

Міністерство освіти та науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Реферат на тему:

Методи та засоби контролю кип'ятильних труб пароводяного котла

Виконав: **Карявка А.В.**

Київ, 2009

Зміст

Зміст	1
Перелік умовних скорочень	2
Вступ	3
1. Об'єкт контролю	4
1.1. Побудова та принцип роботи парового котла типу ДКВр	4
1.2. Кип'ятильні труби парового котла типу ДКВр	7
1.3. Дефекти кип'ятільних труб парових котлів типу ДКВр	7
2. Методики контролю кип'ятільних труб парових котлів	9
2.1. Методи та обсяги контролю кип'ятільних труб парового котла типу ДКВр за „Положенням про технічне діагностування енергетичного обладнання підприємств Мінпромполітики України”	9
2.2. Методи та обсяги контролю кип'ятільних труб парового котла типу ДКВр, запропоновані ЗАТ НВДЦ	11
2.3. Запропоновані автором магістерської роботи методи та обсяги контролю кип'ятільних труб парового котла типу ДКВр	12
3. Теоретичні відомості про методи контролю, використані або згадані в роботі	14
3.1. Загальні відомості про методи	14
3.2. Ультразвуковий метод контролю	15
3.3. Акустико-емісійний метод контролю	17
3.4. Вихрострумний метод контролю	18
3.5. Багатопараметровий метод контролю	22
Список таблиць	26
Список ілюстрацій	27
Перелік використаної літератури	28

Перелік умовних скорочень

АЕ – акустична емісія

АК – акустичний контроль

ВК – вихрострумний контроль

ВСП – вихрострумний перетворювач

ДКВр - двохбарабанный котел вертикально-водотрубный реконструированный

НК – неруйнівний контроль

НВДЦ – науково-виробничий діагностичний центр

ОК – об'єкт контролю

ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач

ПД – перетворювач довжини

ТД – технічна діагностика

УЗК – ультразвуковий контроль

УЗП – ультразвуковий перетворювач

УЗТ – ультразвукова товщинометрія

АЕ – acoustic emission (див. АЕ)

ЕТ – eddy current testing (див. ВК)

УТ – ultrasonic testing (див. УЗК)

Вступ

Двохбарабанні котли вертикально-водотрубні реконструйовані (ДКВр) використовуються на підприємствах та в комунальних господарствах для нагріву води та утворення перегрітої пари для технологічних потреб. Принцип роботи даного типу котла пояснюється в розділі 1.1.

Основною задачею даної магістерської роботи є аналіз методів та апаратури неруйнівного контролю стану матеріалу труб теплообмінників котла, що використовується сьогодні відповідними діагностичними організаціями, і які складені на базі стандартів та нормативних документів України.

Виходячи з власного досвіду роботи, отриманого при виконанні контролю стану теплообмінників парових котлів типу ДКВр разом із спеціалістами (технічні експерти, дефектоскопісти, експерти з акустичної емісії) ЗАТ «Науково-виробничий діагностичний центр» (ЗАТ НВДЦ), Доцільність виконання такого аналізу пояснюється тим, що згадані вище методики та рекомендована апаратура неруйнівного контролю не в повній мірі забезпечують визначення стану матеріалу теплообмінників. Згідно діючої методики, контроль стану виконується в обмеженій кількості точок поверхні цих теплообмінників і зовсім не передбачується контроль матеріалу в важкодоступних місцях конструкції теплообмінників.

Недоліком існуючої методики є необхідність руйнування футерівки та цегляної кладки з метою доступу до нагрівної частини котла представленої трубчастими конструкціями. Вказаний недолік призводить до значних матеріальних затрат, що пов'язані з роботою по зняттю та відновленню футерівки, а також затрат, що пов'язані з зупинкою і втратою робочого часу на проведення даних робіт. І це в той час, коли є можливість створити

спеціальну апаратуру для суцільного неруйнівного контролю стану матеріалу труб без порушення футерівки.

Виходячи зі сказаного вище, задача даної роботи полягає у виконанні досліджень і проектувальних розрахунків, направлених на створення апаратури контролю нагрівних труб і труб теплообмінника з введенням вимірювального перетворювача в ці труби через відкритий люк верхнього барабану на час контролю. При цьому ставиться за мету виконання контролю з наперед заданою мінімальною просторовою дискретністю та роздільною здатністю.

