

Висновки. 1. Запропоновано і проаналізовано модель дротяної перехідної ділянки між внутрішнім і зовнішнім виводом ІС.

2. На основі конкретних даних ІС розраховано характеристики моделі на довільному навантаженні: час затримки вихідної напруги щодо вхідної, стала часу дільниці, можлива тривалість перехідного процесу та втрати на перехідній дільниці.

3. Проведене дослідження показало, що на частоті ЗГГц втрати є цілком допустимими для ділянки і задовольняють працездатність ІС.

4. Аналіз характеристик показав, що оптимальним є діапазон опорів навантаження від 100 Ом до 5 кОм. Нижня їхня межа обмежується втратами, а верхня – збільшенням тривалості перехідного процесу.

5. Встановлено, що час затримки сигналу на ділянці для частоти 3 ГГц слабо залежить від активного опору дільниці. На нижчих частотах ця залежність збільшується, але сам час затримки при цьому зменшується.

1. Афанасьев К. *AKG_Monster@usa.net//Компьютерные вести On-line.-С миру по байту.* – 1990. – № 20. 2. Хейд Д., Снайдер Б. *Мир ПК.* – 1998. – № 3. 3. Ефименко А.А., Шаталов В.В. *Моделирование разъемных контактов в электрических соединениях электронной аппаратуры // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* – 2001. – № 4–5. – С. 7. 4. Дячок Д.Т., Смеркло Л.М. *Моделі зварних мікроконтактних з'єднань дроту і плівкового провідника // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2004. – № 508. – С. 281–285. 5. Бер А.Ю., Минскер Ф.Е. *Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.* – М.: Высшая школа, 1986. – С. 18. 6. Вамберский М.В. и др. *Передающие устройства СВЧ.* – М.: Высшая школа, 1984. – 448 с. 7. Дьяконов В.П. *Новый микропроцессор Intel Pentium4 // www.exponenta.ru/educat/news/dyakonov/p4/p4.asp.* 8. *Comtest.Тесты компьютерного железа.Процессоры, материнские платы, видео, звук...* // [www.comtest.ru/modules.php?op=modload&name=News&file=index&catid=...\(28.03.2006\)](http://www.comtest.ru/modules.php?op=modload&name=News&file=index&catid=...(28.03.2006)). 9. Атабеков Г.И. *Основы теории цепей.* – М.: Энергия, 1969. – 424 с. 10. Бурова Н.Н. *О сопротивлении микроконтактов между тонкими пленками и проводниками // Изв.вузов. Приборостроение.* – 1972. – № 2. – С. 117–122. 11. Евтеев Ф.Е., Бурова Н.Н. *Свойства микроконтактов, получаемых термокомпрессионным методом // Изв. Вузов. Приборостроение.* – 1967. – № 11. – С. 117–123. 12. Дячок Д.Т. *О сопротивлении контактного соединения микропроволоки и тонкопленочного проводника // Вопросы радиоэлектроники.* – Сер. ОВР. – 1988. – Вып. 12. – С. 112–115. 13. *Справочник по радиоэлектронным устройствам / Под ред. Д.П. Линде.* – М.: Энергия, 1978. – Т. 1. 14. Бова М.Т., Лайхтман І.Б. *Вимірювання параметрів антен і пристроїв НВЧ.* – К. :Вища школа, 1975. – 111 с. 15. Яворський Б.М., Детлаф А.А. *Справочник по физике.* – М.: Наука, 1968. – 940 с.

УДК 620.92

П.Є. Яковчук, В.Б. Цяпа*, Б.І. Крохмальний**

КОМБІНОВАНЕ ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Яковчук П.Є., Цяпа В.Б., Крохмальний Б.І., 2006

Здійснено аналіз особливостей використання установок комбінованого вироблення теплової та електричної енергії малої потужності. Показано високу економічну ефективність застосування таких установок стосовно конкретних споживачів.

