

УДК 681.523

МОДЕЛЬ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ НИЗКОПOTЕНЦИАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПО ОПТИМУМУ РАСХОДА ЦИРКУЛЮЩЕЙ ВОДЫ

Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Фокина А.Р., Бабенко И.А.
Украинская инженерно-педагогическая академия

В статье проведен анализ влияния работы циркуляционного насоса на экономичность конденсатора. Приведены аналитические зависимости, характеризующие работу конденсатора. Показана модель управления низкопотенциальным комплексом по оптимуму циркуляционной воды, при которой потери энергии в комплексе будут минимальны.

Ключевые слова: низкопотенциальный комплекс, конденсатор, циркуляционный насос, энергосбережение, автоматизированная система управления.

Введение. Одной из актуальных задач современной энергетики является энерго- и ресурсосбережение на всех ступенях генерации, распределение и потребления энергии. В первую очередь это относится к энергогенерирующим предприятиям – тепловым и атомным электростанциям.

Как известно, одним из реальных способов повышения экономичности энергоблоков ТЭС и АЭС является совершенствование системы управления их низкопотенциальным комплексом (НПК) [1]. При этом НПК рассматривается как сложная технологическая подсистема, являющаяся одной из важнейших в общеблочной системе. Основными задачами при управлении НПК являются:

1) Конденсатор и эжекторная установка – сравнение фактических и нормативных значений вакуума, температурного напора, переохлаждения конденсата, нагрева воды, гидравлического и парового сопротивления, присосов воздуха и производительности эжекторов.

2) Насосные установки (циркуляционные и конденсатные) и трубопроводы системы технического водоснабжения – определение фактических характеристик и оптимизация режимов работы насосов, анализ и выяснение возможных причин отклонений в работе насосов, оптимизация включения и параметров эксплуатации циркуляционных насосов и водоводов.

Постановка проблемы. В состав низкопотенциального комплекса (рис. 1) современных электростанций принято включать [2]:

– конденсационные установки пара (2), включающие в себя конденсатные насосы (3), воздухоудаляющие устройства (эжекторы) (4) с охладителями (5), подогреватель низкого давления (6);

– системы технического водоснабжения (СТВ), включающие источники водоснабжения и охлаждающие устройства (8) (водоемы, градирни, брызгальные установки или их комбинации), циркуляционные насосы (10), трубопроводы охлаждающей воды (11), фильтры циркуляционной воды (9) и систему водоводов (падающих и сбросных);

– последние ступени или части цилиндров низкого давления турбин с рабочими дисками (7) и выхлопными патрубками для отработавшего пара (1);

– подогреватели низкого давления (ПНД-1) систем регенеративного подогрева питательной воды;

– регулирующую, запорную и измерительную аппаратуру.

В задачу НПК входит создание и обеспечение необходимого конечного давления пара в турбине P_k , при высокой

надежности, долговечности, экономичности и экологической чистоте. Помимо этого, НПК может осуществлять: прием сбрасываемого через БРОУ пара; прием дренажей из регенеративных и сетевых подогревателей; подогревы сетевой воды на ТЭС; деаэрацию основного конденсата и т.п.

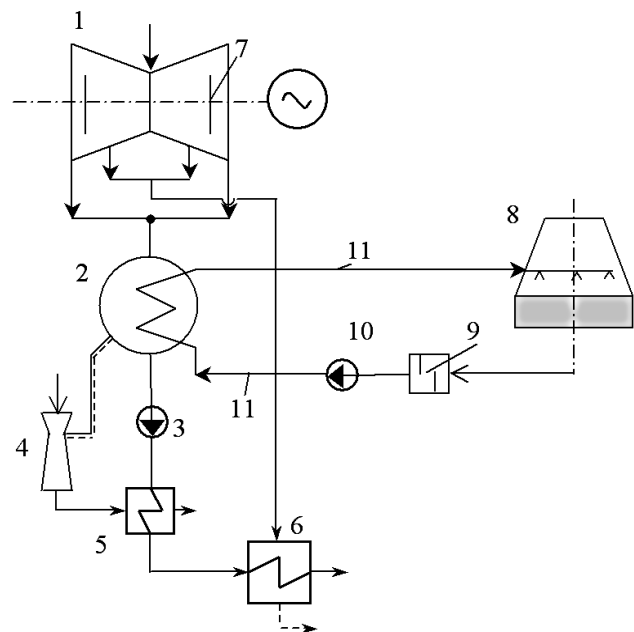


Рис. 1. Схема НПК ТЭС и АЭС с индивидуальной системой технического водоснабжения

Наиболее существенная связь НПК с энергоблоком осуществляется через конечные параметры пара (P_k , t_k) и расход электроэнергии на привод на-

