

УДК 621.311.22:697.34+697.328

**К.В. МАХОТИЛО**, канд. техн. наук (Національний технічний університет „Харьковский политехнический институт”, Харьков)

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ МАЗУТНЫХ БАКОВ ТЭЦ

Представлены результаты технико-экономической оценки проекта по созданию теплоаккумуляционной установки на базе мазутных баков ТЭЦ и целесообразности ее использования при работе ТЭЦ по ценовым заявкам на Оптовом рынке электроэнергии. Расчеты выполнены на примере режимов работы Харьковской ТЭЦ-5. Определены периоды и объемы аккумулирования и использования тепловой энергии, оценены параметры и количество необходимых теплообменников и мазутных насосов.

Продолжающаяся либерализация рынков электроэнергии и стремительный рост мировых цен на энергоносители выдвигают жесткие требования к увеличению маневренности и обеспечению экономичности работы ТЭЦ [1]. Эти специфические электростанции, служа интересам потребителей тепловой и электрической энергии, вынуждены работать в условиях жесткой конкурентной борьбы с электростанциями конденсационного типа и котельными. И если ранее считалось, что они требуют поддержки для выживания в рыночных условиях, то сейчас ТЭЦ не только стали успешными игроками на рынках электроэнергии, но и все чаще рассматриваются как основной ресурс дешевых маневренных мощностей. Аналогичные процессы происходят и в энергетике Украины, где крупные ТЭЦ являются полноценными игроками и поставщиками системных услуг.

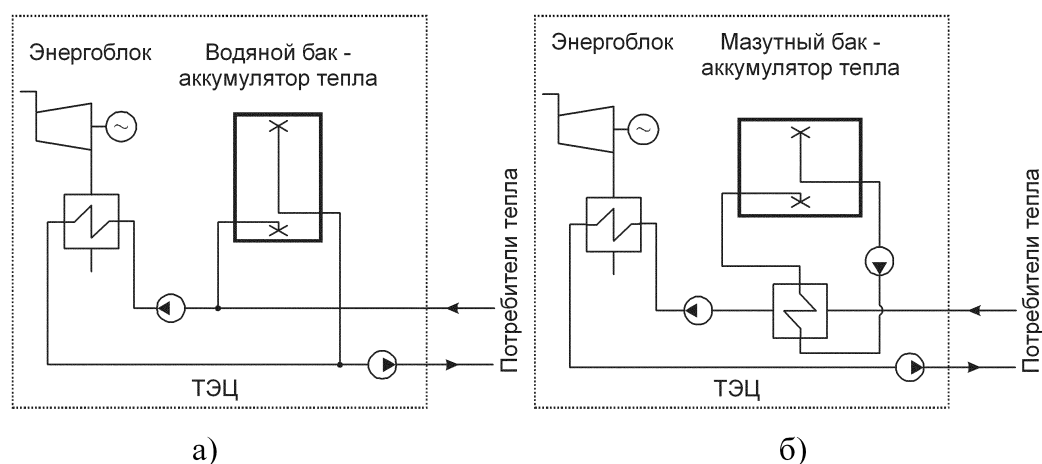
Еще одной важной тенденцией в развитии мировой энергетики, проявившейся в последние десять-двадцать лет, является активное использование аккумулирования тепла в системах централизованного теплоснабжения (СЦТ). Сегодня подавляющее большинство европейских ТЭЦ с турбинами с противодавлением и небольших ТЭЦ с фиксированным соотношением тепловой

и электрической мощности оборудованы аккумуляторами тепла. Этот процесс является прямым следствием настойчивой борьбы за увеличение маневренности ТЭЦ по выработке электрической энергии.

Так, в Дании в первые же годы после создания рынка электроэнергии начали активно реализовываться проекты по созданию теплоаккумулирующих систем большой емкости. И сегодня в этой стране все СЦТ на базе ТЭЦ оборудованы одним или несколькими мощными аккумуляторами. Эти аккумуляторы позволяют не только компенсировать неравномерность тепловой нагрузки, вызванную ночным сокращением спроса на тепло, но и сократить число пусков-остановок пиковых водогрейных котлов (ПВК) [2].

На рис. 1а представлена наиболее распространенная схема аккумулирования тепла на ТЭЦ, использующая водяной бак-аккумулятор. В этом баке в одни периоды суток накапливается нагретая сетевая вода, а в другие периоды она, вытесняясь более холодной водой из обратной магистрали теплосети, поступает в прямую магистраль, компенсируя дефицит тепловой мощности ТЭЦ.

Для реализации такой схемы на территории ТЭЦ необходимо соорудить специальный водяной



**Рис. 1.** Варианты использования аккумуляторов тепла при производстве тепловой энергии на ТЭЦ: а) аккумулирование тепла в водяном баке; б) аккумулирование тепла в мазутном баке

бак. При расходе сетевой воды порядка 10 тыс. м<sup>3</sup>/ч, как на Харьковской ТЭЦ-5 (ХарТЭЦ-5), емкость такого бака должна составлять 30–50 тыс. м<sup>3</sup>.

В странах, где распространено центральное количественное или количественно-качественное регулирование отпуска тепла, ТЭЦ при строительстве оборудуются водяными баками значительной емкости для поддержания давления в теплосети, которые и используются теперь для аккумуляции тепла. В Украине, где применяется центральное качественное регулирование и СЦТ больших городов являются закрытыми, крупные ТЭЦ располагают лишь водяными баками для накопления подпитки теплосети, объемов которых (3–7 тыс. м<sup>3</sup>) недостаточно для решения рассматриваемой задачи.

В то же время на отечественных газомазутных ТЭЦ в качестве основного топлива используется природный газ, а мазут марок М-100 или М-40 является резервным топливом. Мазут хранится на территории ТЭЦ в специальных баках, и его минимальных запасов достаточно для обеспечения работы предприятия на протяжении не менее пяти суток в случае аварийных перебоев в поставках газа. Так, мазутохранилище ХарТЭЦ-5 состоит из трех мазутных баков объемом по 20 тыс. м<sup>3</sup> каждый. За последние десять лет было несколько случаев, когда из-за падения давления в системе газоснабжения Харькова ХарТЭЦ-5 переходила на резервное топливо, играя роль крупнейшего в регионе потребителя-регулятора природного газа. Все остальное время мазут не расходовался.

В зависимости от потребности ТЭЦ мазутное хозяйство находится в одном из трех состояний: рабочем – при работе котлов на мазуте, горячем резерве – при работе котлов на газе, и холодном резерве – при остановленном на профилактические ремонты оборудовании. В рабочем состоянии и в горячем резерве мазут хранится в баках в разогретом состоянии. Это необходимо, чтобы избежать его затвердения или налипания на стенках баков и мазутопроводов, а также для уменьшения вязкости и облегчения перекачки. Мазутные баки делятся на расходные, где мазут хранится при температуре 60–80°С, и резервные, где температура мазута составляет 40–60°С.

Подогрев мазута осуществляется паром, который отбирается из общестанционного коллектора собственных нужд ТЭЦ и подается на основные и рециркуляционные подогреватели мазута. Основные подогреватели работают постоянно и обеспечивают подогрев мазута, который подается от баков к форсункам паровых и водогрейных

котлов. При работе теплофикационных энергоблоков (ТЭБ) на газе мазут не сжигается и возвращается от котлов назад в баки, подогревая их. Рециркуляционные подогреватели обеспечивают поддержание температуры в мазутных баках в заданном диапазоне значений. Как правило, они не работают постоянно, а включаются при недостаточности подогрева от работы основных подогревателей, например, во время морозов.