Conducted analysis of features of the use of options of the combined making of thermal and electric energy of small power. High economic efficiency of application of such options is rotined in relation to concrete users.

Постановка проблеми. Сучасні системи постачання електричною та тепловою енергією побудовані так, що електрична енергія постачається національною мережею, а тепла виробляється на місцевих котельнях. Проте відомо, що сумісне вироблення електричної та теплової енергії є економічно вигідним і його актуальність різко зростає із збільшенням ціни на первинні енергоносії.

Аналіз останніх досліджень. Застосування сумісного виробництва теплової та електричної енергії є досить відоме стосовно установок великої потужності. Це так звані ТЕЦ – тепло-електроцентралі [1, 2]. Проте задачі використання сумісного виробництва енергії на установках малої потужності досліджені недостатньо [3]. Ця задача стає ще актуальнішою у зв'язку з новими досягненнями та розвитком нових методів [4].

Задачі досліджень. Існує деяке упередження щодо ефективності використання енергетичних установок малої потужності в нашій країні, що зумовлено традиціями та деяким консерватизмом в енергетичній галузі. Тому в цій роботі ставиться задача показати переваги і оптимальну царину застосування енергоблоків малої потужності.

Виклад основного матеріалу. Традиційною є система забезпечення тепловою і електричною енергіями, коли електрична енергія постачається національною мережею, а тепла виробляється на котельнях різноманітного підпорядкування – від великих районних до малих котелень на виробництві.

Разом з тим, відомо, що сумісне виробництво теплової і електричної енергії є безумовно економічно вигідним. Комбіноване виробництво теплової і електричної енергії (далі КВТЕ) не є новим, цей принцип відомий від початку ХХ століття. Тоді основну масу електричної енергії виробляли на автономних ТЕЦ. Але з розвитком національних електричних систем, збільшенням у них інвестицій, надійність і потужність їх значно збільшилися, зменшилися ціни на електроенергію, і, як наслідок, кількість автономних КВТЕ зменшилась.

У нашій державі регулювання цін на електричну енергію є частиною національної політики – ціна на електричну енергію є значно нижчою від реальної, що стримує впровадження таких автономних систем КВТЕ, коли всі витрати з придбання, встановлення та експлуатації власник бере на себе. Він тим охочіше впроваджуватиме такі системи, чим вони будуть ближче за рентабельністю до звичайного технологічного обладнання.

Є споживачі (наприклад, лікарні, спортивні центри, великі готелі), де вже сьогодні доцільно впроваджувати такі системи, тим більше, що економіка держави прямує до цивілізованого ринку, коли ціни на енергію відповідатимуть реальним витратам на її виробництво.

Принцип системи КВТЕ полягає у виробленні електричної і теплової енергії від одного первісного джерела енергії – органічного або ядерного палива. Він базується на використанні споживача як холодного джерела, яке є необхідним згідно з другим законом термодинаміки. У такому циклі коефіцієнт корисної дії (ККД) використання палива може перевищувати ККД циклу Карно, який обмежує ККД перетворення теплової енергії в механічну (а тому і в електричну).

Залежно від потреб споживача та теплової машини, яка використовується, можливі декілька варіантів побудови схеми КВТЕ. Основою схеми є тепла машина, яка за тим чи іншим термодинамічним циклом перетворює теплову енергію в механічну, але параметри робочого тіла знижуються не до параметрів навколишнього середовища, а до рівня, який ще дає можливість використати тепловий потенціал теплоносія для потреб, які не вимагають великих температур. Це, наприклад, потреби опалення, гарячого водопостачання, різноманітні технологічні процеси тощо.

Найпоширенішими тепловими машинами, на яких базується КВТЕ, є:

- парові турбіни з протитиском, виробництво яких добре відпрацьоване;
- двигун внутрішнього згорання з котлом – утилізатором;
- газова турбіна з котлом – утилізатором.

