

КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ В ДИСТАНІЙНОМУ НАВЧАННІ ЕНЕРГЕТИКІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Відповідно до задач розвитку електроенергетики України розроблене методичне та програмне забезпечення курсового проектування та практичних занять з теплотехнічних дисциплін. Наведені приклади розв'язання типових задач та досліджень енергетичних установок на практичних заняттях за допомогою комп'ютера.

Ключові слова: дистанційне навчання, енергетичні установки, курсове проектування, практичні заняття, комп'ютерні програми, оптимізація.

Abstract

In accordance with the tasks of development of electric power industry of Ukraine, methodical and software of course design and practical classes in heat engineering disciplines have been developed. Examples of solving typical problems and research of power plants in practical classes with the help of a computer are given.

Keywords: distance learning, power plants, course design, practical classes, computer programs, optimization.

Вступ

Завданнями електроенергетики України є: подовження терміну експлуатації діючих енергоблоків атомних електростанцій (АЕС); будівництво нових потужностей на АЕС; виробництва ядерного палива для АЕС; розвиток теплових електростанцій (ТЕС); використання низькосортного і бурого вугілля на ТЕС; модернізація комунальної теплоенергетики; розвиток електроопалення; оптимізація теплопостачання міст за рахунок використання теплонасосних станцій; збільшення частки комбінованого виробництва електрики і тепла; впровадження когенераційних та утилізаційних установок; збільшення частки децентралізованого виробництва електрики, з метою скорочення втрат енергії; скорочення обсягів споживання природного газу; розвиток відновлюваних джерел енергії. Набуття вмінь розв'язання цих задач є метою практичних занять та курсового проектування з теплотехнічних дисциплін.

Основна частина

Курсова робота з дослідження теплової частини АЕС забезпечується методиками розрахунку теплової схеми блока АЕС, фізичного та теплогідравлічного розрахунків реактора ВВЕР-1000, розрахунків горизонтального парогенератора, проміжного сепаратора – пароперегрівника, конденсатора, підігрівників живильної води, електрогенератора [1]. На АЕС встановлені потужні дизель-генератори, які включаються при втраті живлення приводів механізмів власних потреб. Тому, студентам надається методика розрахунку дизеля з турбонаддувом.

Курсова робота з дослідження теплової частини ТЕС забезпечується методиками розрахунку теплової схеми блока ТЕС, теплогідравлічного розрахунку парогенератора ТПП-312, розрахунків конденсатора, підігрівників живильної води низького тиску змішуючого та гладкотрубного типів, колекторних підігрівників живильної води високого тиску, регулятора рівня конденсату в пароводяному підігрівнику, маслоохолодників, розрахунків фільтрів хімічного водоочищення, поршневих та відцентрових компресорів (які використовуються для роботи повітряних вимикачів).

Курсова робота з промислово-опалювальної котельні забезпечується методиками розрахунку теплової схеми котельні, теплогідравлічного розрахунку котла ДКВР при роботі на газовому, рідкому, твердому паливах та на лушпинні, тепло-насосної установки з різними видами приводів компресора, установки ORC з фреоновою турбіною, розрахунку затрат на варіант котельні.

В курсовому проектуванні використовуються також методики розрахунку газотурбінних та парогазових установок, холодильних установок, обладнання гідроелектростанцій, вітрових та сонячних електростанцій.

Програмне забезпечення практичних занять використовується в двох напрямках: для розв'язання типових задач та для числових досліджень енергетичних установок. Типові задачі, наприклад, теми "Насоси", розв'язуються таким чином. Тема має розділи. При вивченні задачі по конкретному розділу, спочатку вивчається зміст текстового файлу з теоретичними відомостями щодо задачі, потім розглядається приклад розв'язку задачі, який студент переписує в зошит. Далі датчиком випадкових чисел генеруються початкові умови задачі і студент її розв'язує за допомогою калькулятора. Результат розв'язку заноситься на екран, рис. 1. Потім програма розв'язує задачу заданим алгоритмом та порівнює результат з відповіддю студента. В залежності від величини відхилення розраховується оцінка, яка виводиться на екран.

