

ПОТЕНЦИАЛ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЦЕХА ХИМВОДООЧИСТКИ ХАРЬКОВСКОЙ ТЭЦ-5

Вороновский Г.К., д.т.н., Покалицын С.Н., к.т.н., Орловский И.В.
 ОАО "Харьковская ТЭЦ-5"
 Украина, 62371, Харьковская обл., Дергачевский р-н, пос. Подворки
 тел. (0572) 20-50-50

Досліджено закономірності формування значень витрати електричної енергії цехом хімводоочистки Харківської ТЭЦ-5 і обґрунтовані енергозберігаючі заходи, що дозволяють зменшити річну витрату електроенергії на власні потреби ТЭЦ на 1400 тис. кВтч.

Исследованы закономерности формирования значений расхода электрической энергии цехом химводоочистки Харьковской ТЭЦ-5 и обоснованы энергосберегающие мероприятия, позволяющие уменьшить годовой расход электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ на 1400 тыс. кВтч.

Цех химводоочистки (ХВО) – структурное подразделение предприятия с высоким потреблением электрической энергии, сжатого воздуха и воды. Другой особенностью названного структурного подразделения ТЭЦ-5 является наличие собственного товарного продукта – подпиточной (умягченной) воды для покрытия текущих потерь теплоносителя в системе отопления города.

Целью настоящей работы являлось оценка потенциала энергосбережения цеха ХВО и разработка мероприятий по снижению расхода электроэнергии на собственные нужды.

Относительная технологическая независимость ХВО позволяет рассматривать ХВО Харьковской ТЭЦ-5 как самостоятельное энергоемкое структурное подразделение с собственным производством. При этом, разумеется, далеко не безразличны затраты, в том числе и энергетические, которыми сопровождается производство товара необходимого количества и заданного качества, потребность в котором, как будет показано ниже, возрастает.

График изменения расходов воды для подпитки тепловой сети города в течение 2002 – 2004 гг. показан на рис. 1.

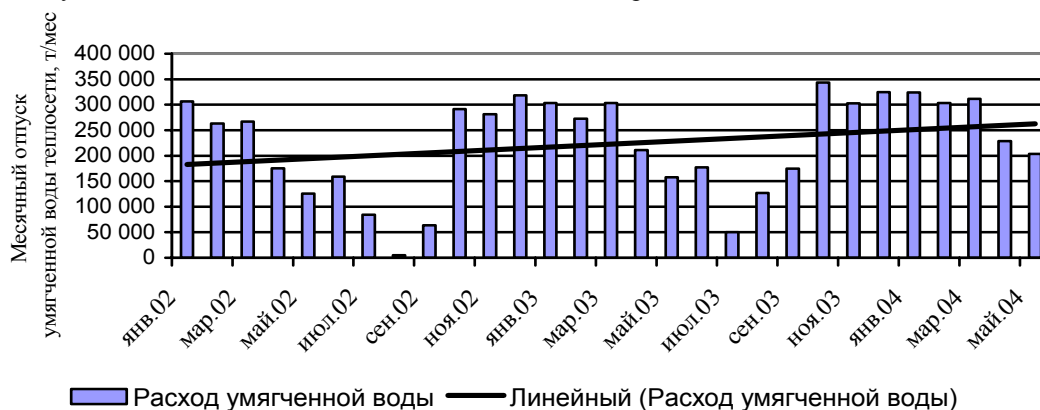


Рис 1. Изменение расхода умягченной воды в 2002 – 2004 гг

Как следует из рис. 1, изменение расхода воды для подпитки тепловой сети носит сезонный характер. Наблюдаются резкие снижения расходов (до семи кратного уменьшения по сравнению с зимним максимумом) в период весенних и осенних ремонтов.

Отдельно следует отметить, показанный линией тренда, рост среднего значения месячной подпитки в течение 2002 - 2004 гг. на 80 тыс. тонн. За счет увеличения месячной подпитки теплосети рост продаж подпиточной воды за 2002 -2004 гг для теплосети составил 44%.