Для потреб КВТЕ малої теплової і електричної потужності доцільно використовувати двигуни внутрішнього згорання та газові турбіни, які краще забезпечують маневреність, мають достатньо високий ККД, якщо немає альтернатив палива. Електрична енергія виробляється генераторами, а вторинне тепло передається споживачу або безпосередньо, або за допомогою теплообмінників.

Проблеми транспортування і передавання тепла споживачу вирішують за допомогою традиційних теплообмінних апаратів різного типу: поверхневих, регенеративних, змішувачів і барботажних та звичайних теплових мереж.

Обмеженнями використання КВТЕ можуть бути:

– принципів можливості систем трансформації та передавання тепла. Наприклад, застосування котла-утилізатора збільшує теплові втрати з відхідними газами у зв'язку із збільшенням вихідної температури нагріваного продукту, і тому практично неможливо утилізувати тепло з температурою, меншою від 50 °С.

Максимальний фінансовий прибуток під час використання невеликих автономних систем КВТЕ буде тоді, коли вони постійно працюють в режимі номінальної потужності, а це означає, що повинні бути або постійний споживач теплової енергії, або можливість продавати тепло.

Перспективним є розширення можливості систем КВТЕ за рахунок комбінованих схем виробництва електричної, теплової енергії і холоду. Такі системи повинні бути особливо привабливі для підприємств харчової промисловості – молочної та м'ясної, які є стабільними споживачами всіх трьох видів енергії. Найкориснішими є абсорбційні холодильні машини, які мають термохімічний насос, що споживає низько- та середньопотенційну теплову енергію. Існують й інші перспективні схеми вироблення електричної, теплової енергії і холоду в єдиному технологічному циклі, коли відхідні гази газової турбіни використовують як холодильний агент.

Роздільне вироблення електроенергії зв'язане зі здійсненням тепломеханічного циклу, корисним ефектом якого є лише перетворення тепла в роботу. Для паросилової установки таким циклом є цикл Ренкіна і деякі його різновиди, коли спрацьована пара двигуна надходить в конденсатор, а тепло конденсації пари являє собою невикористане тепло, яке віддається холодному джерелу. Внаслідок порівняно великої кількості тепла конденсації пари ефективність тепломеханічного циклу паросилової установки, яка працює з конденсатором, невелика. На корисну роботу перетворюється в ідеальному циклі не більше ніж 40% затраченого тепла.

Отже, основною енергетичною особливістю процесу роздільного вироблення електроенергії є використання лише тепла високого потенціалу, а тепло низького потенціалу в роботу не перетворюється.

Основною енергетичною особливістю *теплопостачання* є корисне використання всього утвореного тепла. Тут використовується тепло високого і низького потенціалу.

Ця можливість створює передумови для поєднання двох розглянутих процесів: комбіноване вироблення електроенергії і тепла, і причому так, що для теплопостачання використовується частково або повністю тепло спрацьованої пари двигунів (тепло низького потенціалу).

Комбіноване вироблення теплової та електричної енергії на основі циклу Ренкіна обов'язково збільшує температуру вихідних газів T_2 , що зменшує ККД, під час використання двигунів внутрішнього згорання повного та неповного розширення. Тому немає потреби змінювати умови робочого циклу, оскільки вихідні температури цих циклів і так досить високі. Необхідно тільки використати вторинне тепло процесів.

Основні критерії КВТЕ характеризують ефективність вироблення електричної, теплової енергії та їх суми (системний ККД):

– електричний ККД η_e :

$$\eta_e = W/Q_p;$$

– тепловий ККД η_q :

$$\eta_q = Q/Q_p;$$

– системний ККД η_s :

$$\eta_s = (Q+W)/Q_p;$$

де Q – теплова потужність системи (кВт); W – електрична потужність системи (кВт); Q_p – хімічна енергія палива в системі (кВт).

