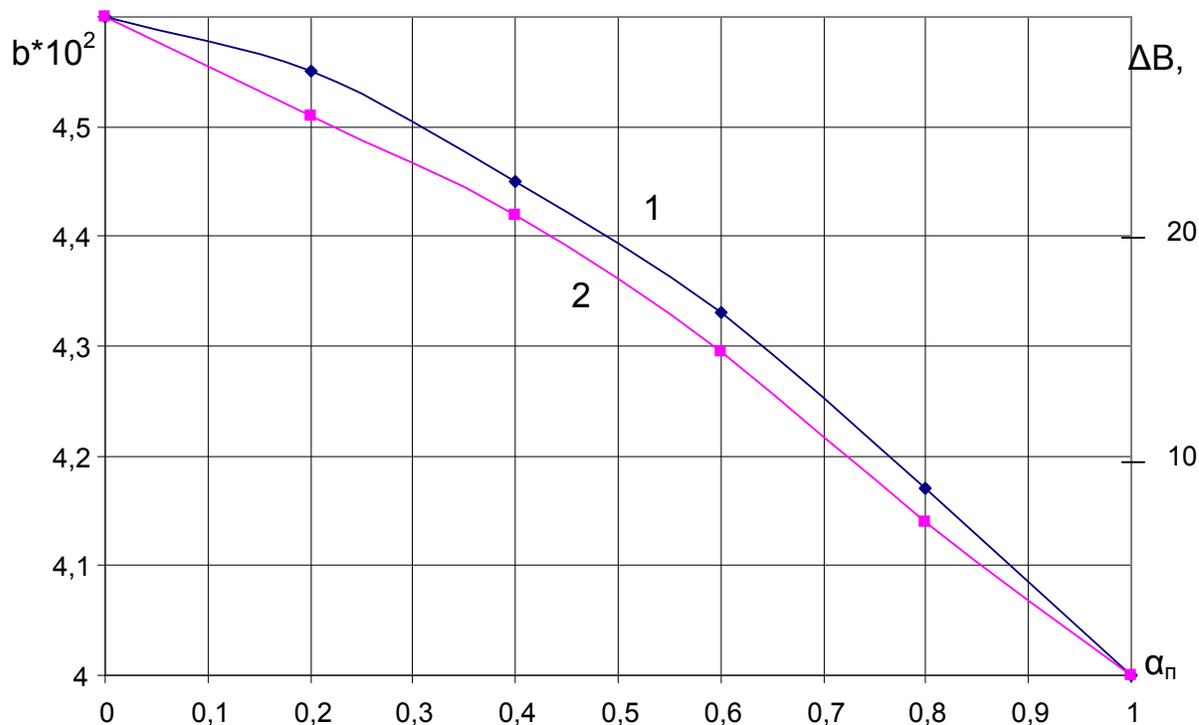


Рис. 3. Значения N_k и Q_k в комбинированной турбине (обозначения см. на рис. 2)

На рис. 4 приведены зависимости изменения удельного расхода условного топлива брутто (кривая 1) и процентная экономия топлива в энергосистеме ΔB (кривая 2). На рис. 4 видно, что удельные расходы условного топлива уменьшаются по мере увеличения доли загрузки промышленных потребителей из противодействия базовой турбины и достигают минимального значения в случае их полной загрузки, т. е. в случае нулевой загрузки пристроенной турбины. По мере загрузки пристроенной турбины ($0 < \alpha_n$) значения b возрастают вследствие наличия потерь теплоты в конденсаторе теплофикационной пристроенной турбины. При условии максимальной загрузки пристроенной турбины ($\alpha_n = 0$) наблюдается наибольшая выработка электроэнергии и соответственно наибольшая экономия топлива в энергосистеме. Отметим также, что дополнительная выработка электроэнергии без дополнительного расхода топлива способствует снижению вредных выбросов в атмосферу пропорционально экономии топлива.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения теплофикационных пристроенных турбин в случаях неполной загрузки противоавтоматических турбин или турбин с промышленным отбором пара. Они являются необходимой предпосылкой для выбора типа и характеристик пристроенных турбин, предварительной оценки эффективности работы комбинированных установок с пристроенными турбинами.

Рис. 4. Значения b и ΔB

Выводы

1. При наличии потребителей пара низкого давления пристроенные теплофикационные турбины позволяют работать базовым турбинам в экономном режиме.
2. Дополнительная выработка электроэнергии на пристроенных турбинах достигается без дополнительного расхода топлива.
3. Экономия топлива на выработку дополнительной электрической мощности, которая почти равная мощности базовой турбины, составляет 30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради. – 2005. – №20. – С. 278 – 285.
2. Дикий Н. А. Комбинированная установка для преодоления кризиса в энергетике / Н. А. Дикий // Экотехнология и ресурсосбережение. – 2004. – №1. – С. 13 – 17.
3. Левченко Е. В. Турбины ОАО «Турбоатом» для переоборудования промышленных и муниципальных котельных в электростанции / Е. В. Левченко, А. В. Боровский // Пром. Теплоэнергетика. – 2002. – №5. – С. 69 – 71.
4. Паровые турбины и паротурбинные установки мощностью от 0,15 до 16 МВт. Констар, ОАО «Криворожский турбинный завод» [Электронный ресурс]: база данных «Украина промышленная» / ООО «Гемма», к.[2008]. – Режим доступа: <http://2626.ua.all-biz.info/cat.php.oid=30193>.
5. Паровые турбины и турбогенераторы [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя.- Калуга. ОАО «Калужский турбинный завод» (ОАО «Силовые машины») [2005]. – Режим доступа: <http://www.ktz.kaluga.ru/russian/turbines/default.html>.
6. Хлебалин Ю. М. Техническое перевооружение ТЭЦ с противодавленческими турбинами / Ю. М. Хлебалин // Пром. Энергетика. – 2007. – №. – С. 2 – 5.
7. Галушко В. Ф. Реконструкция ТЭЦ сахарного завода / В.Ф. Галушко // Пром. Энергетика. – 2007. – №3. – С. 18 – 20.
8. Чепурной М. М. Актуальность переоборудования промышленных ТЭЦ / М. М. Чепурной, Е. В. Антропова // Энергосбережение. – 2008. – №12. – С. 13 – 16.
9. Чепурний М. М. Енергозбережні технології в теплоенергетиці / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Наукові праці ВНТУ, 2010, № 2

Вінниця, ВНТУ, 2009. – 114 с.

Чепурной Марк Николаевич – к. т. н., профессор кафедры теплоэнергетики.

Ткаченко Станислав Йосифович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики.

Дышлюк Сергей Васильевич – студент института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Вінницький національний технічний університет.