Виконання даної роботи здатне скоротити час зупинення котлів на виконання їх контролю, та зменшити об'єми підготовчих робіт, що в цілому призведе до значного економічного ефекту.

1. Об'єкт контролю

1.1. Побудова та принцип роботи парового котла типу ДКВр

Конструктивна схема котлів типу ДКВр, паропродуктивністю до 10 т/год. однаково незалежна від палива та топичного пристрою, що використовується. Нижче можна ознайомитись з конструкцією парового котла ДКВр на фотографії.

Котел має верхній довгий та нижній короткий барабани, що розташовані уздовж вісі котла. Котли мають екрановану топичної камеру та розвинутий кип'ятильний пучок з гнутих труб. Для усунення затягування полум'я в пучок та зменшення втрат з виносом та хімічним недопалом топична камера котлів ДКВр-2,5, ДКВр-4, ДКВр-6,5 ділиться шамотною перегородкою на дві частини: власне топку та камеру догорання. На котлах ДКВр-10 камера догорання відділяється від топки трубами заднього екрану. Між першим та другим рядами труб котельного пучка всіх котлів також

встановлюється шамотна перегородка, що відділяє пучок від камери догорання.



Рисунок 1.1. Фотографія парового котла ДКВр 6,5-13 ГМ

Всередині котельного пучка маємо чугунку перегородку, що ділить його на перший та другий газоходи та забезпечує горизонтальне розвертання газів в пучках при поперечному омиванні труб.

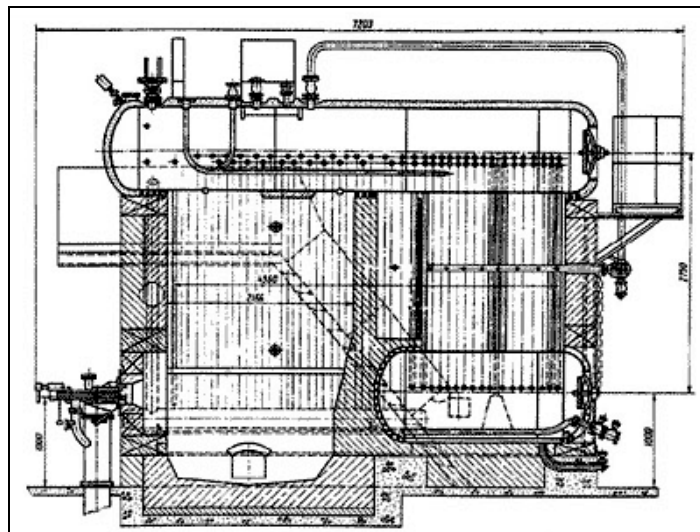


Рисунок 1.2. Схема парового котла ДКВр

Вхід газів з топки в камеру догорання та виходів газів з котла — асиметричні. При наявності пароперегрівача, частина кип'ятильних труб не встановлюється; перегрівачі розміщуються в першому газоході після другого — третього рядів кип'ятильних труб.

Котли мають два барабани — верхній (довгий) та нижній (короткий) та трубну систему. Для огляду барабанів та установки в них пристроїв, а також для чистки труб на днищах маємо овальні лази 325×400 мм.

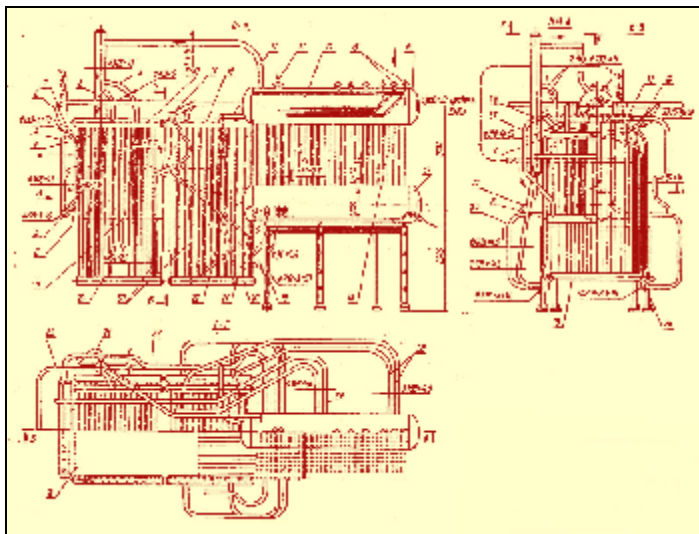


Рисунок 1.3. Креслення парового котла типу ДКВр

Барабани з внутрішнім діаметром 1000 мм на тиск 1,4 МПа виготовляються зі сталі 16ГС або 09Г2С та мають товщину стінки 13 мм. Екрани та кип'ятильні пучки котлів виконуються зі сталевих безшовних труб.