Ефективність перетворення різних форм енергії одна в одну неоднакова, наприклад, хімічна енергія перетворюється в теплову з ефективністю до 90 %, теплова в механічну – 20–45 %, електрична в теплову – 100 %, електрична в механічну і навпаки з ефективністю 85–95 %. Найменшим є коефіцієнт перетворення теплової енергії в механічну, він обмежений теоретичним ККД циклу Карно η_k , який є функцією тільки мінімальної T_2 і максимальної T_1 температур у процесі:

$$\eta_k = 1 - T_2/T_1.$$

Тому для досягнення максимального ККД перетворення теплової енергії в електричну необхідно збільшувати максимальну і зменшувати мінімальну температури в циклі. Рівень максимальної температури обмежується насамперед можливостями конструктивних матеріалів, мінімальна – температурою холодного джерела – навколишнього середовища. Найбільшим буде системний ККД, він може досягати 80–90 %.

Незважаючи на безперечні переваги такого принципу використання теплової енергії, є фактори, які обмежують широке використання систем КВТЕ.

По-перше, максимальна користь від КВТЕ буде тільки за постійної роботи системи в оптимальному режимі. Це, своєю чергою, означає, що повинен бути постійний споживач і теплової, і електричної енергії, причому у визначеній і постійній пропорції, останнє особливо актуальне для двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).

По-друге, ціни на електроенергію можуть не відповідати дійсним витратам на виробництво енергії. Субсидії держави можуть спричинити штучне зниження цін і створити ситуацію, коли системи КВТЕ будуть мало привабливими для споживача. Інвестиції в державні джерела електричної енергії фінансуються державою, і тому коефіцієнти окупності їх можуть бути дуже низькими. Інвестиції виробників не можуть орієнтуватись на дуже великі терміни окупності, особливо за сьогоdnішнього стану економіки в Україні.

Принципова схема системи КВТЕ з ДВЗ неповного розширення показана на рис. 1.

Потужність систем КВТЕ з ДВЗ буває від 10 кВт до 15 МВт (потужність на валу двигуна). ДВЗ можуть працювати на рідкому або газоподібному паливі, не створюючи проблем утилізації тепла, крім роботи на газах, отриманих під час розкладання відходів. В останньому випадку необхідно враховувати, що такий газ може мати великий вміст води та сульфїду водню, що може спричинити корозію двигуна і теплообмінного обладнання.

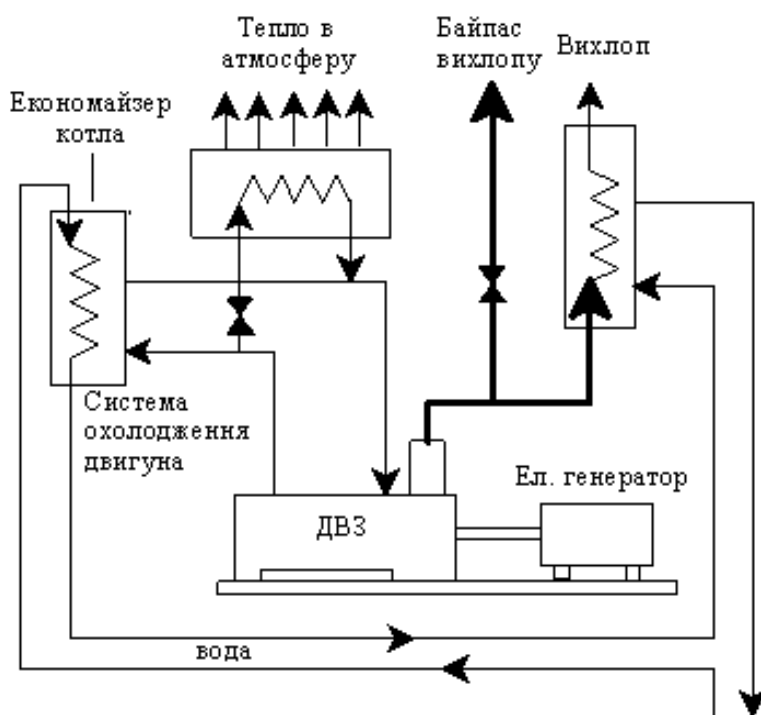


Рис. 1. Типова схема КВТЕ з двигуном внутрішнього згорання

Енергетичний баланс двигуна внутрішнього згорання наведений в табл. 1. Тепло, яке виділяється в двигуні, відводиться:

- з вихлопними газами;
- у вигляді тепла рідини від охолоджувальних систем двигуна, мастила та повітря наддуву, якщо двигун оснащений турбонаддувом;
- теплові втрати з поверхні випромінюванням і конвекцією.