Все время, пока ТЭЦ работает на газе, мазутное хозяйство находится в горячем резерве, а это означает, что тепловая энергия, отбираемая от парового котла для нагрева мазута, постоянно рассеивается во внешнюю среду. Эти потери являются неизбежной платой за обеспечение энергетической безопасности региона. С другой стороны, это означает, что на ТЭЦ постоянно присутствует значительный запас тепла, аккумуляционный в мазутных баках. При указанном перепаде в 20°С между верхней и нижней границей диапазона температур, регламентируемого для хранения мазута, этот запас составляет около 540 Гкал (в трех мазутных баках ХарТЭЦ-5), что сопоставимо с объемом отпуска тепла от ТЭЦ в городскую теплосеть в течение 1–1,5 часов. Это позволяет ставить вопрос о возможности использования мазутного хозяйства ТЭЦ как теплоаккумуляционной установки (ТАУ), способной накапливать и отдавать теплоносителю, циркулирующему в тепловой сети города, довольно большие объемы тепловой энергии.

На рис. 16 приведена предлагаемая схема использования мазутного бака-аккумулятора ТЭЦ для компенсации дефицита тепловой мощности ТЭБ, возникающего в ночные часы суток при их разгрузке по пару. В отличие от традиционной схемы (рис. 1а), здесь рабочее вещество, аккумуляющее тепловую энергию – мазут – имеет меньшую температуру, и поэтому тепло отдается обратной сетевой воде до ее подачи на сетевой подогреватель ТЭБ. Кроме того, для отдачи тепла сетевой воде предусмотрен специальный разрядный теплообменник.

Благоприятной предпосылкой для использования мазутных баков для аккумуляции тепла является наличие развитой инфраструктуры мазутного хозяйства ТЭЦ, что позволяет ограничиться вложением финансовых средств только в расширение его функциональных возможностей, а не в создание на территории ТЭЦ абсолютно новой технической системы.

К недостаткам такой схемы можно отнести то, что пар в коллектор собственных нужд ТЭЦ

обычно подается прямо из котла через редуционно-охлаждающую установку. Это является весьма надежным, с точки зрения режимов пуска и останова, но очень неэкономичным способом. Использование такого «дорогого» пара для заряда мазутного бака-аккумулятора, несомненно, снижает эффективность предлагаемой схемы аккумуляции тепла, однако не является непреодолимой преградой. Например, на ХарТЭЦ-5 используются разработанные в ЦКБ «Энерго» (Харьков) более экономичные схемы, предусматривающие возможность подачи в коллектор собственных нужд частично отработавшего пара из 1-го и 2-го производственных отборов или из линии промежуточного перегрева пара турбин работающих ТЭБ.

Целью данной работы является оценка технической осуществимости схемы аккумуляции тепла на базе мазутных баков и целесообразности ее использования на маневренной ТЭЦ, работающей на ОРЭ по ценовым заявкам. Для этого на примере ОАО «Харьковская ТЭЦ-5» будут выполнены балансовые расчеты для основных режимов работы ТЭЦ, определены периоды и объемы аккумуляции и использования тепловой энергии, оценены параметры и количество разрядных теплообменников.

### Типовые режимы работы ХарТЭЦ-5

На ХарТЭЦ-5 установлено следующее энергогенерирующее оборудование [3]:

– энергоблоки № 1 и № 2 с котлом ТГМЕ-464 и паровой турбиной Т-110/120-130 общей тепловой мощностью 350 Гкал/ч и электрической 240 МВт;

– энергоблок № 3 с котлом ТГМП-344А и паровой турбиной Т-250/300-240 тепловой мощностью 350 Гкал/ч и электрической – 300 МВт;

– четыре водогрейных котла типа ПТВМ-180 тепловой мощностью 180 Гкал/ч каждый.

В табл. 1 приведены параметры предельных режимов нагрузки энергоблоков ХарТЭЦ-5 в теплофикационном режиме, соответствующие реальной практике эксплуатации в течение нескольких последних отопительных сезонов. Здесь  $\bar{P}_i$  и  $\underline{P}_i$  – максимальная и минимальная электрическая мощность  $i$ -го ТЭБ,  $\bar{Q}_i(\bar{P}_i)$  и  $\bar{Q}_i(\underline{P}_i)$  – максимальная тепловая мощность при максимальной и минимальной электрической мощности  $i$ -го ТЭБ, соответственно.

ХарТЭЦ-5 является маневренной станцией и в основном работает с переменной электрической нагрузкой: максимальная мощность в дневное

**Таблица 1.** Параметры предельных нагрузок энергоблоков ХарТЭЦ-5 в теплофикационном режиме

Номер ТЭБ, $i$	$\bar{P}_i$ , МВт	$\underline{P}_i$ , МВт	$\bar{Q}_i(\bar{P}_i)$ , Гкал/ч	$\bar{Q}_i(\underline{P}_i)$ , Гкал/ч
1,2	110	60	140	95
3	265	160	320	230

время и разгрузка до техминимума или полный останов части энергоблоков ночью. Что касается тепловой мощности, то в рамках действующей практики регулирования она поддерживается на постоянном уровне, корректируемом по мере изменения наружной температуры от одного до четырех раз в сутки в соответствии с «повышенным» температурным графиком центрального качественного регулирования нагрузки отопления и горячего водоснабжения (ПТГ).

В зависимости от состава работающего оборудования ТЭЦ, в период ночной разгрузки по электроэнергии может возникать дефицит тепловой мощности ТЭБ. Обычно его покрывают с помощью запуска на несколько часов ПВК. Недостатками такого способа являются большая, чем у отобранного от турбины, стоимость тепла, необходимость поддерживать ПВК в горячем резерве, а также переменные режимы работы котлов. Однако в большинстве случаев, когда наружная температура ниже расчетной, этот дефицит может быть покрыт и с помощью ТАУ.

В данной работе при расчете параметров аккумулятора тепла будет рассмотрен не традиционный способ равномерного на протяжении суток отпуска тепла от ТЭЦ, а более энергоэффективный способ, предложенный в [4, 5] и успешно испытанный в 2006 году. Он предусматривает снижение температуры прямого теплоносителя на величину, соответствующую снижению нагрузки горячего водоснабжения в ночное время и, как следствие, уменьшает дефицит тепловой мощности ТЭБ ночью.