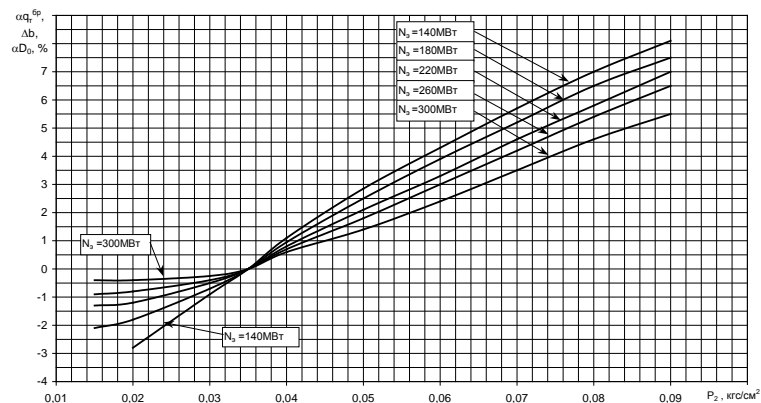


Рис. 2. Поправка к удельному расходу тепла, топлива и свежего пара турбины К-300-240 Змиевской ТЭС на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе от 0,035 кг/см²

соров комплекса, т.е. НПК оказывает влияние на экономичность ТЭС, воздействуя на их КПД [3]:

$$\eta_c = \eta_{тв} \cdot \eta_{кв} \cdot \eta_{тр} (1 - \alpha_{сн}), \quad (1)$$

где $\eta_{тв} = \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_t$ – КПД турбоустановки;

$$\eta_i = \frac{h_0 - h_k}{h_0 - h'_k} - \text{абсолютный внутренний КПД турбины}; \quad (2)$$

$h_k = f(P_k)$, $h'_k = f(P_k)$ – энтальпия отработавшего пара и его конденсата.

Как видно из выражения (1), конечное давление влияет на КПД турбоустановки и расход электроэнергии на собственные нужды электростанции $\alpha_{сн}$. Характер изменения мощности турбины в зависимости от конечного давления пара блока 300 МВт Змиевской ТЭС показан на рис. 2.

Суммарная величина потерь располагаемой энергии в НПК для энергоблоков ТЭС мощностью 300-1200 МВт составляет 7-8% для систем водоснабжения с водоомами-охладителями и испарительными градирнями и 8-10% для систем с радиаторными и сухими градирнями [4].

Поскольку в области НПК пар в проточной части турбины имеет низкий потенциал, то оценивать влияние изменения термодинамических параметров энергоносителей на показатели работы ТЭС принято по влиянию его на изменение мощности отсека турбины, расположенного между последним регенеративным отбором и выхлопным патрубком, или последней ступени турбины ($\Delta N_{кп}$). При этом, принимая во внимание сложность НПК и взаимозависимость его элементов, необходимо учитывать влияние изменения P_k не только на $N_{кп}$, но и на перераспределение потоков энергии в этих элементах. Т.е. изменение давления P_k приведет к изменению: мощности электроприводов циркуляционных ($N_{цн}$) и конденсатных ($N_{кн}$) насосов; расхода пара, воды или электроэнергии на привод воздухоудалющих устройств ($N_{эж}$); расхода пара ($D_{нд}$) в ПНД-1, вследствие изменения температуры конденсата t_k и, вследствие, этого к изменению мощности между последним отбором и выхлопным патрубком ($N_{нд}$).

Для случая, когда по каким-либо причинам, давление в конденсаторе возрастает ($+\Delta P_k$), уравнение энергетического баланса будет иметь вид:

$$\Delta N_{кп} = -\Delta N_k + \Delta N_{цн} + \Delta N_{кн} + \Delta N_{эж} + \Delta N_{нд}, \quad (3)$$

т.е. оптимальному значению давления пара в конденсаторе $P_k = opt$ будет отвечать минимальное снижение выработки энергии, т.е. $\Delta N_{кп} = min$. Эта справедливо также при $Q_0 = const$.