Таблиця 1

Енергетичний баланс двигуна внутрішнього згорання

Складова енергетичного балансу, %	Процент енергії від енергії палива			Температура, °С	
	Потужність двигуна, кВт			вхід	вихід
	80-120	400-1200	4000-6000		
Потужність	30-35	30-40	35-42		
Вихлопні гази	22	26	35	450	
Система охолодження двигуна	33	25	9	95	85
Охолодження мастил	4	4	4	85	75
Охолодження повітря на вході	6	6	6	35	30
Втрати тепла з поверхні двигуна	2	4	4	-	-
Всього, %	100	100	100		
Утилізація теплоти при високих температурах	10	11	12	200	190
Утилізація теплоти при середніх температурах	15	16	16	120	110
Утилізація теплоти при низьких температурах	54	47	47	80	70

Кількість теплоти, яка може бути регенована, залежить від потреб споживача. Під час роботи на систему опалення коефіцієнт використання тепла буде більшим, ніж при роботі на споживача пари. Це пояснюється тим, що під час роботи на систему опалення температура теплоносія є нижчою, ніж під час вироблення пари, а тому і температура відхідних газів буде нижчою. Тому коефіцієнт використання тепла збільшиться.

Принципова схема системи КВТЕ з газовою турбіною показана на рис. 2.

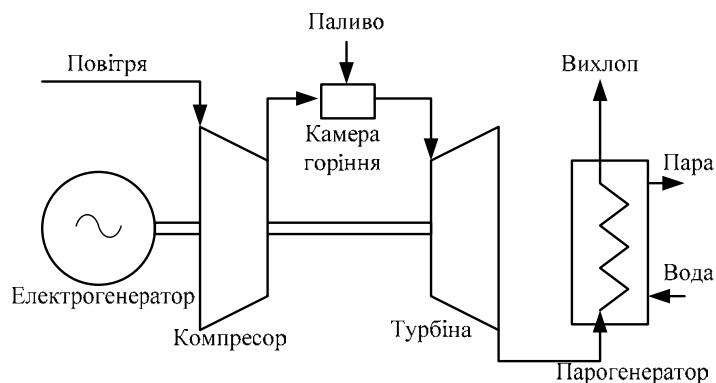


Рис. 2. Принципова теплова схема КВТЕ з газовою турбіною

У газовій турбіні існує три потенціальних джерела тепла (табл. 2), яке можна утилізувати;

- вихлопні гази;
- система охолодження мастила;
- втрати тепла з поверхні турбіни.

Втрати з поверхні та в системі охолодження мастила мають незначний потенціал для рекуперації тепла, і практично використовується тільки тепло вихлопних газів.

Корисне тепло вихлопних газів утилізується в котлі-утилізаторі. Однак конструкція системи рекуперації тепла істотно впливає на робочі характеристики і ефективність газової турбіни. Критичним питанням є протитиск, який утворює система рекуперації тепла. За кожного збільшення тиску в системі вихлопу на 1 кПа, вихідна потужність газової турбіни знизиться приблизно на 1,2 %.

Гарячий відпрацьований газ можна використати безпосередньо для технологічного підігрівання, наприклад, для сушіння (в тому разі, якщо система використовує як паливо природний газ, який дає “чистий” вихлопний газ).