Структура затрат ХВО на энергоносители при действующих значениях тарифов (май 2004 г.) показана на рис. 2.

В структуру затрат ХВО на энергоносители (см. рис. 2) не включена стоимость теплоэнергии. Это свя-

зано с тем, что данная энергия, в случае не использования ее цехом ХВО, будет сбрасываться через градирни в окружающую среду.

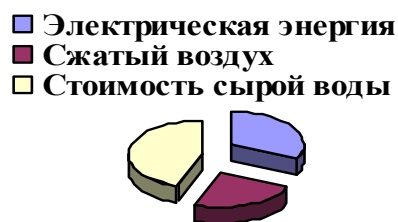


Рис. 2. Структура затрат на энергоносители в мае 2004 года

Расход тепловой энергии на подогрев сырой воды, отмывку фильтров очистки замасоченных стоков и потери при охлаждении грязного конденсата перед

автономной обессоливающей установкой (АОУ) в мае 2004 года, по нашим оценкам, составил 9121 Гкал.

В структуре затрат на энергоносители ведущее место занимают расходы на электрическую энергию.

Они составляют 56% общих затрат ХВО на энергию и воду. Распределение расходов электрической энергии установками ХВО показано на диаграмме, приведенной на рис. 3.

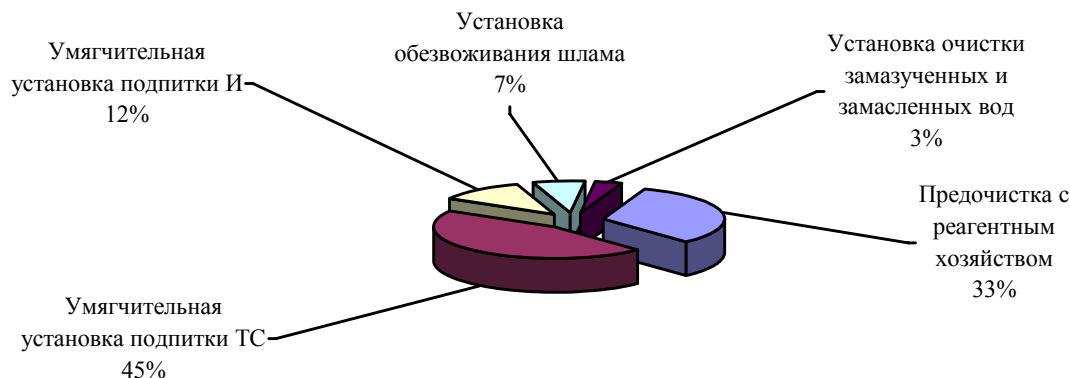


Рис. 3. Распределение расхода электроэнергии между установками ХВО (май 2004 г)

Среди статей расхода электрической энергии выделяется доля расхода электроэнергии, приходящаяся на получение сжатого воздуха высокого и низкого давления для технологических нужд ХВО (24% от общего расхода электроэнергии).

Основной вклад в формирование значения расхода электрической энергии по ХВО за любой период времени вносят мощные лопаточные машины – насосы для транспортировки воды и водных растворов. Среди них насосы умягченной воды (НУВ 1,2, 3, $P_{ном} = 160$ кВт) и насосы подпитки тепловой сети осветленной водой (НОВТ 1,2,3,4, $P_{ном} = 160$ кВт). Названные насосы относятся к агрегатам непрерывного действия.

Для технологических нужд ХВО используется также сжатый воздух низкого давления, источником которого являются нагнетатели воздушные центробежные НВЦ-1 и НВЦ-2 ($P_{ном} = 800$ кВт) с рабочим напряжением 6 кВ, получающие энергию от сборных шин КРУ 6 кВ. Нагнетатели используются эпизодически, однако высокое значение мощности, потребляемой нагнетателем из сети (540 кВт), обуславливает, соответственно, высокие значения расходов электроэнергии.