Следовательно, в качестве критерия экономичности НПК может быть принято значение приращения выработки мощности отсека турбины $\Delta N_{кп}$.

Анализ эксплуатации НПК Запорожской АЭС показывает, что основные параметры конденсатора значительно меняются в течении года (рис. 3). А, следовательно, необходимо иметь такую АСУ НПК, которая бы обеспечивала максимум КПД системы при любых отклонениях эксплуатационных параметров (сезонные изменения температуры, режимные изменения мощности турбины и т.д.).

Цель. Исходя из вышесказанного, необходимо создание математической модели работы НПК и алгоритма энергосберегающей АСУ, работающей по принципу минимальных потерь с учетом эксплуатационных ограничений. Последними являются: располагаемая мощность циркуляционных насосов (расход циркульды); расход отработавшего пара, задаваемый системой и теплофикационным режимом работы турбины; мощность эжекторов; температура циркульды и т.д.

Изложение материала. Экспериментальные исследования, проведенные на блоке 300 МВт Змиев-

сой ТЭС показали, что зависимость давления отработавшего пара в конденсаторе от температуры циркульды и расхода пара при фиксированном расходе циркульды имеет вид, показанный на рис. 4.

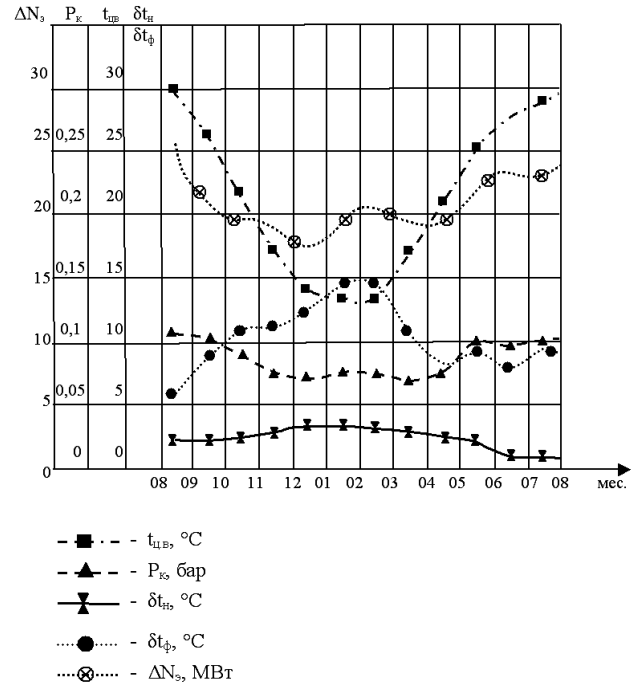


Рис. 3. Основные показатели работы конденсатора блока ЗаАЭС в разрезе года

Как видно из рис. 4, зависимость давления пара P_2 от расхода пара D_2 имеет линейный характер, т.е. семейство кривых описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} P_{21} = A_1 D_2 + B_1 | t_{цв} = t_1 \\ P_{22} = A_2 D_2 + B_2 | t_{цв} = t_2 \\ P_{23} = A_3 D_2 + B_3 | t_{цв} = t_3, \text{ при } Q_{цв} = Q_{цв1} \\ \dots \\ P_{2i} = A_i D_2 + B_i | t_{цв} = t_i \end{cases} \quad (4)$$

Аналогичным образом строятся системы уравнений для $Q_{цв} = Q_{цв2}$, $Q_{цв} = Q_{цв3}$, $Q_{цв} = Q_{цвi}$. Однако такие зависимости для управления не совсем удобны, поэтому из экспериментальных характеристик необходимо построить системы уравнений типа:

$$\begin{cases} Q_{цв1} = A_1 D_2 + B_1 | P_2 = P_{21} \\ Q_{цв2} = A_2 D_2 + B_2 | P_2 = P_{22} \\ Q_{цв2} = A_3 D_2 + B_3 | P_2 = P_{23}, \text{ при } t_{цв} = t_{цв1} \\ \dots \\ Q_{цвi} = A_i D_2 + B_i | P_2 = P_{2i} \end{cases} \quad (5)$$

Графически эти зависимости будут выглядеть, как показано на рис. 5.