Одна из упрощенных инженерных версий такого способа управления отпуском тепла потребителям от ХарТЭЦ-5, обозначенная как алгоритм ночного снижения температуры прямого теплоносителя АНСТПТ-2, описывается следующим выражением:

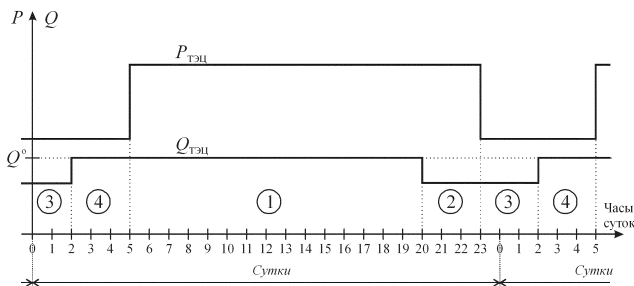
$$\tau_1(h) = \tau_1^0(T_{II}) + \Delta(h),$$

$$\Delta(h) = \begin{cases} -11; & h \in [20,23] \cup [0,1] \\ 0; & h \in [2,19] \end{cases} \quad (1)$$

где  $\tau_1$  – температура прямой сетевой воды, отпускаемой от ТЭЦ в теплосеть, °С;  $h$  – номер часа суток,  $h \in [0, 23]$ ;  $T_n$  – наружная температура, °С;  $\tau_1^0$  – среднесуточная температура прямой сетевой воды, регламентируемая ПТГ, °С;  $\Delta(h)$  – величина корректировки температуры прямой сетевой воды в часе  $h$ , °С.

При отпуске тепла согласно АНСТПТ-2 в период, упреждающий на время транспортировки теплоносителя период ночного снижения потребления горячей воды, тепловая нагрузка ХарТЭЦ-5 уменьшается примерно на 120 Гкал/ч по отношению к уровню  $Q^0$ , нормируемому ПТГ.

На рис. 2 приведены типичные графики электрической  $P_{ТЭЦ}(h)$  и тепловой  $Q_{ТЭЦ}(h)$  мощности ХарТЭЦ-5 при производстве электроэнергии в соответствии с диспетчерским графиком, полученным от Администратора ОРЭ, и отпуске тепла по АНСТПТ-2. Они имеют обобщенный вид, так как не отображают непрерывный характер нагрузки ТЭБ, однако достаточны для проведения балансовых расчетов режимов их работы.



**Рис. 2.** Обобщенные графики электрической и тепловой мощности ТЭЦ при работе на ОРЭ и отпуске тепла по АНСТПТ-2

На графике электрической нагрузки ТЭЦ  $P_{ТЭЦ}(h)$  выделяются два периода: период работы энергоблоков на их максимальной мощности  $\bar{P}_i$  с 5:00 до 23:00 и период с 23:00 текущих суток до 5:00 следующих суток, когда электрическая нагрузка энергоблоков уменьшается до их технического минимума  $\underline{P}_i$ . На графике тепловой нагрузки ТЭЦ  $Q_{ТЭЦ}(h)$  также выделяются период работы с номинальной нагрузкой согласно ПТГ с 2:00 по 20:00 и период действия АНСТПТ-2 с 20:00 текущих суток до 2:00 следующих суток. Пересечение этих периодов дает четыре временных интервала, отмеченных на рис. 2 цифрами в кружках.

Рассмотрим работу ТЭЦ в двух типичных для отопительного сезона в Харькове случаях теплой и холодной погоды (табл. 2). Значения часовых объемов отпуски тепла от ТЭЦ по ПТГ  $Q^0$  и среднесуточной температуры обратной сетевой воды  $\tau_2$  взяты по фактическим данным за 2006-2007 гг.

**Таблица 2.** Показатели работы СЦТ в типичных погодных условиях отопительного сезона 2006-2007 гг.

Тип погоды	$T_n$ , °С	$Q^0$ , Гкал/ч	$\tau_2$ , °С
«теплая»	0	400	45
«холодная»	-15	500	55

Для этих типов погоды проанализируем варианты состава работающего оборудования ТЭЦ и оценим дефицит тепловой мощности ТЭБ, который потенциально может быть покрыт за счет аккумуляирования тепла.

При «теплой» погоде – это работа двумя энергоблоками: 100 МВт и 300 МВт, а при «холодной» – всеми тремя. В других возникающих на практике случаях дефицит тепловой мощности либо отсутствует, либо настолько велик, что превышает потенциальную емкость ТАУ и требует розжига горелок ПВК.

В табл. 3 приведены величины нагрузки ТЭЦ и тепловой мощности ТЭБ для каждого из выделенных временных интервалов. Здесь:

$$\bar{Q}_{\text{бл}} = \sum_i \bar{Q}_i \quad (2)$$

$$\Delta Q_j = Q_{ТЭЦ} - \bar{Q}_{\text{бл},j} \quad (3)$$

$$\Delta Q_j^{\text{ннт}} = \Delta Q_j l_j, \quad (4)$$

где  $\bar{Q}_{\text{бл}}$  – максимальная общая тепловая мощность работающих энергоблоков;  $\Delta Q_j$  – избыток или дефицит тепловой мощности работающих энергоблоков на  $j$ -м временном интервале;  $\Delta Q_j^{\text{ннт}}$  – избыток или дефицит тепловой энергии, вырабатываемой работающими энергоблоками за  $j$ -й временной интервал;  $l_j$  – длительность  $j$ -го временного интервала.

Отрицательное значение  $\Delta Q_j$  или  $\Delta Q_j^{\text{ннт}}$  обозначает дефицит тепловой мощности ТЭБ или вырабатываемой ими энергии.

Как видно из табл. 3 на стр. 54, на временном интервале 4 возникает дефицит тепловой мощности ТЭБ в 75–80 Гкал, а на интервалах 1, 2 и 3 имеется избыток тепловой мощности, который может быть использован для заряда аккумулятора. Возможность заряда аккумулятора на интервале 1 является наиболее привлекательной, однако из-за длительной паузы до начала периода разряда этот вариант связан с большими потерями тепла через стенки мазутных баков. Наиболее эффективным является заряд аккумулятора на интервалах 2 и 3, примыкающих к интервалу разряда 4. Благодаря действию АНСТПТ-2, обеспечивающего максимальный за сутки избыток тепловой мощности на

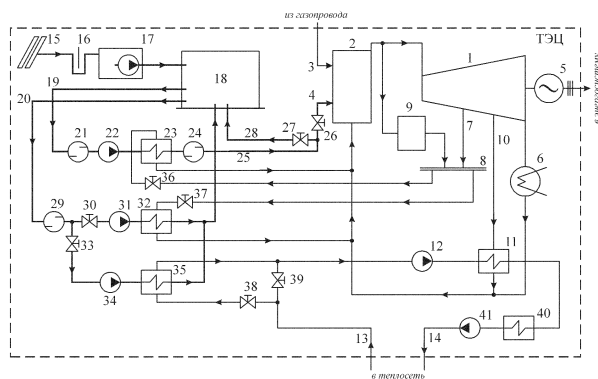
Таблиця 3. Распределение нагрузки ТЭЦ по временным интервалам суток

Энергоблоки в работе	Номер временного интервала, $j$	Длительность интервала $l_j$ , ч	$P_{тэцj}$ , МВт	$Q_{тэцj}$ , Гкал/ч	$\overline{Q}_{бл,j}$ , Гкал/ч	$\Delta Q_j$ , Гкал/ч	$\Delta Q_j^{инт}$ , Гкал/сут
«теплая» погода							
1,3/2,3	1	15	375	400	460	60	900
	2	3	375	280	460	180	540
	3	3	220	280	325	45	135
	4	3	220	400	325	-75	-225
«холодная» погода							
1,2,3	1	15	485	500	600	100	1500
	2	3	485	380	600	220	660
	3	3	280	380	420	40	120
	4	3	280	500	420	-80	-240

интервале 2, этот вариант вполне возможен. Дальнейшие исследования должны показать, какое оборудование необходимо для создания ТАУ требуемой мощности.