Формально источники сжатого воздуха низкого давления в зону ответственности ХВО не входят, а относятся к оборудованию котельно-турбинного цеха (КТЦ), однако весь расход сжатого воздуха низкого давления, а соответственно, и расход электрической энергии по ним, следует относить на ХВО.

Сжатый воздух высокого давления от компрессорных установок К-1 ($P_{ном} = 160$ кВт), К-2 и К-3 ($P_{ном} = 160$ кВт каждого) имеет двойное назначение и около 80% его подачи используется ХВО. В такой же пропорции, во-видимому, должен о разниться между ХВО и иными потребителями сжатого воздуха высокого давления расход электрической энергии, связанный с выработкой сжатого воздуха высокого давления.

Электроприемники ХВО получают электроэнергию от блоков ТЭЦ через следующие силовые трансформаторы 1000 кВА собственных нужд:

- 70Т (для резервного питания);
- 71Т, 72Т, (только для электроприемников ХВО);

- 73Т, 74Т, 75Т (для электроприемников ХВО совместно с источниками сжатого воздуха высокого давления).

Кроме этого электрическую энергию на напряжении 6 кВ потребляют для нужд ХВО от блоков станции центробежные нагнетатели воздуха (НВЦ №1,2).

На рис. 4 представлена зависимость месячного суммарного расхода электрической энергии по силовым трансформаторам собственных нужд 71Т, 72Т, 73Т, 74Т и 75Т от расхода умягченной воды (данные 2003 года). Из анализа зависимости исключены данные за февраль и июнь, где, как мы предполагаем, отклонение от общих закономерностей, вызвано ошибками учета электроэнергии.

Как следует из рассмотрения приведенной диаграммы (см. рис. 4), существует тесная корреляционная зависимость [1] (коэффициент корреляции $R^2 = 0,8493$) между расходом электрической энергии и объемом основного продукта ХВО - осветленной воды для подпитки тепловой сети и испарителей. Эта связь, по результатам обработки данных за 2003 г. (см. рис. 4), описывается регрессионным уравнением (1):

$$Y = 0,9199 \cdot X + 170305, \quad (1)$$

где Y – месячный расход электроэнергии по силовым трансформаторам 70Т – 75Т, кВтч; X – объем поданной потребителям осветленной воды, м³; 0,9199 – коэффициент переменной составляющей месячного расхода электроэнергии, показывающий "энергетическую стоимость" прироста производства осветленной воды на каждую тонну в исследуемом диапазоне производительности ХВО; 170305 – постоянная составляющая месячного расхода электроэнергии, кВтч.

Очень высокое значение коэффициента корреляции для полученного уравнения регрессии ($R^2 = 0,8493$) косвенно свидетельствует о соблюдении технологической дисциплины, что исключает заметное влияние на месячный расход электроэнергии иных факторов, не связанных с выпуском продукции.