Таблиця 2

Енергетичний баланс двигуна газової турбіни

Складові енергетичного балансу, %	Процент енергії від енергії палива			Температура	
	Потужність двигуна, МВт			вхід	вихід
	0,8–1,2	4–6	14–24		
Потужність	27	32	37		
Вихлопні гази	72	67	62	500	
Охолодження мастил	<1	<1	<1	70	50
Втрати тепла з поверхні двигуна	<1	<1	<1	–	–
Всього, %	100	100	100		
Утилізація теплоти при високих температурах	40	38	36	200	190
Утилізація теплоти при середніх температурах	52	49	46	120	ПО
Утилізація теплоти при низьких температурах	57	53	49	80	70

Вихлопні гази містять приблизно 16% кисню, тому можна збільшити вміст тепла вихлопних (відхідних) газів спалюванням додаткового палива в потоці відхідних газів. Після вибору оптимального типу обладнання для утилізації тепла необхідно проаналізувати можливі проблеми з установкою та експлуатацією. Ретельне планування допоможе мінімізувати витрати на ці процеси, а також втрати, які спричинені зупиненням обладнання. І навпаки, у разі неякісного планування збільшуються виробничі витрати, через що проект з утилізації тепла може стати економічно не вигідним.

Важливо також передбачити можливість доступу для експлуатаційного ремонту, спланувати його режим і процедуру проведення. Для збільшення прибутку від систем утилізації тепла необхідно підтримувати якісний робочий стан обладнання, щоб експлуатаційний ремонт якнайменше впливав на основне виробництво. Для цього необхідне регулярне проведення ремонту. Простий доступ до системи для експлуатаційного ремонту значно полегшує це завдання.

Проблему “постійного споживача” теплової енергії можна вирішити за допомогою сумісного виробництва тепла, холоду та електричної енергії на базі двигунів внутрішнього згорання. Для цього можуть бути використані абсорбційні холодильні установки.

Абсорбційна холодильна установка [4] як джерело енергії використовує теплову енергію низького або середнього потенціалу і вихлопи ДВЗ можуть цілком забезпечити її роботу. Принцип дії абсорбційної установки полягає в тому, що в ділянці компресора використовується термохімічний процес абсорбції – десорції, поглинання і виділення з рідини пари іншої речовини – абсорбента.

В абсорбері, пристрої для розчинення абсорбента, пара поглинається рідиною, де найчастіше як абсорбент використовують аміак, рідина – вода. Вода поглинає велику кількість аміаку, до 1200 одиниць об’єму пари на одиницю об’єму води. При цьому виділяється близько 1,26 МДж/кг, тому цей процес відбувається з підвищенням температури і потребує відведення тепла.

Якщо далі воду з розчиненим аміаком підігріти до температури кипіння, аміак випаровується з води, але при тиску, який відповідає температурі кипіння, при 100 °С, близько 1 МПа. Цей процес потребує підігрівання і найкращим для цього є тепло відхідних димових газів.

Система абсорбер-випарник працює як нагнітач у звичайному холодильному циклі. Схема реальної холодильної установки з абсорбером показана на рис. 3.

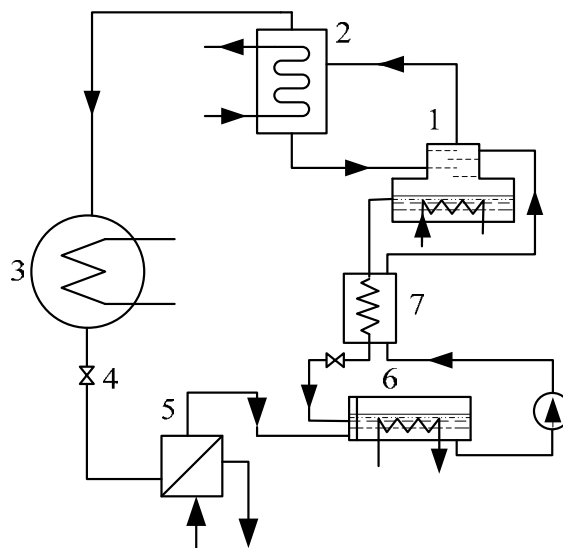


Рис. 3. Схема абсорбційної холодильної установки:
1 – генератор аміаку; 2 – дефлегматор; 3 – конденсатор; 4 – дросель,
5 – холодильна камера; 6 – абсорбер; 7 – теплообмінник-регенератор