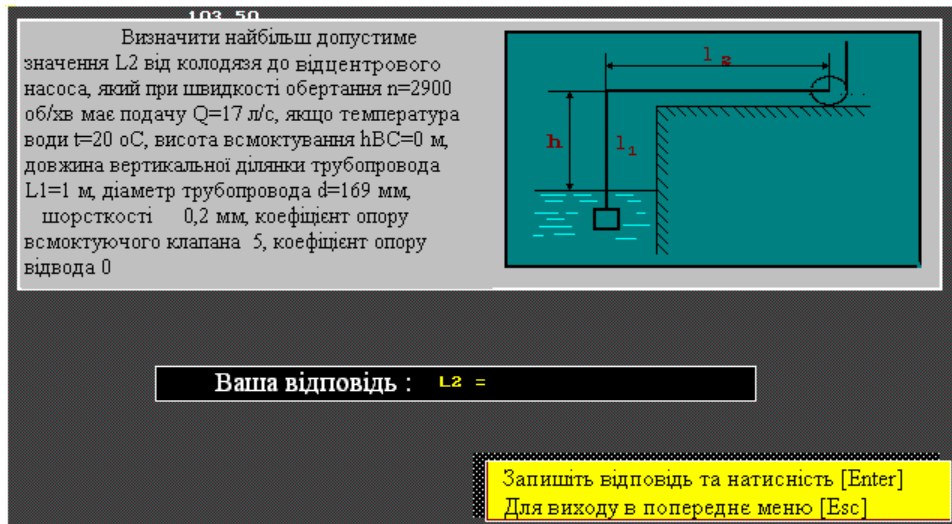


Рис. 1. До прикладу розв'язання типової задачі

Завданням практичних робіт з числових досліджень енергетичних установок є засвоєння студентами комп'ютерних програм для застосування їх в курсовому проектуванні. Деякі з таких практичних робіт наведені нижче.

Системний аналіз конфігурації систем теплоенергопостачання регіонів та промислових підприємств. Тут під конфігурацією розуміють типи енергетичних установок (ЕУ) в системі теплоенергопостачання регіону або промислового підприємства. Задача вибору типу ЕУ сформульована, як задача визначення потужностей ЕУ різних типів при заданій загальній потужності системи енергопостачання. Критерієм якості варіанта системи енергопостачання є чисельне значення комплексного критерію, складовими якого є частинні критерії оцінок екологічних, медичних, економічних, політичних та соціологічних показників. Задача розв'язується методом системного аналізу [2]. Математична модель системи енергопостачання та її програмна реалізація будується автоматично в результаті діалогу експерта (викладача, студента) з комп'ютером.

За цією методикою визначаються типи джерел енергопостачання регіону, замість виведених з експлуатації 4000 МВт потужностей, що виробляли за рік 26 ТВт·год електроенергії. Втрачені потужності компенсує нова система енергопостачання, яка може складатися з ТЕС, з АЕС, з гідроелектростанцій (ГЕС), з парогазових установок (ПГУ), з сонячних електростанцій (СЕС), геотермальних електростанцій (ГЕОТЕС), вітрових електростанцій (ВЕС). Вибрані показники Х1-Х14 електростанцій (1000 МВт/рік) та їх чисельні значення наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники електростанцій

Показник	ТЕС	АЕС	ГЕС	ПГУ	СЕС	ГЕОТЕС	ВЕС
X1 – кількість нещасних випадків	41	1	3	10	1	5	10
X2 – площа землі, що втрачається назавжди, км ²	0	0,3	0	0	0	0	0
X3 – площа землі, що втрачається тимчасово, км ²	8,5	13,5	100	7,1	30	132	240
X4 – кількість випареної води, млн. т	7	14	86	5,5	14	13	0