### Теплоаккумуляционная установка

На рис. 3 представлена принципиальная схема газомазутной ТЭЦ, мазутное хозяйство которой используется для аккумуляции тепла.



- |   |   |
|---|---|
| 1 – турбина   | 17 – приемная емкость с перекачивающим насосом          |
| 2 – паровой котел                                       | 18 – мазутный бак                                       |
| 3 – топливный газопровод                                | 19 – подающий мазутопровод основной мазутной магистрали |
| 4 – топливный мазутопровод                              | 20 – мазутопровод системы рециркуляционного подогрева   |
| 5 – генератор   | 21, 29 – фильтр грубой очистки                          |
| 6 – конденсатор   | 22, 31, 34 – мазутный насос                             |
| 7 – отборы 1,2 ступеней и промежуточного перегрева пара | 23 – основной подогреватель мазута                      |
| 8 – общестанционный коллектор собственных нужд          | 24 – фильтр тонкой очистки                              |
| 9 – редуциционно-охлажденная установка                  | 25 – основная мазутная магистраль                       |
| 10 – теплофикационные отборы                            | 26, 27, 30, 33, 36, 37, 38, 39 – вентили                |
| 11 – сетевой подогреватель                              | 28 – мазутопровод рециркуляции с главного корпуса       |
| 12, 41 – сетевой насос                                  | 32 – рециркуляционный подогреватель мазута              |
| 13 – обратная тепловая магистраль                       | 35 – разрядный теплообменник                            |
| 14 – прямая тепловая магистраль                         | 40 – пиковый водогрейный котел                          |
| 15 – сливная эстакада для цистерн                       |   |
| 16 – гидрозатвор  |   |

Рис. 3. Принципиальная схема ТЭЦ с ТАУ на базе мазутного бака

Основным элементом мазутного хозяйства, подвергающимся модификации, является система рециркуляционного подогрева мазута, включающая мазутопровод 20, мазутный насос (или их группу) 31, рециркуляционный подогреватель мазута (или их группу) 32. Производительность мазутных насосов и подогревателей должна быть увеличена для обеспечения теплового заряда бака-аккумулятора. Параллельно подогревателям должна быть дополнительно установлена группа мазутных насосов 34 и разрядных теплообменников 35. Модификации подвергается также система трубопроводов приемного коллектора ТЭЦ. К разрядным теплообменникам должно быть подведено ответвление обратной тепловой магистрали 13 до ее входа в главный корпус и подачи сетевой воды на сетевые подогреватели.

### Тепловая емкость аккумулятора

Количество тепла, которое необходимо аккумулялировать в мазутном баке,  $Q_A$ , Дж, равно сумме абсолютного значения дефицита на интервале 4 и потерь тепла за время хранения мазута в баке:

$$Q_A = \left| \Delta Q_4^{инт} \right| + Q_{пот}, \quad (5)$$

где  $Q_{пот}$  – теплопотери, возникающие при хранении мазута в баке, Дж.

Рассмотрим мазутный бак, полностью наполненный мазутом марки М-100 [6]. Как указано выше, емкость бака составляет 20 тыс. м<sup>3</sup>. Принимая плотность мазута М-100  $\rho_M = 980$  кг/м<sup>3</sup>, можно оценить, что масса мазута в баке составляет  $m_M = 19,6 \cdot 10^6$  кг.

Максимально допустимую температуру мазута в баке  $\overline{T}_{мб}$  зададим равной 90°C. Это выше, чем нормативная температура хранения мазута в расходном баке, однако такая температура хранения является допустимой. Как покажут даль-

нейшие расчеты, эффективность разрядных теплообменников ТАУ будет тем выше, чем больше значение  $\bar{T}_{мб}$ . Однако эта величина ограничена, во-первых, температурой вспышки мазута (для М-100 – 110°C), а во-вторых, температурой кипения содержащейся в нем воды. Из соображений безопасности, чтобы не допустить активного парообразования в баке, температура мазута не должна превышать 100°C. В качестве минимально допустимой выберем нижнюю температуру хранения мазута в расходном баке,  $\underline{T}_{мб} = 60^\circ\text{C}$ .

Задавшись  $\bar{T}_{мб}$ , определим максимально возможные теплотери  $Q_{пот}$ , Дж, при хранении мазута в баке, по формуле:

$$Q_{пот} = F_{мб} K_{мб} (\bar{T}_{мб} - T_n) \cdot 3600 t_{xp}, \quad (6)$$

где  $F_{мб}$  – площадь поверхности охлаждения мазутного бака, м<sup>2</sup>;  $K_{мб}$  – коэффициент теплопередачи мазутного бака, Вт/(м<sup>2</sup>×°C);  $t_{xp}$  – время хранения мазута в баке, ч.

Коэффициент теплопередачи от мазута в баке в окружающую среду рассчитаем по следующей формуле:

$$K_{мб} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_m} + \frac{\delta_{oc}}{\lambda_{oc}} + \frac{\delta_{ок}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_{вз}}}, \quad (7)$$

где  $\alpha_m$  – коэффициент теплоотдачи мазута;  $\alpha_{вз}$  – коэффициент теплоотдачи воздуху;  $\lambda_{oc}$  – коэффициент теплопроводности загрязнений нефтепродуктов;  $\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности стали;  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляции;  $\delta_{oc}$  – толщина слоя загрязнений нефтепродуктов на стенках бака;  $\delta_{ок}$  – толщина стенок бака;  $\delta_{из}$  – толщина слоя теплоизоляции.

Принимая  $\alpha_m = 1500$  Вт/(м<sup>2</sup>×°C),  $\alpha_{вз} = 10$  Вт/(м<sup>2</sup>×°C),  $\lambda_{oc} = 0,3$  Вт/(м×°C),  $\lambda_{ст} = 45,4$  Вт/(м×°C),  $\lambda_{из} = 0,09$  Вт/(м×°C),  $\delta_{oc} = 0,05$  м,  $\delta_{ок} = 0,005$  м и  $\delta_{из} = 0,05$  м, получим  $K_{мб} = 1,215$  Вт/(м<sup>2</sup>×°C).

Для нашего оценочного расчета определим время хранения мазута  $t_x$  как сумму максимально возможного времени заряда и разряда бака-аккумулятора, т.е. длительности временных интервалов 2, 3 и 4,  $t_x = 9$  ч.

Площадь поверхности охлаждения мазутного бака для расчета зададим равной  $F_{мб} = 3500$  м<sup>2</sup>. Это, в среднем, соответствует установленным на ХарТЭЦ-5 мазутному баку высотой  $H_{мб} = 12$  м и диаметром  $D_{мб} = 45,5$  м, и бакам с размерами  $H_{мб} = 18$  м,  $D_{мб} = 40$  м.

В случае «теплой» погоды  $T_n = 0^\circ\text{C}$ . Тогда  $Q_{пот} = 12,4 \cdot 10^9$  Дж или 3 Гкал. Эти потери соответствуют остыванию полностью заполненного

мазутного бака на 0,9°C за сутки и находятся на допустимом уровне, регламентируемом нормативной документацией.

Определив величину  $Q_{пот}$ , можно получить количество тепла, которое необходимо аккумулировать в мазутном баке,  $Q_A = 954,4 \cdot 10^9$  Дж или 228 Гкал.