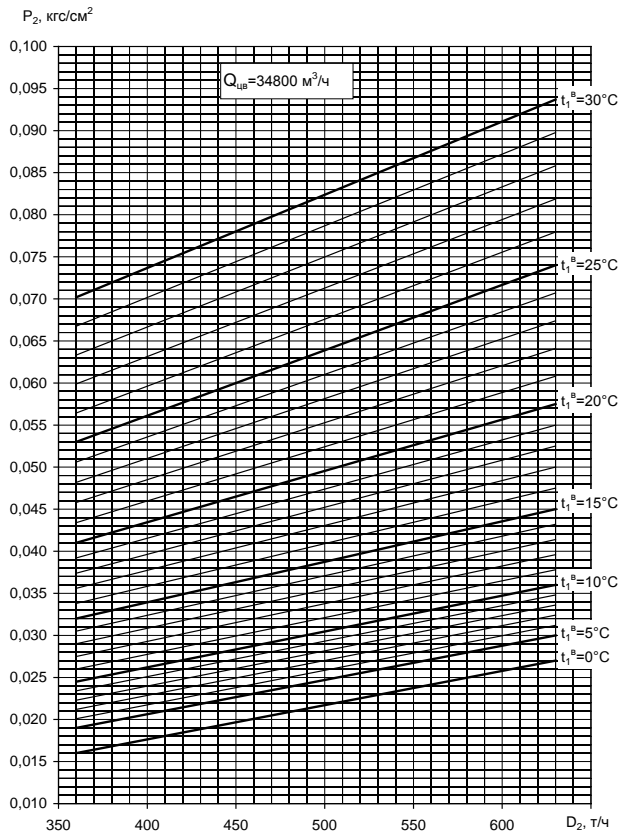


Рис. 4. Давление пара в конденсаторе в зависимости от расхода пара и температуры циркулирующей воды при $Q_{цв} = 34800 \text{ м}^3/\text{ч} = \text{const}$

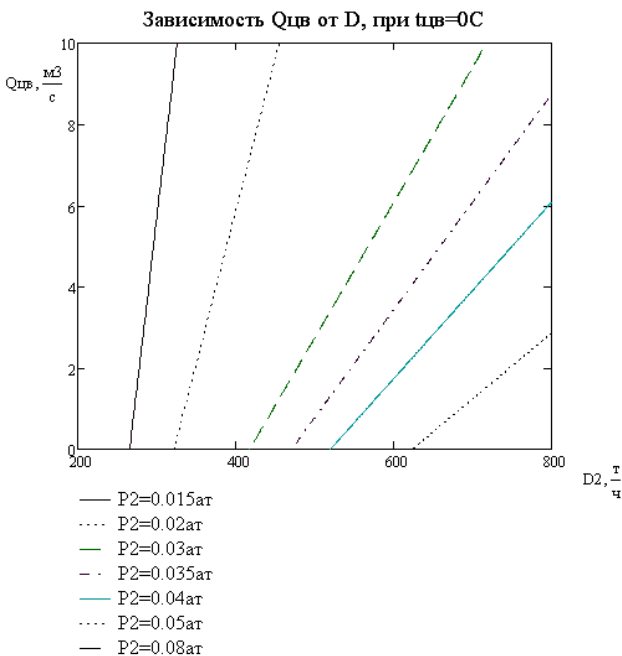


Рис. 5.

При изменении расхода отработавшего пара в турбине D_2 и желаемом давлении в конденсаторе P_2 по графику (для каждой температуры – график свой) определяется необходимый расход циркулирующей воды $Q_{цв}$, обеспечивающий заданное давление в конденсаторе.

Для решения задачи в общем виде необходимо получить семейство зависимостей типа:

$$\begin{cases} Q_{цв} = f(D_2, P_2) |_{t_{цв} = t_1} \\ Q_{цв} = f(D_2, P_2) |_{t_{цв} = t_2} \\ Q_{цв} = f(D_2, P_2) |_{t_{цв} = t_3} \\ \dots \\ Q_{цв} = f(D_2, P_2) |_{t_{цв} = t_i} \end{cases} \quad (6)$$

либо:

$$Q_{цв} = f(D_2, P_2, t_{цв}). \quad (7)$$

Однако интерполяция функции 3-х переменных (7) математически сложнее, и её использование может оказаться не целесообразно, т.к. увеличит объем операций вычислительного комплекса АСУ без увеличения точности модели. Таким образом остановимся на интерполяции функции 2-х переменных (6) с последующим построением семейства плоскостей.