Для видалення відкладень шламу в котлах передбачено торцеві люки на нижніх камерах екранів, для періодичної продувки камер маємо штуцери, діаметром 32×3 мм.

Пароперегрівачі котлів типу ДКВр, що розташовані в першому по ходу газів газоході, уніфіковані по профілю для котлів однакових тисків та відрізняються для котлів різної паропроодуктивності лише числом паралельних зміювиків.

Пароперегрівачі — одноходові по парі, забезпечують отримання перегрітої пари без використання пароохолоджувачів. Камера перегрітої пари кріпиться до верхнього барабану, одна опора цієї камери робиться нерухомою, а інша — рухомою.

1.2. Кип'ятильні труби парового котла типу ДКВр

Кип'ятильні труби парового котла (Рисунок 1.4) типу ДКВр виготовляються зі сталі Ст. 10, мають діаметр 51 мм та товщину стінки 2,5 мм. Більшість конструкції котла практично складається з таких кип'ятильних труб, вони утворюють фронтний, задній, правий та лівий екрани, кип'ятильний та конвекційний пучки.

Ці труби витримують найвищі температурні навантаження. Радіуси згину не перевищують 2 м. До більшості кип'ятильних труб (внутрішньої поверхні) маємо доступ з барабанів.



Рисунок 1.4. Фотографія кип'ятильних труб (нижній барабан)

1.3. Дефекти кип'ятильних труб парових котлів типу ДКВр

Наведені дані в цій главі про дефекти, що виникають в кип'ятильних трубах котлів типу ДКВр є експертними даними, що збирались десятиріччями і являються практичним досвідом технічних експертів ЗАТ НВДЦ.

В процесі експлуатації котлів основною причиною виникнення дефектів матеріалу кип'ятильних труб є накип, що утворюється протягом тривалого часу. Це утворення пов'язано з неналежною хімічною підготовкою

води або її відсутністю. Товщина накипу зустрічається на практиці до 5 мм, тоді коли допустима товщина має бути до 0,5 мм.

Якщо у воді знаходиться багато солі, то вона осідає на внутрішній поверхні труб, що в подальшому відіграє роль теплоізолятора. Труби перегріваються за рахунок поганої теплопередачі. Це спричиняє виникнення наступних дефектів:

- свищі
- перегрів, зміна структури
- тріщини
 - поверхневі, внутрішні
 - повзучості
 - термічні

В законсервованому стані труби можуть бути уражені корозією. Це відбувається в тому випадку, коли вода з труб була спущена, а активний кисень утворює з атомами заліза оксид.

Отже, розробляючи систему контролю ми повинні зосередитися на вимірюванні товщини накипу, пошуку місць, уражених корозією та дефектів порушення цілісності матеріалу (тріщин).

Зміна структури матеріалу в процесі перегріву викликає зміну магнітних та електричних властивостей матеріалу труби.

2. Методики контролю кип'ятільних труб парових котлів

2.1. Методи та обсяги контролю кип'ятільних труб парового котла типу ДКВр за „Положенням про технічне діагностування енергетичного обладнання підприємств Мінпромполітики України”

Не дивлячись на те, що сьогодні при перевірці вирізів та окремих ділянок конструкцій використовують ультразвукові та інші засоби неруйнівного контролю (Таблиця 2.1), методика перевірки передбачає практично вибірковий руйнівний контроль, який не дає уяви про стан матеріалу конструкцій на будь-якій ділянці їхньої поверхні. До того ж існуюча методика не передбачає абсолютну перевірку стану найбільш небезпечних елементів конструкції котла — кип'ятільних труб, матеріал яких витримує високі температурні навантаження та тиск перегрітої пари.