Для проверки технической возможности накопления такого количества тепла рассчитаем требуемое изменение температуры мазута в баке  $\Delta T_{мб}$  и проверим выполнимость условия

$$\Delta T_{мб} \leq \bar{T}_{мб} - \underline{T}_{мб}. \quad (8)$$

Величину  $\Delta T_{мб}$ , °C, определим как

$$\Delta T_{мб} = \frac{Q_A}{c_m m_m}, \quad (9)$$

где  $m_m$  – масса мазута в баке, кг;  $c_m$  – теплоемкость мазута, Дж/(кг×°C).

Для расчета теплоемкости мазута воспользуемся формулой

$$c_m = 1738 + 2,5 \tilde{T}_m, \quad (10)$$

где  $\tilde{T}_m$  – средняя температура мазута, °C.

Принимая  $\tilde{T}_m = (\bar{T}_{мб} + \underline{T}_{мб})/2$ , получим  $c_m = 1925,5$  Дж/(кг×°C), а значит  $\Delta T_{мб} = 25,3^\circ\text{C}$ .

Выполняя аналогичные расчеты для «холодной» погоды при  $T_n = -15^\circ\text{C}$ , получим в этом случае  $Q_A = 1019,3 \cdot 10^9$  Дж или 243,5 Гкал, а  $\Delta T_{мб} = 27^\circ\text{C}$ .

Так как  $\bar{T}_{мб} - \underline{T}_{мб} = 30^\circ\text{C}$ , то в обоих случаях условие (8) выполняется, а значит, для аккумуляции требуемого количества тепла достаточно одного бака.

Использование мазутного бака в качестве аккумулятора требует увеличения температуры хранения мазута. Определим максимальную величину возникающего при этом прироста теплотери в мазутном баке  $\Delta Q_{пот}$ , Дж, по отношению к нормативным:

$$\Delta Q_{пот} = F_{мб} K_{мб} (\bar{T}_{мб} - T_{мб,н}) \cdot 3600 t_{xp}, \quad (11)$$

где  $T_{мб,н}$  – нормативная температура хранения мазута в расходном баке, равная в среднем, как было указано выше, 70°C.

Подставляя значения, получим, что для любого типа погоды  $\Delta Q_{пот} = 2,76 \cdot 10^9$  Дж или 0,7 Гкал.

### Заряд аккумулятора

Для теплового заряда мазутного бака-аккумулятора будем использовать, аналогично штатной системе рециркуляции мазута, паромазутные подогреватели, получающие пар из общестанционного коллектора собственных нужд. На

ХарТЭЦ-5 в качестве рециркуляционных используются подогреватели ПМ-10-120. Их производительности (120 т/ч) хватает для поддержания температуры мазута в баках, однако для заряда аккумулятора в течение максимум шесть часов ее недостаточно. Поэтому при расчетах ТАУ за основу возьмем подогреватель типа ПМР-13-400, являющийся наиболее мощным из модельного ряда, разработанного для энергетики. В табл. 4 приведены его основные характеристики.

Определим максимальную теплопроизводительность системы параллельно подключенных подогревателей, использующихся для теплового заряда мазутного бака-аккумулятора,  $\bar{Q}_{зар}$ , Вт, по следующей формуле:

$$\bar{Q}_{зар} = n_{зар} Q_{под}, \quad (12)$$

$$Q_{под} = c_m G_{мпд} (T_{м,вых} - T_{м,вх}), \quad (13)$$

где  $n_{зар}$  – количество подогревателей, использующихся для заряда;  $Q_{под}$  – номинальная теплопроизводительность одного подогревателя, Вт;  $G_{мпд}$  – расход мазута через подогреватель, кг/с;  $T_{м,вх}$ ,  $T_{м,вых}$  – температура мазута на входе и выходе из подогревателя, °С.

Используя (10), данные из табл. 4 и принимая среднюю температуру мазута равной

$$\tilde{T}_m = (T_{м,вх} + T_{м,вых})/2,$$

получим  $Q_{под} = 14,4 \cdot 10^6$  Вт или 12,4 Гкал/ч.

В соответствии с табл. 3 для данного типа погоды на временном интервале 3 избыток тепловой мощности энергоблоков ТЭЦ составляет  $\Delta Q_3 = 45$  Гкал/ч, а на интервале 2 –  $\Delta Q_2 = 180$  Гкал/ч. Исходя из этого, примем число подогревателей, использующихся для заряда аккумулятора, равным 4. Тогда  $\bar{Q}_{зар} = 57,6 \cdot 10^6$  Вт или 49,5 Гкал/ч.

Учитывая, что  $\Delta Q_3 \leq \bar{Q}_{зар} \leq \Delta Q_2$ , можно составить следующий график изменения текущей мощности заряда аккумулятора  $Q_{зар}$ :

$$Q_{зар} = \bar{Q}_{зар} \text{ на временном интервале 2,}$$

$$Q_{зар} = \Delta Q_3 \text{ на временном интервале 3.}$$

Тогда время заряда  $t_{зар}$ , ч, определится выражением:

$$t_{зар} = \frac{1}{3600} \left( l_3 + \frac{Q_A - \Delta Q_3 l_3}{\bar{Q}_{зар}} \right). \quad (14)$$

Таблица 4. Основные технические характеристики и размеры подогревателя мазута ПМР-13-400

Площадь поверхности нагрева, м <sup>2</sup>	Расход мазута, т/ч	Температура мазута, °С		Температура пара, °С	Давление мазута, МПа	Давление пара, МПа	Диаметр, мм	Длина, мм
		на входе	на выходе					
750	400	70	135	300	1,3	1,6	1832	5655

Отсюда,  $t_{зар} = 4,9$  ч. Так как  $l_2 + l_3 = 6$  ч, то  $t_{зар} < l_2 + l_3$ . Это означает, что четырех паромазутных подогревателей типа ПМР-13-400 достаточно для заряда аккумулятора.

В случае «холодной» погоды  $\Delta Q_3 = 40$  Гкал/ч, а  $\Delta Q_2 = 220$  Гкал/ч. Используя тот же график мощности заряда аккумулятора и количество подогревателей, получим  $t_{зар} = 5,5$  ч. То есть  $t_{зар} < l_2 + l_3$ , и четырех подогревателей также достаточно.

Чтобы избежать лишних бросков тепловой нагрузки ТЭБ, на практике заряд аккумулятора на временном интервале 2, следует производить с меньшей мощностью так, чтобы он занял полностью интервалы 2 и 3.

Рассчитаем количество  $n_{нз}$  насосов системы рециркуляции мазута, необходимое для заряда аккумулятора, по следующей формуле:

$$n_{нз} = \frac{n_{зар} G_{мпд}}{G_{нас}}, \quad (15)$$

где  $G_{нас}$  – производительность насоса системы рециркуляции, кг/с.

В мазутном хозяйстве ХарТЭЦ-5 используются рециркуляционные насосы перекачивания мазута типа НК-560/336-70, 20НА-22х3 производительностью 560–600 м<sup>3</sup>/ч и мощностью 130–160 кВт. Принимая  $G_{нас} = 152$  кг/с, можно оценить, что необходимое для заряда число насосов –  $n_{нз} = 3$ . Для сравнения, в штатной системе рециркуляции мазута ХарТЭЦ-5 установлены два таких насоса, работающих попеременно.

### Разряд аккумулятора

Теперь рассмотрим цикл разряда аккумулятора, происходящий на временном интервале 4, и определим необходимые параметры разрядных теплообменников.