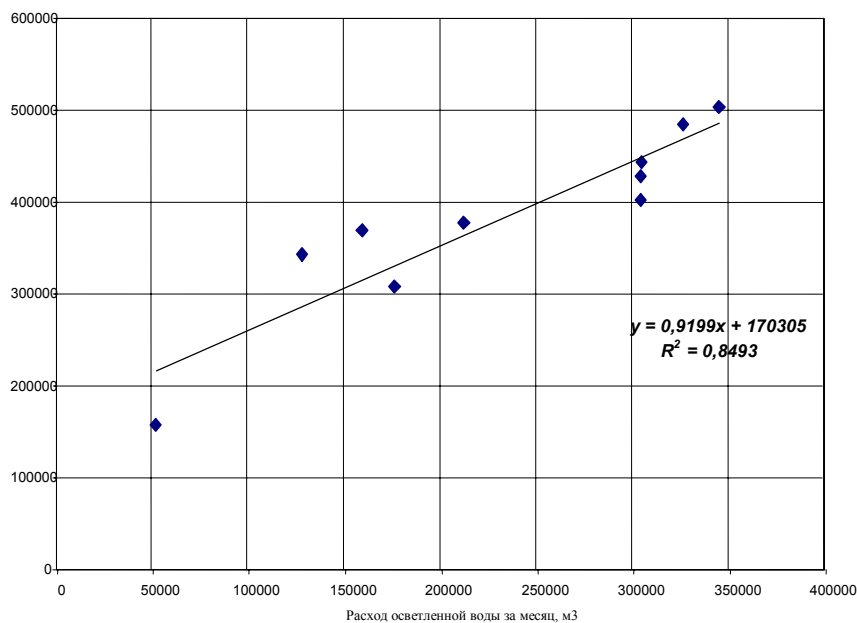


Рис. 4. Зависимость месячного расхода электроэнергии через трансформаторы 71Т- 75Т от расхода осветленной воды для подпитки тепловой сети (по данным 2003 года)

Постоянная составляющая месячного расхода достаточно велика. Так, при расчетном месячном расходе осветленной воды 200000 м^3 , доля постоянной составляющей в значении месячного расхода электроэнергии превышает 48% от общего расхода электроэнергии за месяц. Следует заметить, что, в этом случае и других подобных случаях, потенциал экономии электрической энергии, в основном, связан с уменьшением постоянной составляющей месячного расхода электрической энергии. При этом потенциал экономии электроэнергии, как известно, может быть реализован за счет повышения энергетической эффективности энергоемких агрегатов и уменьшения потерь энергии.

Приведенные выше данные об энергетической емкости электроприемников ХВО, позволяют утверждать, что уменьшение расхода электрической энергии может быть достигнуто за счет повышения энергетической эффективности мощных насосов ХВО и источников сжатого воздуха, а также за счет отключения мало-загруженных силовых трансформаторов.

В ХВО для транспортировки осветленной и умягченной воды используются мощные электрические насосы – насосы осветленной воды для подпитки тепловой сети НОВТ и насосы умягченной воды для подпитки испарителей НУВ, установленной мощностью по 160 кВт. Высокий расход электрической энергии на транспортировку жидкостей определяется мощностью, потребляемой из сети насосами НОВТ, НУВ, т.к. время их работы составляет все 8760 часов в году. Результаты измерения электрической мощности, потребляемой из сети мощными насосами ХВО Д500-65, показывают, что среднее значение мощности, потребляемой ими из сети составляет около 130 кВт.

Как известно [2], электроэнергия, потребляемая электрическим насосом (кВтч) равна:

$$\mathcal{E} = Q \cdot H \cdot \gamma \cdot T / 3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{д}}, \quad (2)$$

где Q – подача (производительность) насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$; H – полный напор с учетом высоты всасывания, м; γ – уд.

вес жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; T – годовое время работы насоса, ч; $\eta_{\text{п}}$, $\eta_{\text{н}}$, $\eta_{\text{д}}$ – КПД передачи, насоса и двигателя.

Анализ уравнения позволяет определить основные направления уменьшения расхода электроэнергии, потребляемой насосами

- замены устаревших малопроизводительных насосов насосами с высоким КПД
- повышения КПД передачи (конструкция моноблока, на общем валу)
- улучшения загрузки насосов.

Еще большую экономию электрической энергии выбор рационального расхода и напора для насоса, т.к. при работе насоса с подачей меньше расчетной возникает несоответствие между напором развиваемым насосом, и напором, требуемым для того или иного количества жидкости. Регулирование подачи в сторону ее уменьшения осуществляется дросселированием, при котором теряемая на насосе мощность (кВт) равна:

$$\Delta P = \gamma \cdot Q_{\text{рег}} \cdot \Delta H_{\text{рег}} / 102 \cdot \eta_{\text{рег}},$$

где γ – уд вес жидкости; $Q_{\text{рег}}$ – подача регулируемая, дросселированием; $\Delta H_{\text{рег}}$ – напор, непроизводительно теряемый на задвижке, м; $\eta_{\text{рег}}$ – КПД регулирования

Анализ данных за предыдущие периоды показывает, что характерными подачами для мощных насосов является подача 500 м^3 в отопительный период (4536 часов) и 320 м^3 в межотопительный период (8760-4536 часов).