Для решения этой задачи целесообразно использовать интерлиационные уравнения проф. Литвина О.Н. [5]. Данный математический аппарат позволяет получить большую точность интерполяции при малых исходных данных [5].

Расход циркулирующей воды $Q_{цв}$ при фиксированном значении температуры циркулирующей воды $t_{цв}$ определяется:

$$Q_{цв} = \sum_{k=1}^T (Q_{цв} = f(D_2)) \cdot \prod_{\substack{j=1, \\ j \neq k}}^M \frac{P_2 - P_{2j}}{P_{2k} - P_{2j}} \quad (8)$$

Для каждой фиксированной температуры циркулирующей воды $t_{цв}$ строим зависимость $Q_{цв} = f(D_2, P_2)$ (рис. 6). Система плоскостей, построенная по уравнению (6), будет иметь вид, показанный на рис. 7.

Исходя из известных значений D_2 , $t_{цв}$ и желаемом давлении в конденсаторе P_2 , по семейству кривых (рис. 7) определяется необходимый расход охлаждающей воды $Q_{цв}$, обеспечивающей заданные параметры.

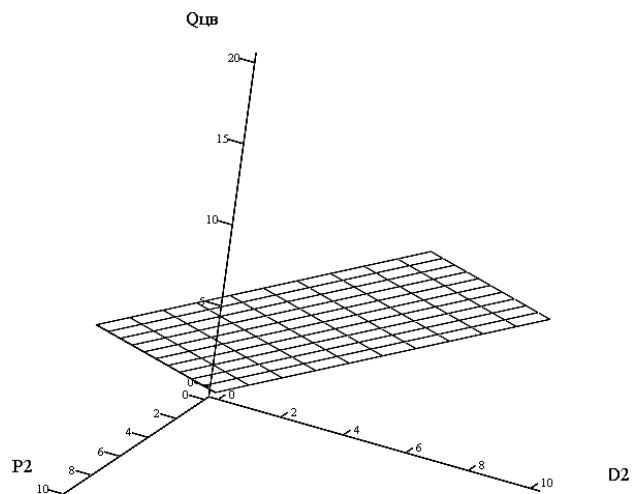


Рис. 6.

Следующим этапом определяется мощность циркуляционных насосов $N_{цн}$, необходимая для обеспечения требуемого расхода $Q_{цв}$. Этот расчет не представляет затруднений и реализуется при помощи энергетических характеристик циркуляционных насосов, заранее «вшитых» в математический аппарат АСУ.

Исходя из характеристик поправок мощностей турбины для конкретного расхода пара (рис. 2) и зависимости расхода циркулирующей воды от потребляемой мощности циркуляционных насосов, строится сравнительная характеристика энергетической эффек-

тивности работы системы турбина-конденсатор, приведенная на рис. 8.

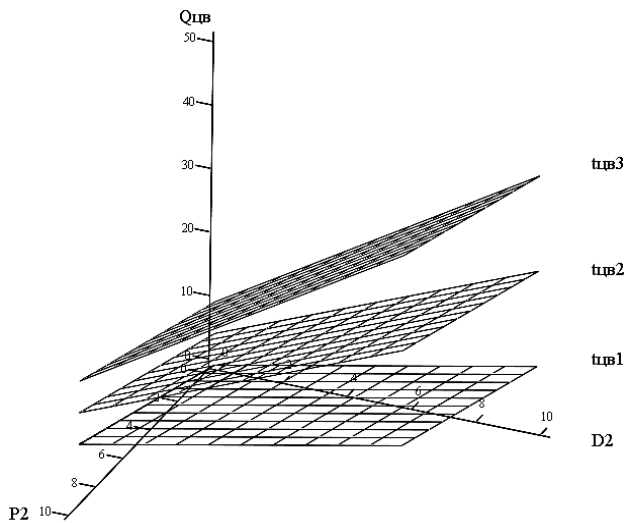


Рис. 7.