В качестве разрядных теплообменников будем использовать кожухотрубчатые водомазутные подогреватели с лагунными трубками. Конструктивно такие подогреватели аналогичны паромазутным: мазут циркулирует по трубкам, но в межтрубное пространство подается вода. Однако, несмотря на схожесть, такие подогреватели не были распространены в энергетической отрасли СССР. Сейчас ситуация изменилась, и, например, НПО ЦКТИ (РФ) разработало и успешно освоило в

производстве водомазутные подогреватели для отопительных котельных. Они рассчитаны на разогрев мазута марки М-100 от 60°C до 95°C с помощью сетевой воды, и могут выпускаться в модификациях, обладающих характеристиками, аналогичными ряду подогревателей ПМ, ПМР [7]. Для нагрева воды мазутом можно использовать и пластинчатые теплообменники, имеющие меньшие размеры при большей производительности, однако специалисты отечественной энергетики все еще считают их обслуживание и ремонт слишком сложными, а опыт эксплуатации недостаточным для установки в узловом элементе СЦТ.

За основу разрядного теплообменника примем тот же подогреватель ПМР-13-400, расход мазута в котором и давление сред соответствуют режиму теплосети и скорости разряда аккумулятора. Расчет параметров и количества теплообменников будем проводить исходя из того, что они подключены параллельно друг другу по сетевой воде и по мазуту. Мощность разряда аккумулятора регулируется ступенчато путем отключения части теплообменников от подачи мазута и воды. Более точная регулировка осуществляется изменением расхода сетевой воды через включенные теплообменники. Расход мазута через включенные теплообменники поддерживается насосной системой на нормативном уровне.

Площадь поверхности нагрева разрядного теплообменника  $F_{\text{пр}}$ , м<sup>2</sup>, определим по формуле:

$$F_{\text{пр}} = \frac{|\Delta Q_4|}{kK_{\text{вм}}\Delta T_{\text{ср}}}, \quad (16)$$

где  $k$  – количество включенных разрядных теплообменников;  $K_{\text{вм}}$  – коэффициент теплопередачи разрядного теплообменника, Вт/(м<sup>2</sup>×°С);  $\Delta T_{\text{ср}}$  – средняя разность температур мазута и сетевой воды, °С.

Коэффициент теплопередачи разрядного теплообменника определим как:

$$K_{\text{вм}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вд}}} + \frac{\delta_{\text{тр}}}{\lambda_{\text{л}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{м}}}}, \quad (17)$$

где  $\alpha_{\text{вд}}$  – коэффициенты теплоотдачи воды;  $\alpha_{\text{м}}$  – коэффициенты теплоотдачи мазута,  $\lambda_{\text{л}}$  – коэффициент теплопроводности латуни;  $\delta_{\text{тр}}$  – толщина стенок труб.

Принимая  $\alpha_{\text{вд}} = 5000$  Вт/(м<sup>2</sup>×°С),  $\alpha_{\text{м}} = 1500$  Вт/(м<sup>2</sup>×°С),  $\lambda_{\text{л}} = 85,5$  Вт/(м×°С), и  $\delta_{\text{тр}} = 0,002$  м, получим  $K_{\text{вм}} = 1123,5$  Вт/(м<sup>2</sup> °С).

Для рассматриваемого типа противоточных теплообменников средняя разность температур

греющей и нагреваемой среды определяется по логарифмической формуле:

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{(T_{\text{м,вх}} - T_{\text{в,вых}}) - (T_{\text{м,вых}} - T_{\text{в,вх}})}{\ln \frac{T_{\text{м,вх}} - T_{\text{в,вых}}}{T_{\text{м,вых}} - T_{\text{в,вх}}}}, \quad (18)$$

где  $T_{\text{м,вх}}$ ,  $T_{\text{м,вых}}$  – температура мазута на входе и выходе из теплообменника, °С;  $T_{\text{в,вх}}$ ,  $T_{\text{в,вых}}$  – температура сетевой воды на входе и выходе из теплообменника, °С.

Значения  $T_{\text{в,вх}}$  равны температуре обратной сетевой воды на приемном коллекторе ТЭЦ:

$$T_{\text{в,вх}} = \tau_2 \quad (19)$$

Температура сетевой воды, прошедшей через включенные разрядные теплообменники  $T_{\text{в,вых}}$ , должна быть такой, чтобы после ее смешения с частью, обошедшей теплообменники, температура обратной сетевой воды перед сетевыми подогревателями ТЭБ увеличилась на величину ожидаемого «недогрева» из-за дефицита тепловой мощности. Отсюда получаем:

$$T_{\text{в,вых}} = \tau_2 + \frac{|\Delta Q_4|}{c_{\text{в}} G_{\text{в}} n_{\text{раз}} k}; \quad (20)$$

где  $c_{\text{в}}$  – теплоемкость воды, 4186,8 Дж/(кг×°С);  $G_{\text{в}}$  – расход сетевой воды, кг/с;  $n_{\text{раз}}$  – количество установленных разрядных теплообменников.

Часовой расход сетевой воды  $G_{\text{в}}$  на ХарТЭЦ-5 в отопительном сезоне 2006-2007 гг. составлял в среднем 11 тыс. т/ч.

Температура мазута на входе в теплообменник равна температуре мазута в заряженном аккумуляторе  $T_{\text{мб,зар}}$ , а температура мазута на выходе должна быть такой, чтобы в конце цикла разряда средняя температура мазута в баке равнялась заданной  $T_{\text{мб,раз}}$ .

Задавшись некоторым значением  $T_{\text{мб,раз}}$ , можно получить следующие формулы:

$$T_{\text{м,вх}} = T_{\text{мб,зар}}; \quad (21)$$

$$T_{\text{м,вых}} = T_{\text{мб,зар}} - \Delta T_{\text{м}}; \quad (22)$$

$$T_{\text{мб,зар}} = T_{\text{мб,раз}} + \Delta T_{\text{мб}} - \Delta T_{\text{пот}}; \quad (23)$$

$$\Delta T_{\text{м}} = \frac{|\Delta Q_4|}{c_{\text{м}} k G_{\text{мрт}}}, \quad (24)$$

$$\Delta T_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{пот}}}{c_{\text{м}} m_{\text{м}}}, \quad (25)$$



где  $\Delta T_M$  – падение температуры мазута на разрядном теплообменнике;  $\Delta T_{\text{пот}}$  – снижение температуры мазута в баке вследствие тепловых потерь за время хранения;  $G_{\text{мрт}}$  – расход мазута через разрядный теплообменник, кг/с.

Теплоемкость мазута  $c_m$  берется такой же, что и при расчете (9), а  $G_{\text{мрт}}$  по табл. 4.

Величину температуры мазута в разряженном баке-аккумуляторе  $T_{\text{мб,раз}}$  необходимо выбирать такой, чтобы выполнялось следующее условие:

$$\underline{T}_{\text{мб}} \leq T_{\text{мб,раз}} < T_{\text{мб,зар}} \leq \bar{T}_{\text{мб}}. \quad (26)$$

Принимая во внимание время разряда  $t_{\text{раз}} = 3$  ч, величину  $G_{\text{мрт}}$  и рекомендуемые скорости движения сред в теплообменнике, путем подбора выберем общее число разрядных теплообменников  $n_{\text{раз}}$  равным 16.