X5 – кількість викидів SO ₂ , H ₂ S, Cl, NO _x , тис. т	100	0	0	62	0	12	0
X6 – кількість викидів твердих часток, тис. т	5,5	0	0	0,95	0	0	0
X7 – необхідна теплота, ТВт·год	15,2	19,5	0	14	6	25	0
X8 – кількість сильнорадіоактивних відходів, т	0	25	0	0	0	0	0
X9 – кількість плутонію, що можна виробити, т	0	0,04	0	0	0	0	0
X10 – кількість викидів важких металів, т	658	0	0	410	0	0	0
X11 – виробництво електроенергії, ТВт·год	5,5	6,5	3,6	6,5	2	5	3
X12 – капіталовкладення, млн. дол.	125	151	176	110	210	204	112
X13 – капіталовкладення в імпорфтне устаткування та паливо, млн. дол	58	143	8	36,5	120	40	22
X14 – рейтинг, балів	30	0	20	70	80	60	100

За критеріями, однойменними показникам X1-X14, в діалоговому режимі з ЕОМ викладачами та студентами створена велика кількість математичних моделей системи енергопостачання потужністю 4000 МВт. За допомогою цих моделей визначалися значення комплексного критерію якості варіантів системи з однаковими електростанціями наведених типів. В більшості розрахунків найкращі показники мають варіанти з АЕС, ТЕС, ГЕС, ПГУ відповідно.

В 2006 р. Смаглоком Б. М., студентом, а згодом – інженером ХАЕС, були оцінені можливі стратегії розвитку ядерної енергетики України. Розглянуті наступні стратегії. Впровадження реакторів «КАНДУ», що працюють на незбагаченому ядерному паливі; створення замкненого уранового циклу при незмінному типі реакторів - ВВЕР; будівництво сховища відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) в Чорнобильській зоні відчуження; будівництво сховища ВЯП поблизу площадки Хмельницької АЕС; будівництво автономних сховищ ВЯП на кожній площадці АЕС; розвиток центрифужного методу збагачення урану; розвиток дифузійного методу збагачення урану. Останні два пункти сформульовані, головним чином для задачі створення порівняно невеликої кількості сильнозбагаченого збройового урану в умовах неможливості закупівлі центрифуг в країнах-виробниках. Критерії оцінки варіантів призначені такі: X1 – науково-технічна база; X2 – екологічний вплив; X3 – природно-ресурсна база; X4 – площа відчужених земель на сховища відпрацьованого ядерного палива (на рудодобувних підприємствах); X5 – інвестиції на будівництво галузевих підприємств; X6 – економічна доцільність; X7 – собівартість електричної енергії; X8 – кількість створених робочих місць; X9 – соціологічний рейтинг; X10 – потенційна небезпечність об'єкту; X11 – перспективність стратегії. Результати розрахунків ефективності (сумарної функції корисності) стратегій розвитку ядерної енергетики наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків ефективності (сумарної функції корисності) стратегій розвитку ядерної енергетики

№	Варіант	Сумарна функція корисності
1	Впровадження реакторів «КАНДУ»	0,374
2	Створення замкненого уранового циклу	0,299
3	Будівництво сховища ВЯП в Чорнобильській зоні	0,777
4	Будівництво сховища ВЯП в Хмельницькій області	0,693
5	Будівництво автономних сховищ ВЯП на площадках АЕС	0,703
6	Розвиток центрифужного методу збагачення урану	0,324
7	Розвиток дифузійного методу збагачення урану	0,308
8	Існуюча система атомної енергетики	0,615

З результатів розрахунків можна зробити наступні висновки. Створення замкненого уранового циклу не доцільне через надто високу його вартість. Перехід з реакторів ВВЕР на реактори КАНДУ є недоцільним через високі капіталовкладення. Доцільним є варіант існуючої системи ядерної енергетики (з продовженням термінів експлуатації реакторів) та з будівництвом сховища відпрацьованого палива в Чорнобильській зоні.