Розглянемо уривок з «Положення про технічне діагностування енергетичного обладнання підприємств Мінпромполітики України», в якому йде мова про методи та обсяги контролю труб:

Таблиця 2.1. Методи та обсяги проведення контролю металу парових котлів за „Положенням про технічне діагностування енергетичного обладнання підприємств Мінпромполітики України”

№	Елементи, що контролюються	Методи контролю	Обсяг контролю
1.1a	Труби екранів	1. ВК	100%
		2. Визначення виходу труб із ряду	Не менше 10 труб, відібраних за результатами ВК
		3. Визначення прогину	Труби, де виявлені короблення, провисання або вихід із ряду
		4. УЗТ	Не менше 5 труб найбільш зношених, відібраних за результатами ВК. Товщина вимірюється на трьох рівнях по висоті топки
		5. Визначення	Не менше 5 труб по взаємно

№	Елементи, що контролюються	Методи контролю	Обсяг контролю
		залишкової деформації	перпендикулярним діаметрам
		б. Дослідження стану металу вирізок	Два-три патрубки із зон, де спостерігалось збільшення діаметрів труб, була виявлена корозія труб або відбувалися розриви труб
1.1.б	Труби кип'ятильного пучка	1. ВК	100%
		2. Визначення виходу труб із ряду	Не менше 10 труб першого ряду, за результатами ВК
		3. Визначення залишкової деформації	Не менше 5 труб по взаємно перпендикулярним діаметрам
		4. УЗТ	Не менше 10 труб першого і останнього рядів найбільш зношених, відібраних за результатами ВК.
		5. Дослідження стану труб	По одному вирізаному зразку, не менше чим із двох труб, відібраних за результатами ВК
1.1.г	Труби пароперегрівача	1. ВК	100%
		2. Визначення залишкової деформації	Не менше 10 труб вихідних змійовиків по взаємно перпендикулярним діаметрам
		3. УЗТ	Не менше 5 труб вихідних змійовиків, відібраних за результатами ВК і визначення залишкової деформації
		4. Дослідження стану металу вирізок	Два-три патрубки із зон, де спостерігалось збільшення діаметрів труб, була виявлена корозія труб або відбувалися розриви труб

Як ми можемо бачити, перевагою даної методики є швидкість, що здобувається за рахунок вибіркового контролю, який в першу чергу базується на практичному досвіді технічного експерта, що проводить візуальний контроль. Недоліком даної методики є обов'язкове дослідження стану металу вирізок, що спричиняє локальне порушення цілісності конструкції та затрат часу на її відновлення (ремонт). Такий підхід не дає об'єктивної оцінки стану матеріалу труб.

2.2. Методи та обсяги контролю кип'ятильних труб парового котла типу ДКВр, запропоновані ЗАТ НВДЦ

Методика базується на методиці за «Положенням про технічне діагностування енергетичного обладнання підприємств Мінпромполітики України», але включає в себе одну принципову зміну. До існуючих методів додали ще один додатковий метод контролю — акустико-емісійний (дивіться розділ 3.3).

Розглянемо методи та обсяги контролю труб розроблені ЗАТ НВДЦ:

Таблиця 2.2. Методи та обсяги проведення контролю металу парових котлів запропоновані ЗАТ НВДЦ

№	Елементи, що контролюються	Методи контролю	Обсяг контролю
1.1а	Труби екранів	1. ВК	100%
		2. АЕ	100%
		3. Визначення виходу труб із ряду	Не менше 10 труб, відібраних за результатами ВК та АЕ
		4. Визначення прогину	Труби, де виявлені короблення, провисання або вихід із ряду
		5. УЗТ	Не менше 5 труб найбільш зношених, відібраних за результатами ВК та АЕ. Товщина вимірюється на трьох рівнях по висоті топки
		6. Визначення залишкової деформації	Не менше 5 труб по взаємно перпендикулярним діаметрам
		7. Дослідження стану металу вирізок	Два-три патрубки із зон, де спостерігалось збільшення діаметрів труб, була виявлена корозія труб або відбувалися розриви труб
1.1.б	Труби кип'ятельного пучка	1. ВК	100%
		2. АЕ	100%
		3. Визначення виходу труб із ряду	Не менше 10 труб першого ряду, за результатами ВК та АЕ
		4. Визначення залишкової деформації	Не менше 5 труб по взаємно перпендикулярним