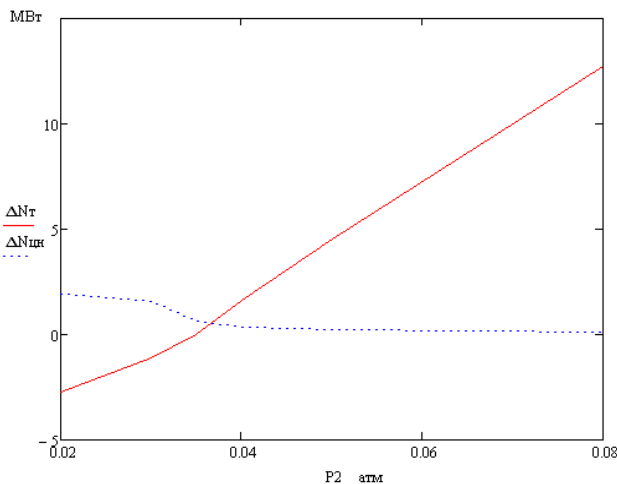


Рис. 8. Критерий оптимальности (энергоэффективности) работы НПК

Точка пересечения кривых потерь в турбине и циркуляционных насосов является оптимальной с

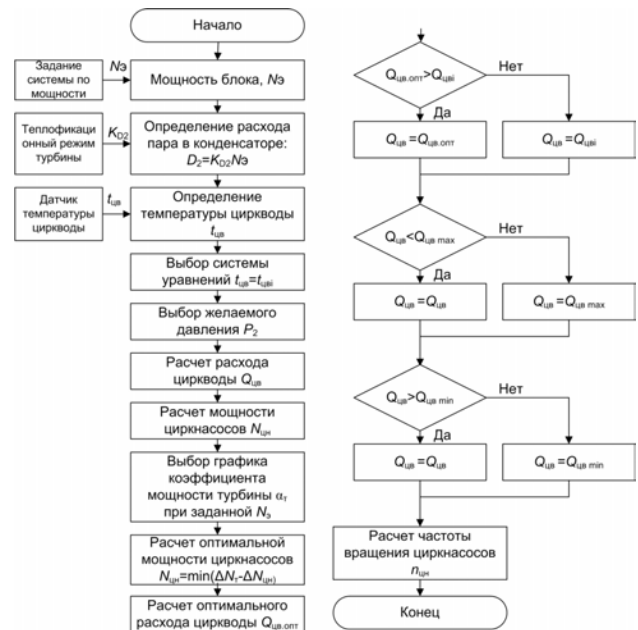


Рис. 9. Алгоритм управления НПК по критерию оптимума расхода циркуляционной воды

точки зрения энергетических потерь, несмотря на то, что с увеличением вакуума в конденсаторе, прирост мощности турбины увеличивается. Эта точка, как правило, соответствует давлению 0,035 атм., однако зачастую невозможно обеспечить данный уровень вакуума. Это может быть обусловлено высокой температурой циркуловды, недостаточной мощностью циркуловды и др. В связи с этим данный исследования представляют практический интерес с точки зрения энергосберегающего управления системой НПК ТЭС и АЭС.

На основании вышеприведенных теоретических положений, разработан алгоритм энергосберегающего управления НПК, приведенный на рис. 9.

Выводы. 1. Рассмотрен вопрос энергосберегающего автоматизированного управления системой низкотяготенциального комплекса по критерию оптимума циркуловды. 2. Разработаны модель и алгоритм управления, основанные на экспериментальных зависимостях эффективности работы НПК от характеристик вакуума и циркуловды.

Список литературы:

1. Шелепов И. Г., Заруба В. К., Яцкевич С. Б. Теплоэнергетические установки электростанций: (Исследование и расчёт низкотяготенциальных комплексов ТЭС и АЭС). – К.: УМКВО, 1993. – 280 с.
2. Дуэль М. А., Соляник Б. Л., Шульман А. Е. Применение ЭВМ для определения энергетических характеристик энергооборудования ТЭС. – М.: Энергия, 1976. – 119 с.
3. Стерман Л. С. и др. Тепловые и атомные электростанции: Учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 456 с., ил.
4. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
5. Литвин О. М., Штепа Н. І., Литвин О. О. Математичне моделювання розподілу корисних копалин методами інтерлінації та інтерфлетатції функцій. Київ, Наукова Думка НАН України, 2011. – 228 с.