Тогда для «теплой» погоды, приняв  $T_{\text{мб,раз}} = 60^\circ\text{C}$ , и  $k=13$ , получим  $T_{\text{мб,зар}} = 85^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{м,вых}} = 53,6^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{в,вых}} = 53,4^\circ\text{C}$ , а площадь поверхности нагрева каждого теплообменника  $F_{\text{рт}}$  равна  $338 \text{ м}^2$ .

Здесь обращает на себя внимание величина температуры мазута после теплообменника  $T_{\text{м,вых}}$ . Она на  $6,4^\circ\text{C}$  ниже нормативной  $\underline{T}_{\text{мб}}$  для расходного бака, но превышает среднюю температуру хранения мазута в резервных баках, т.е. является допустимой для работы системы рециркуляции мазута. И хотя после перемешивания с оставшейся в баке разогретой частью средняя температура мазута будет равна  $\underline{T}_{\text{мб}}$ , увеличение его густоты на выходе из теплообменника приводит к росту нагрузки на механическую часть насосов. Тем не менее, учитывая, что длительность работы насосов составляет лишь три часа в сутки, такую температуру  $T_{\text{м,вых}}$  можно считать допустимой.

В случае «холодной» погоды  $T_{\text{мб,раз}}$  принимаем равной  $63^\circ\text{C}$ , а  $k=16$ , т.е. при разряде задействуются все теплообменники. Тогда  $T_{\text{мб,зар}} = 89,6^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{м,вых}} = 62,5^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{в,вых}} = 62,3^\circ\text{C}$ . Площадь поверхности нагрева теплообменника  $F_{\text{рт}}$  в этом случае также равна  $338 \text{ м}^2$ .

При промежуточных нагрузках на аккумулятор также можно подобрать значения  $T_{\text{мб,раз}}$  и  $k$ , обеспечивающие необходимую мощность разряда при  $F_{\text{рт}} = 338 \text{ м}^2$ . Эту площадь поверх-

ности нагрева зададим расчетной при проектировании теплообменника. Она в 2,2 раза меньше, чем у принятого за основу подогревателя ПМР-13-400. Так как расход мазута через внутренние трубки, а значит и их количество, остались неизменными, для сокращения площади поверхности нагрева можно, например, пропорционально уменьшить длину трубок и корпуса теплообменника. То есть такой разрядный теплообменник вполне реализуем.

Максимальное количество насосов системы рециркуляции мазута через разрядные теплообменники  $n_{\text{нр}}$  рассчитаем по формуле:

$$n_{\text{нр}} = \frac{n_{\text{раз}} G_{\text{мрт}}}{G_{\text{нас}}}. \quad (27)$$

Используя те же параметры мазутных насосов, что и в (15), получим  $n_{\text{нр}} = 12$  насосов. Такое количество насосов необходимо для разряда аккумулятора при «холодной» погоде, а при «теплой» из них будут задействованы только 10 штук.

В табл. 5 сведены вместе основные параметры предлагаемой ТАУ. Расчеты теплообменных аппаратов обычно включают несколько уточняющих итераций. Здесь описан только первый шаг, выполненный со множеством упрощений, но полученный запас времени заряда и сделанные в большую сторону округления позволяют считать, что уточняющий пересчет существенно не повлияет на полученные оценки.

На рис. 4 в обобщенном виде показаны точные графики тепловой мощности энергоблоков ТЭЦ  $Q_{\text{бл}}(h)$ , количества тепла, накопленного в аккумуляторе  $Q_{\text{ТАУ}}(h)$ , и циклы работы ТАУ. Как видно, работа ТАУ не приводит к увеличению тепловой нагрузки ТЭБ выше уровня дневного времени суток и делает график нагрузки более равномерным, компенсируя влияние АНСТПТ-2. Также видно, что мазутное хозяйство ТЭЦ используется для нужд аккумуляции тепла только на протяжении девяти часов в сутки, а остальное время оно работает в обычном режиме хранения и рециркуляции мазута. Это дает достаточный запас времени для проведения его технологического обслуживания или, в случае необходимо-

Таблица 5. Основные параметры теплоаккумуляционной установки

Емкость, ГДж(Гкал)	Температура мазута, °C		Длительность, ч		Расход мазута, тыс. т/ч		Количество подогревателей	
	заряженный	разряженный	заряда	разряда	заряд	разряд	заряд	разряд
1132 (270)	85-90	60-63	5-6	3	1,6	5,2-6,4	4	13-16

сти, ремонту. С другой стороны, перерыв в 15 часов между циклами разряда и заряда не позволит мазуту в баке остыть более чем на 1°C, что легко компенсируется нагревом мазута в основных подогревателях, следовательно, рециркуляционный подогрев не будет включаться вообще.

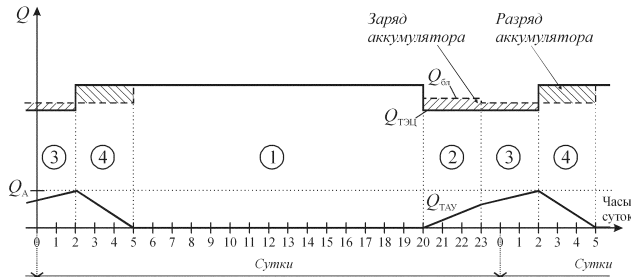


Рис. 4. Обобщенные суточные графики тепловой мощности энергоблоков, ТЭС и тепловой энергии, накопленной в аккумуляторе

### Оценка экономического эффекта

Рассмотрим в первом приближении, какие затраты потребуются для создания ТАУ на базе мазутного бака, и какая экономия топлива может быть получена при ее эксплуатации.

Как было показано выше, использование мазутного бака в качестве аккумулятора тепла требует установки четырех дополнительных зарядных подогревателей мазута (или замены на них существующих рециркуляционных), а также 16-разрядных теплообменников. В настоящее время на площадке перед мазутными баками ХарТЭС-5 площадью около 100 м<sup>2</sup> размещены 9 подогревателей мазута ПМ-10-120 и необходимая для них инфраструктура. Учитывая, что дополнительные подогреватели и теплообменники, соответственно, в два и четыре раза короче используемых, их установка потребует максимум удвоения этой территории. Это не вызывает затруднений при текущей планировке промплощадки ХарТЭС-5.

Для обеспечения функционирования ТАУ также требуется установка дополнительных мазутных насосов: 3 – для заряда аккумулятора (или добавление еще одного к двум существующим) и 12 – для разряда аккумулятора. Это может потребовать расширения помещения насосной станции мазутного хозяйства и установки дополнительных фильтров грубой очистки мазута.

В настоящее время стоимость мазутного (нефтяного) насоса требуемой производительности составляет около 75 тыс. грн., а паро- и водомазутного подогревателя от 75 до 100 тыс. грн. Отталкиваясь от этих цифр, общую стои-

мость создания ТАУ можно оценить примерно в 3 млн. грн.

Для оценки потенциала экономии топлива при использовании ТАУ примем, что удельные расходы условного топлива при производстве тепловой энергии на ПВК,  $b_{\text{ПВК}}$ , и при отборе пара с коллектора собственных нужд,  $b_{\text{СН}}$ , примерно равны и составляют около 160 кг/Гкал. Удельный расход условного топлива при производстве электрической энергии на энергоблоках ТЭС,  $b_3$ , примем равным 250 кг/МВтч.