№	Елементи, що контролюються	Методи контролю	Обсяг контролю
			діаметрам
		5. УЗТ	Не менше 10 труб першого і останнього рядів найбільш зношених, відібраних за результатами ВК та АЕ
		6. Дослідження стану труб	По одному вирізаному зразку, не менше чим із двох труб, відібраних за результатами ВК та АЕ
1.1.г	Труби пароперегрівача	1. ВК	100%
		2. АЕ	100%
		3. Визначення залишкової деформації	Не менше 10 труб вихідних змійовиків по взаємно перпендикулярним діаметрам
		4. УЗТ	Не менше 5 труб вихідних змійовиків, відібраних за результатами ВК та АЕ і визначення залишкової деформації
		5. Дослідження стану металу вирізок	Два-три патрубки із зон, де спостерігалось збільшення діаметрів труб, була виявлена корозія труб або відбувалися розриви труб

Перевагою такого підходу є те, що інтегральний акустико-емісійний метод надає нам додаткову інформацію про зміну структури матеріалу на рівні кристалічної решітки, і таким чином локалізує область для більш ретельного обстеження труб. Недоліком є те, що метод акустичної емісії не надає повної картини стану матеріалу труб, але по відношенню до попередньої методики є більш об'єктивним підходом.

2.3. Запропоновані автором магістерської роботи методи та обсяги контролю кип'ятільних труб парового котла типу ДКВр

Гадаю, для початку необхідно нагадати, що основними параметрами кип'ятільних труб з точки зору їх роботоздатності є:

- відсутність руйнацій структури металу (відсутність тріщин втоми металу або термічних тріщин);

- відсутність корозійних пошкоджень металу труб;
- відсутність накипу на внутрішніх стінках труб.

Більш детальну інформацію про дефекти, що виникають в кип'ятільних трубах дивіться в розділі 1.3.

Задачею неруйнівного контролю таким чином має бути:

- суцільний контроль товщини стінок труб;
- виявлення тріщин (поверхневих) матеріалу труб;
- вимірювання товщини накипу та визначення координат місць перевищення товщини накипу заданій нормі (0,5 мм).

Виходячи з аналізу можливих рішень щодо виконання перерахованих задач неруйнівного контролю та враховуючи досвід виконання робіт з контролю парових котлів типу ДКВР вибираємо ультразвуковий метод контролю товщини стінки кип'ятільних труб та товщини накипу, а також вихрострумний метод контролю, як метод, що гарантує високу роздільну здатність при виявленні тріщин та ділянок матеріалу уражених міжкристалічною корозією.

Реалізація цих двох різних за природою методів контролю відрізняється додатковими умовами контролю. Ультразвуковий контроль прив'язується до діючої методики контролю труб котла ДКВР, що розроблена за участю автора в ЗАТ НВДЦ (дивіться розділ 2.2), і полягає у виконанні акустико-емісійного контролю котла під час гідравлічних випробувань. При цьому кип'ятільні труби та інші вузли котла заповнені водою з організацією надлишкового тиску води.

Для виконання ультразвукового контролю кип'ятільні труби теж мають бути заповнені водою (без надмірного тиску), а контроль виконується шляхом протягування через вказані кип'ятільні труби акустичного перетворювача з метою вимірювання в різних точках поверхні труби

товщини її стінок та накипу. Наявність води в трубі забезпечує акустичний контакт для ультразвукового перетворювача.

Вихрострумний контроль кип'ятильних труб має виконуватись при відсутності води в контрольованих трубах. Нижче буде наведено механізм сканування внутрішньої поверхні кип'ятильних труб як ультразвукового так і вихрострумного перетворювачів.

3. Теоретичні відомості про методи контролю, використані або згадані в роботі

3.1. Загальні відомості про методи

В даній частині роботи я не хотів би приводити фізичні основи методів контролю, що описані нижче, але згадати використані методи контролю вважаю за необхідне.