Канюк Г.І., Мезеря А.Ю., Фокина А.Р., Бабенко І.А.
Українська інженерно-педагогічна академія

МОДЕЛЬ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО КЕРУВАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИМ КОМПЛЕКСОМ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ПО ОПТИМУМУ ВИТРАТИ ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ ВОДИ

Анотація

У статті проведений аналіз впливу роботи циркуляційного насоса на економічність конденсатора. Наведено аналітичні залежності, що характеризують роботу конденсатора. Показано модель керування низькопотенційним комплексом по оптимуму циркуляційної води, при якій втрати енергії в комплексі будуть мінімальні.

Ключові слова: низькопотенційний комплекс, конденсатор, циркуляційний насос, енергозбереження, автоматизована система керування.

Kanyuk G.I., Mezerya A.Y., Fokina A.R., Babenko I.A.
Ukrainian engineer-pedagogical academy

MODEL ENERGYSAVE MANAGEMENT LOW POTENTIAL COMPLEX POWER STATION ON OPTIMUM OF THE CONSUPTION CIRCULATION WATER

Summary

In article is organized analysis of the influence of the work circulation pump on economy of the capacitor. They are brought analytical dependencies, characterizing functioning the capacitor. It is shown model of management low potential by complex on optimum circulation water, under which loss to energy in complex will be minimum.

Keywords: low potential complex, capacitor, circulation pump, energysave, automated managerial system.

УДК 697.1

ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ УЧБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Суходуб І.О., Яценко О.І.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

У даній роботі об'єктом дослідження є будівля учбового призначення. Головне завдання статті – дослідження підходів до оцінки ефективності роботи системи опалення будівлі: складання температурних карт та тепловізійне обстеження. В роботі проаналізовано вплив різних факторів на внутрішню температуру в приміщеннях будівлі. За результатами проведеного дослідження запропоновано ряд заходів з енергозбереження. Для доведення доцільності впровадження запропонованих заходів проведено розрахунок економії енергії та грошових коштів.

Ключові слова: система опалення, температурна карта, тепловізійне обстеження, тепловтрати, енергоефективність.

Постановка проблеми. Температурні умови комфортності – один з основних санітарно-гігієнічних показників, що впливають на рівень працездатності людини. У зв'язку з нераціональним використанням енергії та значними втратами теплоти через огорожувальні конструкції будівель ці умови часто не дотримуються. Тому виникає необхідність оцінки теплового стану будівлі та пошуку економічно вигідних шляхів забезпечення рекомендованої температури внутрішнього повітря.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання визначення та підвищення рівня енергоефективності будівель вищих навчальних закладів висвітлюються в роботах Дешка В.І., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М., Перекреста А.Л. та ін. Зокрема, в роботі [1] проводиться структурний аналіз енергоспоживання закладів освіти, визначення факторів, які впливають на енергоспоживання, для проведення класифікації об'єктів. В статті [2] аналізуються особливості

системи опалення для різних будівель закладу освіти на основі енергетичних показників, проводиться оцінка їх класу енергоефективності та складання енергетичного паспорту. Розрахунки енергетичної ефективності будівлі навчального закладу, визначення економічних та екологічних по-

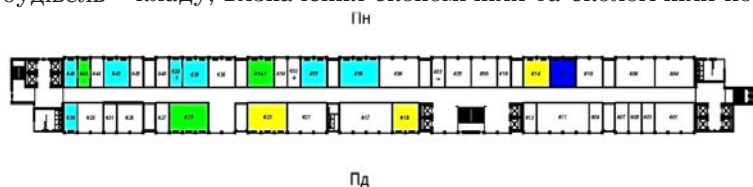


Рис. 1. Температурна карта п'ятого поверху будівлі

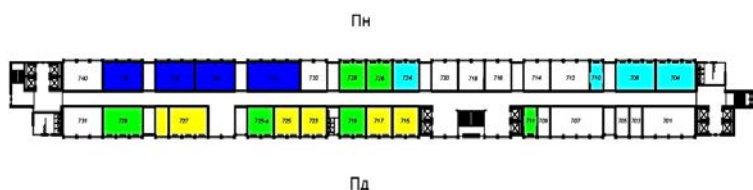


Рис. 2. Температурна карта шостого поверху будівлі