При работе ПВК на газе или нахождении в резерве по его мазутному кольцу постоянно осуществляется циркуляция мазута с расходом  $G_{\text{ПВК}}$  до 15 т/ч. Кроме того, при работе ПВК для отведения дымовых газов включаются дымососы (на ХарТЭС-5 увеличивается производительность дымососов основной дымовой трубы). Поэтому суточный расход топлива  $V_{\text{ПВК}}$  на ПВК при покрытии дефицита мощности ТЭБ на временном интервале 4 оценим как сумму затрат на, собственно, производство тепла, на работу дымососов, на компенсацию тепловых потерь в системе рециркуляции мазута и на перекачку по ней мазута:

$$V_{\text{ПВК}} = b_{\text{ПВК}} \left| \Delta Q_4^{\text{инт}} \right| + l_4 b_3 P_{\text{дс}} + 24 b_{\text{СН}} c_m G_{\text{ПВК}} \Delta T_{\text{мп}} + 24 b_3 P_{\text{мр}}, \quad (28)$$

где  $P_{\text{дс}}$  – электрическая мощность дымососа, равная 700 кВт;  $\Delta T_{\text{мп}}$  – потери тепла при циркуляции в мазутном кольце ПВК,  $\approx 10^\circ\text{C}$ ;  $P_{\text{мр}}$  – общая электрическая мощность мазутных насосов 1-го и 2-го подъема мазутного кольца ПВК, равная 370 кВт.

Таким образом, при «теплой» погоде  $V_{\text{ПВК}} = 39$  тут/сут., а при «холодной»  $V_{\text{ПВК}} = 41,4$  тут/сут.

В то же время, с учетом возросших теплотерь при хранении мазута в баке, а также затрат на его перекачку через подогреватели и теплообменники, суточный расход топлива  $V_A$  при покрытии дефицита мощности с помощью ТАУ равен

$$V_A = b_{\text{СН}} \left( \left| \Delta Q_4^{\text{инт}} \right| + \Delta Q_{\text{пот}} \right) + b_3 (n_{\text{нз}} t_{\text{зар}} + n_{\text{нр}} t_{\text{раз}}) P_{\text{н}}, \quad (29)$$

где  $P_{\text{н}}$  – мощность насоса системы рециркуляции мазута, равная 130 кВт.

Отсюда, при «теплой» погоде  $V_A = 37,6$  тут/сут., а при «холодной»  $V_A = 40,2$  тут/сут.

Как видно, суточная экономия топлива при отказе от розжига ПВК и использовании ТАУ  $\Delta V = V_{\text{ПВК}} - V_A$  составляет 1,2–1,4 тут/сут. При цене условного топлива порядка 1000 грн./тут, общая экономия за отопительный сезон может составить 215–260 тыс. грн. Срок окупаемости такой установки – около 12–15 лет, что находится на

типичном уровне для основных производственных фондов энергетики.

Экономический эффект от внедрения ТАУ может быть оценен еще выше, если учесть, что при ее использовании минимизируется число пусков и профилактик поверхностей нагрева ПВК, которые являются достаточно затратными процедурами.

Стоимость ТАУ может быть снижена при использовании для накопления тепла мазутного бака, заполненного тонкодисперсной водомазутной эмульсией, образующейся при очистке замазученных вод мазутной канализации ХарТЭЦ-5 [8]. Эта смесь также может быть использована в качестве резервного топлива, однако ее теплоемкость выше, чем у чистого мазута. Как следствие, при том же перепаде температур для аккумуляирования требуется меньший объем и расход рабочей среды, а значит, сокращается и требуемое количество теплообменников и насосов.

### Заключение

Приведенные расчеты технико-экономических характеристик теплоаккумуляционной установки на базе мазутных баков показывают ее реализуемость и целесообразность. Оценивая параметры схемы, рассчитанной с учетом управления отпуском тепла по алгоритму ночного снижения температуры прямого теплоносителя, можно прийти к выводу, что она применима и при традиционной практике равномерного отпуска тепла по ПТГ. Однако в этом случае потребуются уже два мазутных бака-аккумулятора, и их заряд будет длиться на протяжении почти всего доступного времени суток: 17–18 ч.

Несомненно, данная работа не может претендовать на исчерпывающее обоснование такого технического проекта. Здесь не рассмотрены все возможные сложности и риски, возникающие при эксплуатации ТАУ, а список их достаточно велик. Среди них и низкая надежность запорной аппаратуры магистральных теплопроводов, и риск замазучивания теплосети при порыве трубок разрядного теплообменника. Тем не менее, все эти проблемы вполне разрешимы при должном уровне обслуживания и модернизации оборудования.

Как и многие другие технические решения, направленные на повышение эффективности энергопроизводства, теплоаккумуляционная установка может оказаться даже более сложным и требовательным элементом ТЭЦ, чем основное производственное оборудование. И это лишний раз подтверждает правило, что высокая эффективность производства, снижающая стоимость продукции для потребителя, всегда дорого обходится производителю.

Несмотря ни на что, период борьбы за простое выживание для предприятий энергетики постепенно подходит к концу. Острый дефицит пиковой мощности в ОЭС Украины, стремление государства экспортировать электроэнергию в соседние страны, риск быть вытесненными с региональных рынков тепла – все это неизбежно заставляет ТЭЦ модернизироваться. И среди разнообразных инвестиционных проектов строительства ПГУ и ГТУ, теплоаккумуляционные установки являются не менее важным способом дать теплофикации новые перспективы.

1. Balling L., Hofmann D. Fast cycling towards bigger profits // *Modern Power Systems*. – 2007. – Vol. 27, № 6. – P. 24–29.

2. Aagaard J., Petersen M. K. Heat accumulators // *Danish Board of District Heating. News from DBDH*. – 2004. – № 1. – P. 4–7.

3. Вороновський Г.К. Сучасна теплова електрична станція. – Харків: ХДАМГ, 1997. – 152 с.

4. Вороновський Г.К., Махотило К.В., Сергеев С.А. Энергоэкономичное управление состоянием теплосети в крупных системах централизованного теплоснабжения // *Технічна електродинаміка*. – Київ: Інститут електродинаміки НАНУ. – 2006. – Темат. вип. Проблеми сучасної електротехніки, Ч. 1. – С. 129–135.

5. Вороновський Г.К., Орловський І.В., Стенников В.Н., Сергеев С.А., Махотило К.В. О совместимости преимуществ крупного комбинированного производства электроэнергии и тепла с рыночной экономикой (опыт Харьковской ТЭЦ-5) // *Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сб. науч. тр. / Отв. ред.: Н.И. Воронай, Г.К. Вороновский*. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН. Вып. 57: Задачи надежности систем энергетики для субъектов отношений в энергетических рынках. – К.: Знання України. – 2007. – С. 126–156.

6. ГОСТ 10585-99. Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия. Межгосударственный стандарт. – Взамен ГОСТ 10585-75; Принят 28.05.1999. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.

7. Официальный сайт НПО ЦКТИ [Электронный ресурс] / НПО ЦКТИ. – Санкт-Петербург, Россия, 2007. – <http://www.ckti.ru>.

8. Вороновський Г.К. Экологические аспекты энергетики. – Харьков: Институт системных исследований в энергетике, 2003. – 256 с.