Для уменьшения потерь электроэнергии на насосах НОВТ и НУВ предлагается использовать для подачи $300 - 320 \text{ м}^3/\text{ч}$ м осветленной и умягченной воды вместо насосов Д500-65 насосы Д500-36.

Расходно-напорные характеристики насосов Д500-65 и Д500-36 приведены на рис. 5 и 6 (3).

В связи с тем, что номинальные характеристики насоса Н500-36 лучше соответствуют значениям подачи и напора (см. рис. 5 и 6), мощность, потребляемая из сети насосами НОВТ и НУВ, уменьшится. Так, в соответствии с расходно-напорной характеристикой

насоса Д500-36, подача $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре 43 м в. ст. сопровождается потреблением им из сети только 60 кВт электрической мощности, в то время как такая же подача насосом Д500-65, как показали электрические измерения, связана с потреблением из сети 120 кВт электрической мощности.

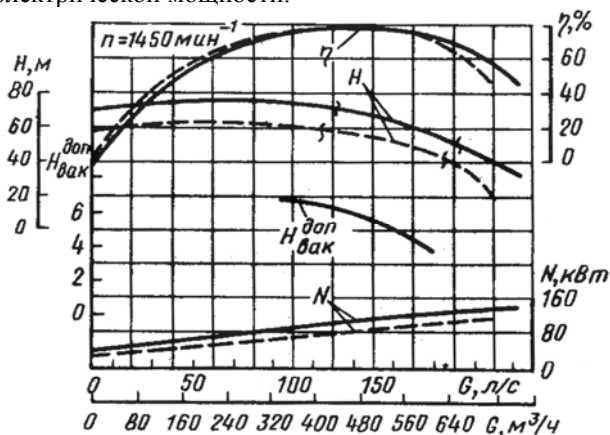


Рис. 5. Расходно-напорная характеристика насоса Д500-65

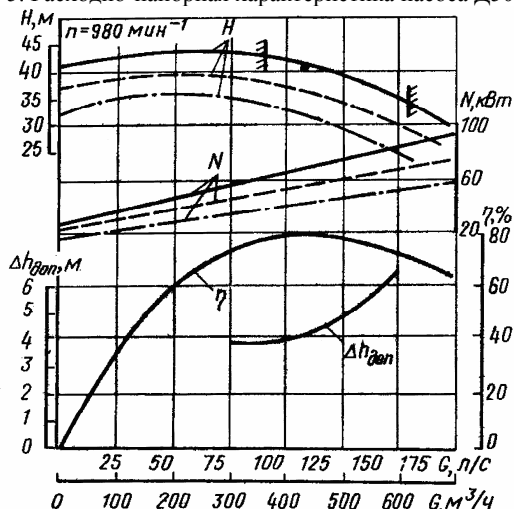


Рис. 6. Расходно-напорная характеристика насоса Д500-35

Как следует из анализа приведенных напорно-расходных характеристик насосов (рис. 5, 6), потребляемая ими из сети мощность может быть охарактеризована величинами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1
Мощность, потребляемая из сети насосами Д-500

Тип насоса	Номинальные		Фактический $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	Мощность, потребляемая из сети, кВт
	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$H, \text{ м в. ст.}$		
Д500-65	540	65	500	120
			320	80
Д500-36	540	36	500	80
			320	60

При продолжительности отопительного сезона 4536 часов годовая экономия электроэнергии при замене насосов составит:

$$(120 - 80) \times 4536 + (80 - 60) \times (8760 - 4536) \approx 266 \text{ тыс. кВтч}$$

Капитальные затраты на внедрение мероприятия быстро окупаются, т.к., как хорошо известно, что стоимость электроэнергии, потребляемой насосами за

отопительный сезон многократно выше стоимости самих насосов. Маркетинговые исследования показали, что стоимость насоса Д-500-35 составляет до 10000 грн.