Виходячи з загальних відомостей про виявлення дефектів в металі різними видами НК [1] дефекти (дивіться розділ 1.3), що виникають в нашому об'єкті контролю (дивіться розділ 1.2) виявляються наступними методами:

Таблиця 3.1. Оцінка виявлення дефектів в металі різними видами НК

Вид дефекту	Вид НК					
	ОК	РК	МК	КК	ВК	АК
Корозія	4	0	0	4	4	0
Окисли, корочки	0	0	0	2	2	3
Перегрів	0	0	3	0	3	3
Тріщини						
- поверхневі	2	2	2	2	2	4
- повзучості	3	0	3	4	4	4
- термічні	0	0	4	4	4	4

Примітка. Оцінки виду НК: 5 - відмінно; 4 - добре; 3 - задовільно; 0 - незадовільно.

Нагадаємо, що матеріал з якого виготовлені труби теплообмінника — Сталь 10 — феромагнітний (діаметр Ø51 мм, товщина стінки 2,5 мм). Оцінки застосування видів НК для даного матеріалу наступні:

Таблиця 3.2. Оцінки якості контролю за різними видами контролю

Режим пошуку	Вид НК							
	РК	АК	ВК	МК	КК	ТК	ОК	РВК
Оцінка виявлення дефектів типу порушення цілісності	5	5	5	5	4	0	4	0
Оцінка застосування при визначенні розмірів	3	5	3	5	-	3	5	-
Оцінка застосування при визначенні фізико-механічних властивостей	-	5	3	4	-	3	0	3

3.2. Ультразвуковий метод контролю

Ультразвуковий метод, акустичний метод контролю базується на хвильовій теорії розповсюдження звуку в матеріалах.

В даній роботі використовується ультразвуковий луна-метод, що базується на реєстрації луна-сигналів від дефектів – несучільностей. Він схожий на радіо- та гідролокацію. Нижче (Рисунок 3.1) показана спрощена блок-схема імпульсного луна-дефектоскопу.

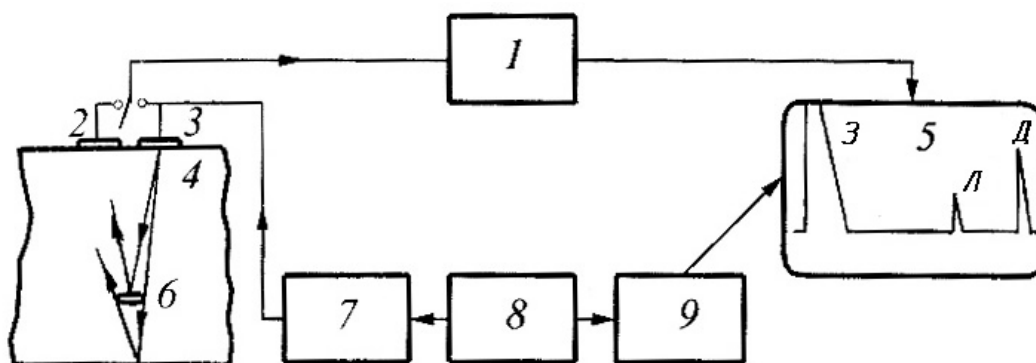


Рисунок 3.1. Спрощена структурна схема луна-дефектоскопу

Генератор зондуючих імпульсів 7 збуджує короткі електричні імпульси. В перетворювачі 3 вони перетворюються в імпульси ультразвукових (УЗ) коливань, які розповсюджуються в ОК 4, відображаються від дефектів 6 та протилежної поверхні (дна) ОК, приймаються тим самим (суміщена схема включення) або іншим (розділена схема включення) перетворювачем 2. Перетворювач перетворюються УЗ

сигнали в електричні. Від нього сигнал потрапляє на підсилювач 1, а потім на екран 5 дефектоскопа.

Одночасно (а інколи через деякий інтервал часу) із запуском генератора імпульсів починає працювати генератор розгортки 9. Вірну послідовність включення їх, а також інших вузлів дефектоскопа, що не показані на спрощеній схемі, забезпечує синхронізатор.

Сигнали від генератора розгортки визивають горизонтальне відхилення підсвіченої точки на екрані, а від підсилювача – вертикальне відхилення. В результаті екран УЗ-луна-дефектоскопа відображає інформацію двох видів. Горизонтальна лінія (лінія розгортки дефектоскопа) відповідає часу пробігу імпульсу в ОК, а це час пропорційний шляху імпульсу. Висота піків (імпульсів) по вертикалі пропорційна амплітуді луна-сигналів. Таким чином, по горизонтальній лінії розгортки визначають довжину шляху імпульсу, а по вертикальній шкалі визначають його амплітуду. Таке зображення називають *розгорткою типу А (А-розгорткою, А-сканом)*.