Приклади застосування методики системного аналізу для промислових підприємств наведені в [2, 3, 4].

Дослідження гідрологічного режиму водосховища ТЕС. Схема водосховища та результати розрахунку гідрологічного режиму водосховища ТЕС наведені на рис. 2.



Рис. 2. Схема водосховища та результати розрахунку гідрологічного режиму водосховища ТЕС

Початковими даними для програми розрахунку водосховища є середньомісячні значення теплового навантаження водосховища, альbedo поверхні узбережжя, перепади температур в конденсаторах, температури повітря, швидкості вітру, хмарність, атмосферний тиск, геометричні і географічні параметри водосховища. Програма визначає температури та випаровування води, льодовий режим, перепад палива на ТЕС через підвищення температури охолоджувальної води над природною [5].

Технологічні розрахунки фільтрів хімічного водоочищення ТЕС. Розрахунки виконуються програмою, складеною за методикою [6]. Вхідними до програми є параметри хімічного складу води, продуктивність фільтрів, вихідними – витрати реагентів, терміни фільтроциклу, розпушування та регенерації фільтрів.

Оптимізація теплової схеми енергоблоку ТЕС. Теплова схема енергоблоку 300 МВт наведена на рис. 3.

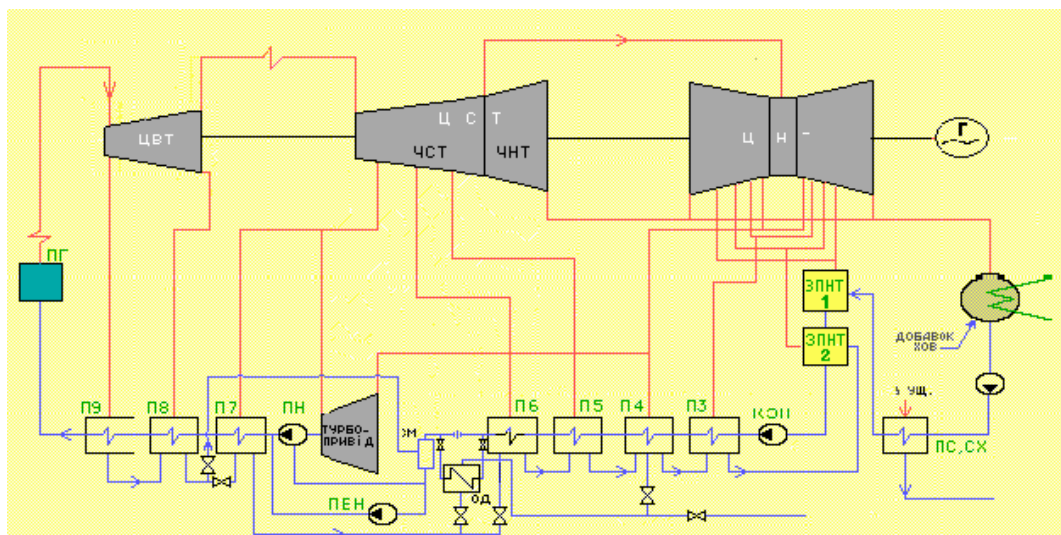


Рис. 3. Теплова схема енергоблоку 300 МВт

За критерій якості варіанта теплової схеми прийнята різниця дисконтованих витрат на поточний та базовий варіанти схеми $\Delta V_{\text{сум}}$, грн/рік, рис. 4.