Оскільки процес в випарнику потребує підігрівання води, доцільно організувати регенерацію тепла прямого потоку і зворотного потоку за допомогою теплообмінного апарату вода-вода. Крім того, під час випаровування аміаку в парову фазу виходить і певна кількість води, що може призвести до зупинення процесу внаслідок її замерзання в зоні холодних температур. Тому у випарнику організований розподіл води і аміаку за принципом ректифікаційної колони.

Практика показує, що абсорбційні холодильні установки мають великі переваги і їх можна ефективно використовувати, якщо є такі умови:

- існують теплові відходи у вигляді димових газів середньої температури;

- якщо необхідне отримання холоду від -30 до -60 °С, в цьому разі з абсорбційними агрегатами не можуть конкурувати компресійні теплові машини;
 - існує споживач гарячої води, наприклад, для побутових або технологічних процесів.
- Всі ці умови разом виконуються, наприклад, на підприємствах м'ясної або молочної промисловості.

Висновки. Отже, використання установок комплексного виробництва теплової та електричної енергії малої та середньої потужності економічно вигідно. Максимальний ефект можна отримати за одночасного вироблення тепла, холоду та електричної енергії при стабільному графіку навантаження. Ці установки можна проектувати на базі окремих технологічних блоків, які вже є освоєні в виробництві та експлуатації.

1. *Технічна термодинаміка / В.С. Жуковський. – К.: ДТВУ, 1953. – 444 с.* 2. *Техническая термодинамика. Теплопередача / Б.Н. Юдаев. – М.: Высш. шк., 1988. – 479 с.* 3. *Ковалко М.П., Денисюк С.П. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – К., 1988. – 506 с.* 4. *Яковчук П.Э. та ін. МікроТЕЦ як засіб оптимізації систем енергопостачання. – Львів, 2000. – 405 с.* 5. *Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. – М.: Энергия, 1972. – 320 с.*

УДК 621.314

М.А. Яцун

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕМА

ОСНОВНІ СКЛАДОВІ ВЛАСНОЇ І ВЗАЄМНОЇ ІНДУКТИВНОСТЕЙ, ІНДУКТИВНОСТЕЙ РОЗСІЯННЯ І КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ СПІВВІСНИХ ОБМОТОК НА ФЕРОМАГНІТНОМУ ОСЕРДІ

© Яцун М.А., 2006

Отримано вирази для основних складових власної і взаємної індуктивностей, індуктивностей розсіяння і короткого замикання циліндричних співвісних обмоток на феромагнітному осерді залежно від геометричних розмірів і взаємного розміщення обмоток, розмірів і властивостей екрана.

Expressions are for the basic constituents of own and mutual inductances, inductances of dispersion and short circuit of cylinder align windings on ferromagnetic to the core depending on geometrical and mutual placing of windings, and properties of screen.

Постановка проблеми. У силових масляних трансформаторах і багатьох реакторах обмотки (котушки) розміщені на феромагнітному осерді, а стінки, дно і кришка бака, а також ярмові балки виконують роль магнітних екранів. Звичайно висота обмоток значно більша від їх радіального розміру. Тоді за наявності феромагнітних екранів визначальними (основними) є складові параметрів котушок, які входять у загальні вирази і не залежать від осьової координати. Тому визначення основних складових параметрів котушок, як спрощених виразів і наближених значень параметрів під час попереднього їх оцінювання, має актуальне значення.

У загальному випадку, як і в літературі [4], використаємо розрахункову модель (рис. 1), яка складається із двох співвісних циліндричних котушок на феромагнітному осерді без втрат і замкненого екрана висотою H у формі двох циліндрів і двох однакових шайб з радіусами r_0 і R , що