Дуже високий (для суміщеної схеми – що виходить за межі екрану) сигнал, позначений літерою З, відповідає УЗ-імпульсу, що збуджується генератором та посиляється в ОК. Він відзначає нульове значення шкали часу. Його ще називають *зондуючим імпульсом*. Високий сигнал Д відповідає імпульсу, що відбився від протилежної поверхні (дна) ОК. Його називають *донним сигналом*. Л – *луна-сигнал* від дефекту. Він приходить раніше донного сигналу, та амплітуда його зазвичай значно менша. Вимірюючи час приходу сигналів по шкалі на екрані або спеціальним пристроєм (глибиноміром) приладу, можна визначити відстань до дефекту або дна виробу, а таким чином, розрізнити їх. Амплітуда луна-сигналу характеризує відображальну здатність дефекту.

Метод, що використовується в даній роботі відрізняється від вищеописаного тим, що сигнал проходить ще й через шар накипу, що на А-скані відобразиться додатковим сигналом від шару (шарів) накипу.

3.3. Акустико-емісійний метод контролю

Акустична емісія (АЕ) – фізичне явище, що пов'язане із випроміненням пружних хвиль об'єкта, що досліджується, при нелінійних деформаціях його структури.

Для твердого тіла АЕ – це випромінення об'єктом механічних (акустичних) хвиль, що визвано локальною внутрішньою перебудовою решітки твердого тіла, внаслідок чого змінюються його структура та внутрішня форма, що можна інтерпретувати як зміну інформації. Із зміною структури змінюється ентропія тіла та пов'язана з нею інформація (негентропія).

АЕ витоку, що визвані гідродинамічними та (або) аеродинамічними явищами при протіканні рідини або газу через наскрізну несучість об'єкта випробувань, пов'язана, в першу чергу, з виникненням турбулентних явищ.

При випроміненні АЕ необхідно розглядати динамічні процеси в ієрархічній послідовності моделей. Як правило, враховуються три масштабних рівні: мікроскопічний, мезоскопічний та макроскопічний. В першому випадку аналізують первинні джерела АЕ, що обумовлені утворенням, переміщенням та анігіляцією одиничних дефектів кристалічної решітки (для АЕ-матеріалу). На макроскопічному рівні вивчають процеси випромінення пружних хвиль при пластичній деформації та руйнування об'єктів, коли джерелом випромінення є великі неоднорідності в матеріалі напруженого об'єкту. Мезоскопічні моделі дозволяють зв'язати точні

рішення, отримані на мікроскопічному рівні з феноменологічними моделями макрорівня.

Сигнал АЕ є змінною фізичною величиною, що відображає повідомлення про акустичну емісію. Інформація про подію динамічної перебудови структури твердого тіла переноситься фізичним носієм – пружною хвилею. Задачі, що виникають в такому випадку, близькі до задач традиційної радіотехніки.

В основі НК промислових об'єктів лежить уява, у відповідності до якої сигнал несе в собі інформацію про стан контрольованого об'єкту. В цьому випадку слід вважати, що сигналом є АЕ-повідомлення про стан конструкції. Тоді сигнал може бути виражений рядом параметрів: розподіленням джерел АЕ на поверхні об'єкта, їх кластеризацією та характеристикою, параметрами імпульсів АЕ та ін. Сигнал складає портрет ОК в термінах, наприклад, теорії розпізнання образів чи теорії нейронних ланцюгів. Одиничний імпульс АЕ, що виникає в результаті спрацювання джерела АЕ, неперервна АЕ при пластичній деформації та протіканні, розподілення джерел АЕ на поверхні контрольованого об'єкту, залежність параметрів АЕ від узагальненої напруги – все це сигнали, в яких є АЕ-інформація про ОК.