Источниками сжатого воздуха низкого давления являются нагнетатели воздушные центробежные, один из которых работает по заявкам дежурной смены ХВО со щита управления ХВО, а другой находится в резерве. Весь воздух низкого давления используется на нужды ХВО и другим потребителям ТЭЦ не поставляется.

Центробежные нагнетатели НВЦ-1 и НВЦ-2 являются самыми мощными электроприемниками, обслуживающими потребности ХВО. Агрегаты для получения сжатого воздуха низкого давления имеют следующие характеристики:

- *центробежный нагнетатель*
 - тип 360-22-1;
 - подача $310 \text{ м}^3/\text{мин}$;
 - напор 0,24 МПа.
- *электрический двигатель*
 - тип асинхронный двигатель 2АЗМ1-800/6000 У4;
 - мощность 800 кВт;
 - число оборотов 2970 1/мин;
 - КПД 95,7%;
 - $\cos \phi = 0,80$.

Расход электроэнергии в системе получения сжатого воздуха низкого давления может быть существенно уменьшен за счет замены существующего агрегата на агрегат с параметрами, соответствующими реальным потребностям.

Имеются два варианта комплектации источника сжатого воздуха низкого давления.

Вариант А.

Для снабжения ХВО сжатым воздухом низкого давления используется роторная воздуходувка с воздушным охлаждением ZL 5000I –1000 mb (производство Атлас Копко). Технические характеристики и стоимость воздуходувки ZL 5000I –1000 mb приведена в приложении И. Стоимость воздуходувки в национальной валюте около 250 тыс. грн.

Вариант Б.

Поставка от ООО "МК СТАНДАРТ" турбокомпрессора ТВ 80-1,6М1-01 с подачей $100 \text{ м}^3/\text{мин}$ при давлении 1,6 кгс/см. Стоимость турбокомпрессора с НДС 36 тыс. грн.

При одинаковых технических характеристиках вариант Б предпочтительнее по затратам.

Энергетически замена источника низкого давления оправдана, т.к. мощность, потребляемая из сети воздуходувкой ТВ 80-1,6М1-01 составляет 180 кВт против 540 кВт эксплуатируемым центробежным нагнетателем НВЦ (тип 360-22-10). При расчетном времени работы воздуходувки 3000 часов в год, годовая экономия электроэнергии составит:

$$(540-180) \times 300 = 1080 \text{ тыс. кВтч}$$

Проведенные измерения электрической мощности, потребляемой из сети через трансформаторы собственных нужд 1000 кВА 71Т, 72Т, 73Т, 74Т и 75Т показали низкие коэффициенты их загрузки. Сведения о текущей нагрузке названных силовых трансформаторов собственных нужд приведены в табл. 2.

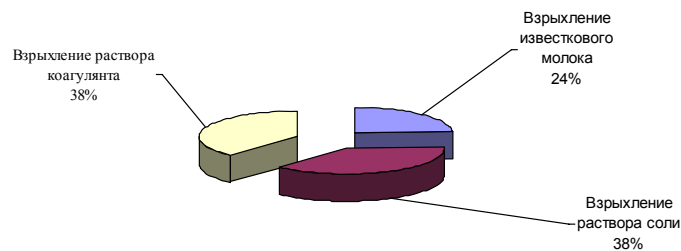


Рис. 7. Распределение расхода сжатого воздуха низкого давления между потребителями ХВО

Таблица 2
Результаты расчета потерь электроэнергии в силовых трансформаторах собственных нужд

№ трансформатора	Значение k_3	Каталожные данные		Потери, кВтч
		ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	
71Т (ХВО)	0,11	2,5	12,0	23172
72Т (ХВО)	0,08	2,5	12,0	22573
73Т (БВЦ)	0,23	2,5	12,0	27461
74Т (БВЦ)	0,11	2,5	12,0	23172
75Т (БВЦ)	0,09	2,5	12,0	22752
ВСЕГО				119129

Расчетные значения коэффициентов загрузки трансформаторов собственных нужд по показаниям счетчиков активной электроэнергии в 2003 году (для расчета коэффициента загрузки приняты значения $\cos\varphi = 0,75$, $\sin\varphi = 0,66$) составили:

71Т	72Т	73Т	74Т	75Т
0,11	0,08	0,23	0,11	0,09

Таким образом, силовые трансформаторы собственных нужд загружены недостаточно, что определяет повышенные значения потерь на них.