Суммарні витрати, $\Delta B_{\text{сум}}$:	4690091.81	грн/рік
Витрати на устаткування, $\Delta B_{\text{уст}}$:	3299.48	грн/рік
Витрати на електроенергію зам. ЕС, $\Delta B_{\text{зам}}$:	-4152126.13	грн/рік
Витрати на паливо, $\Delta B_{\text{пал.ел}}$:	8838924.32	грн/рік
Витрати на теплофікацію, $\Delta B_{\text{теплоф.}}$:	-3.38	грн/рік
Витрати на систему техводопостачання, $\Delta B_{\text{техводи}}$:	-2.48	грн/рік
Потужність блока, N:	307.7	Мвт
Питома витрата тепла, q:	9272	кДж/кВт*год.
Питома витрата палива, b:	340.8	гр/кВт*г.
ККД блока:	0.388	
Перепад, ΔP :	7.555	т/год.
Потужність турбіни (Nтурб):	315.08	Мвт
Потужність ЦВТ (Nцвт):	95.16	Мвт
Потужність ЦСТ (Nцст):	134.10	Мвт
Потужність ЦНТ (Nцнт):	85.81	Мвт
ККД ЦВТ:	0.7987	
ККД ЦСТ:	0.9152	
ККД ЦНТ:	0.7521	
ККД останнього східця:	0.6943	
Потужність останнього східця (Nос):	13007.7	КВт
Втрати з вихідною швидкістю ($\Delta N_{\text{вш}}$):	6217.5	КВт
Вологість на вході (Y1):	0.0617	
Вологість на виході (Y2):	0.0758	
Відношення GV до (GV)ном:	1.3038	
Швидкість пари виході (Cвих):	297.380	м/с
Число Маха (M):	0.789	

Рис. 4. Головні результати розрахунку варіанта теплової схеми блока 300 МВт

Кількість параметрів що оптимізуються – 45. Оптимізаційні дослідження виконуються, як варіантними розрахунками, так і автоматично, за допомогою ЕОМ. Частина вихідної інформації до розрахунків схеми має імовірнісний характер зміни її на протязі часу експлуатації ТЕС, який складає 30 і більше років. Ця обставина враховується в дослідженнях схеми. Задачами дослідження є: оптимізація тисків пари у відборах турбіни; оптимізація конденсаційної установки; оптимізація поверхонь теплообміну підігрівників низького тиску (ПНТ); оптимізація теплофікаційної установки (ТФУ); оптимізація підігрівників високого тиску (ПВТ).

Теплообмінники в схемі розраховуються за методикою перевірного розрахунку при заданих поверхнях теплообміну F та заданих коефіцієнтах теплопередачі K . Значення K згідно досліджень станційних ПНТ знаходяться в межах 2000 – 4000 Вт/м²град. Для врахування невизначеності в значенні коефіцієнта теплопередачі K , оптимізація ПНТ виконується при середньому та найнижчому значеннях K (3000 і 2000 Вт/м²град).

Задачею дослідження теплофікаційної установки є збільшення її потужності з 15 МВт до 30 МВт, за рахунок заміни підігрівників мережної води на більш потужні. Задача оптимізації полягає у визначенні поверхонь теплообміну охолодника дренажу $F_{\text{од}}$, основного та пікового бойлерів $F_{\text{об}}$ і $F_{\text{пб}}$. Вартісні характеристики устаткування на протязі майбутньої експлуатації в значній мірі є ймовірними. Тому, оптимізація ТФУ виконується в такій послідовності: формування песимістичного, середнього та оптимістичного альтернативних наборів вхідних даних; оптимізація поверхонь ТФУ для альтернативних наборів вхідних даних; аналіз результатів оптимізації і визначення остаточного варіанту.

Оптимізація підігрівників високого тиску (ПВТ) виконується на двох рівнях. ПВТ складається з трьох зон: охолодження пари (ОП), конденсації пари (КП) та охолодження конденсату (ОК). Зони групи ПВТ 7, 8, 9 наведені на рис. 5.