Работа трансформатора в режиме холостого хода или близком к нему вызывает излишние потери электроэнергии не только в самом трансформаторе, но и по всей системе электроснабжения от источника питания до самого трансформатора из-за низкого коэффициента мощности (в данном примере расчет приведенных потерь не выполняется).

Потери электроэнергии за год $\Delta \mathcal{E}_{a.t}$ в трансформаторе равны [3]:

$$\Delta \mathcal{E}_{a.t} = \Delta P_x \cdot T_n + \Delta P_k \cdot k_3^2 \cdot T_{раб}, \quad (3)$$

где ΔP_x - активные потери холостого хода при номинальном напряжении (каталожные данные); T_n - годовое число часов работы трансформатора; ΔP_k - активные нагрузочные потери / активные потери КЗ (каталожные данные); k_3 - коэффициент загрузки трансформатора ($k_3 = S_\phi / S_{т.ном}$); $T_{раб}$ - годовое число часов работы трансформатора с номинальной нагрузкой.

Результаты расчета потерь электроэнергии в трансформаторах собственных нужд ($T_{раб} = 8760$ часов), выполненного в соответствии с выражением (2) приведены в табл. 2.

Отключение малозагруженных силовых трансформаторов на ХВО и БВЦ и распределение нагрузки между оставшимися в работе трансформаторами определит новое значение коэффициентов загрузки трансформаторов и потерь в них. Заслуживают внимания предложения об отключении трансформаторов 72Т и 75Т (вариант А), или трансформаторов 72Т, 74Т, 75 Т (вариант Б).

Расчетные значения годовых потерь электроэнергии в трансформаторах собственных нужд и эффекты экономии электроэнергии, достигаемые в случае отключения малозагруженных трансформаторов, показаны в табл. 3.

Таблица 3
Результаты расчета потерь электроэнергии в силовых трансформаторах собственных нужд после отключения малозагруженных трансформаторов

№ трансформатора	Вариант А		Вариант Б	
	Новое значение k_3	Потери, кВтч	Новое значение k_3	Потери, кВтч
71Т	0,19	25695	0,19	25695
72Т	0	0	0	0
73Т	0,23	27461	0,43	19437
74Т	0,20	26105	0	0
75Т	0	0	0	0
ВСЕГО		79261		45132

Отключение малозагруженных трансформаторов не снижает надежности электроснабжения электроприемников ХВО, а также надежность технологических агрегатов и агрегатов вспомогательного назначения для схем с резервированием, как по трансформатору, так и по самому агрегату.

Время перехода на резервный трансформатор незначительно, а переход с одного электроприемника на другой определяется не временем изменения электрической схемы, а временем подготовки соответствующей гидравлической схемы, но оно также не велико. Экономически оправдано отключение трех силовых трансформаторов собственных нужд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение рассмотренных технических и организационных энергосберегающих мероприятий позволяют снизить годовой расход электроэнергии на оборудовании ХВО на 1400 тыс. кВтч.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Е. Д. Прикладная статистика. Исследование зависимостей. Справочное издание. Под ред. Айвазяна С. А. - М. Финансы и статистика, 1983общу источники отдельно (их нет в отчете и под рукой)
- [2] Киреева Э. А., Юнис Т., Айюби М. Автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. Справочные материалы и примеры расчетов. - М. Энергоатомиздат, 1998.
- [3] Турк В.И., Минаев А.В. Насосы и насосные установки. Учебник для вузов. - М. Стройиздат, 1977.

Поступила 25.03.2005