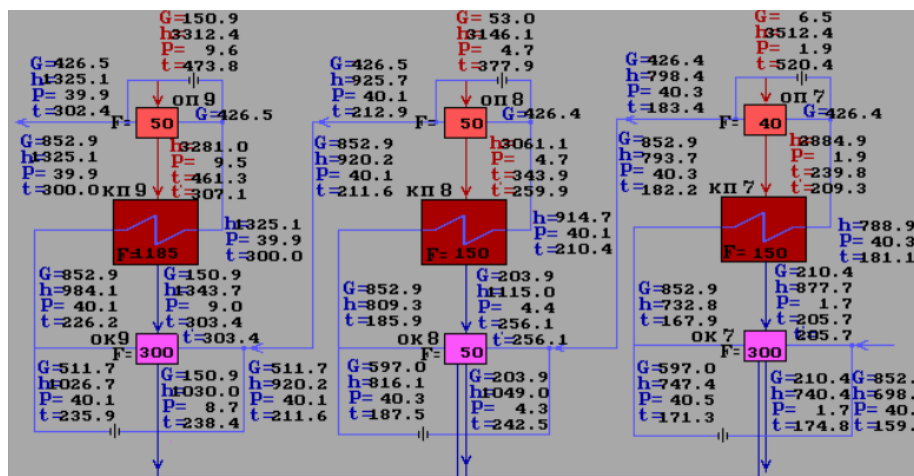


Рис. 5. Зони групи ПВТ 7,8,9

Параметри ПВТ поділяються на зовнішні та внутрішні. Зовнішніми є значення термодинамічних параметрів теплоносіїв на вході до зон підігрівників, а внутрішніми є конструктивні параметри ПВТ. Зовнішні параметри визначаються за допомогою комп'ютерної програми на турбобудівному заводі ХТГЗ. Вони є вхідними для комп'ютерної програми розрахунків внутрішніх параметрів ПВТ на заводі-виробнику ПВТ ТКЗ. Обидві програми розроблялися за участю авторів тез і використовуються в цій практичній роботі. Оптимізація зовнішніх параметрів виконується варіантними розрахунками теплової схеми блока. Внутрішні параметри оптимізуються за допомогою програми "ПВТ" або варіантними розрахунками, або автоматично – методом покоординатного спуску. Результати досліджень теплової схеми блока 300 МВт наведені в [7].

Висновки

1. Створено програмне забезпечення до практичних занять та курсового проектування з теплотехнічних дисциплін.
2. Програмне забезпечення до практичних занять використовують для розв'язку типових задач та числових досліджень енергетичних установок.
3. Результати практичних робіт використовуються в курсовому проектуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головченко. О. М. Игровое проектирование энергетического оборудования / О. М. Головченко, Д. Б. Налбандян. – К. : УМК ВО, 1988. – 236 с.
2. Головченко О. М. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Енергозбереження в промисловості» / О. М. Головченко, О. М. Нанака. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 30 с.
3. Головченко О. М. Системний аналіз перспективних джерел міського енергопостачання / О. М. Головченко, В. В. Студинський // Енергетика та електрифікація. – 2010. – №6. – С. 27-35.
4. Огороднік М. В. Системний аналіз теплової схеми енергопостачання будівлі з відновлюваними джерелами енергії [Електронний ресурс] / М. В. Огороднік, О. М. Головченко, О. М. Нанака // Матеріали XLVI Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця 22–24 березня 2017 р. – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2017/paper/view/2354>.
5. Головченко О. М. Адаптація енергоблока ТЕС до зміни гідрологічного режиму водосховища / О. М. Головченко, О. І. Юношев // Вісник ВПІ. – 2012. – № 5. – С.75-80.
6. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС. Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1991.— 328 с.
7. Москвічова М. Ю. Напрямок модернізації та дослідження теплової схеми енергоблоку Ладижинської ТЕС [Електронний ресурс] / М. Ю. Москвічова, О. М. Головченко, О. М. Нанака // Матеріали XLVI Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця 22–24 березня 2017 р. – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2017/paper/view/2355>.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Нанака Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Oleksiy M. Golovchenko – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Electromechanical Systems Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Olena M. Nanaka – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Electromechanical Systems Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.