3.4. Вихрострумний метод контролю

Вихрострумний контроль базується на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться в об'єкті контролі таким полем. Розподілення й густина вихрових струмів визначаються джерелом електромагнітного поля, геометричними й електромагнітними параметрами ОК, а також взаємним розташуванням джерела поля та ОК. В якості джерела електромагнітного поля найчастіше використовується індуктивна котушка з синусоїдальним струмом, що називається вихрострумним перетворювачем (ВСП). При наявності поблизу ОК такої котушки (Рисунок 3.2) в результаті дії вихрових струмів ОК

змінюються активний R_k та індуктивний X_k , а відповідно й комплексний Z_k індуктивної котушки.

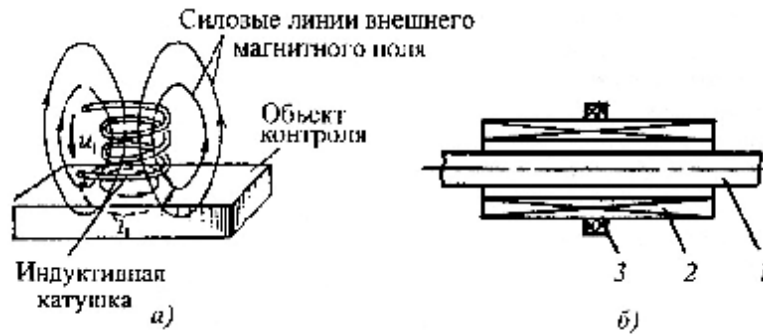


Рисунок 3.2. Накладний (а) та прохідний (б) ВСП

Взаємодія індуктивностей котушки з ОК можна представити схемою повітряного трансформатора (Рисунок 3.3), параметри ланцюга вторинної обмотки $Z_{вт}$ якого визначаються еквівалентним контуром вихрових струмів в ОК.

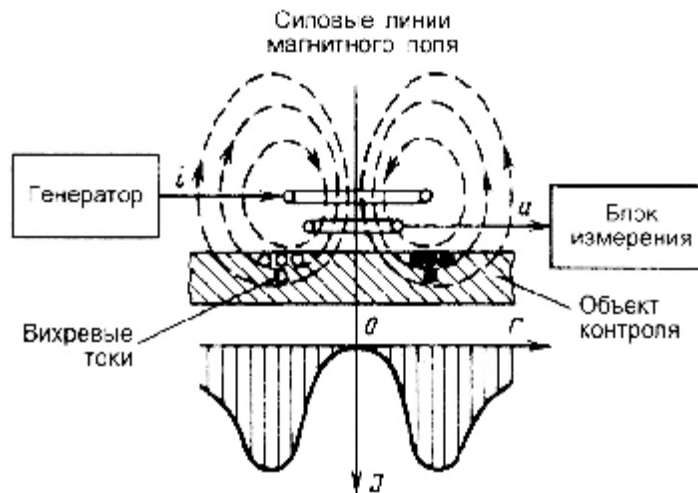


Рисунок 3.3. Схема принципу дії приладу з накладним ВСП

Як відомо, повітряний трансформатор можна представити схемою заміщення (Рисунок), на якій $R_{вн}$ – вносимий в індуктивну котушку активний опір, обумовлений втратами енергії за рахунок нагріву ОК вихровими струмами; $L_{вн}$ – вносима індуктивність, що обумовлено зміною потокозчепленням індуктивної котушки за рахунок дії вихрових струмів. Оскільки потокозчеплення ψ із-за дії вихрових струмів змінюється,

індуктивність котушки при наявності поблизу неї електропровідного ОК також зміниться, так як $L=\psi/i$. Параметри $R_{вн}$ та $L_{вн}$ залежать від густини та розподілення вихрових струмів в ОК. Таким чином, визначаючи зміну активного та індуктивного опору такого ВСП, можна судити про геометричні та електромагнітні параметри ОК. ВСП, що складається з однієї котушки індуктивності та по параметрам якого судять про якість ОК, називають *параметричним*.

Окрім параметричних ВСП у вихрострумовому НК дуже часто використовують трансформаторний ВСП (Рисунок 3.4), одна котушка яких – збуджувальна – служитиме для створення електромагнітного поля, а відповідно, вихрових струмів в ОК, а друга (вимірювальна) – для вимірювання ЕРС, що наводиться в ній результуючим магнітним потоком, що проходить всередині цієї котушки.

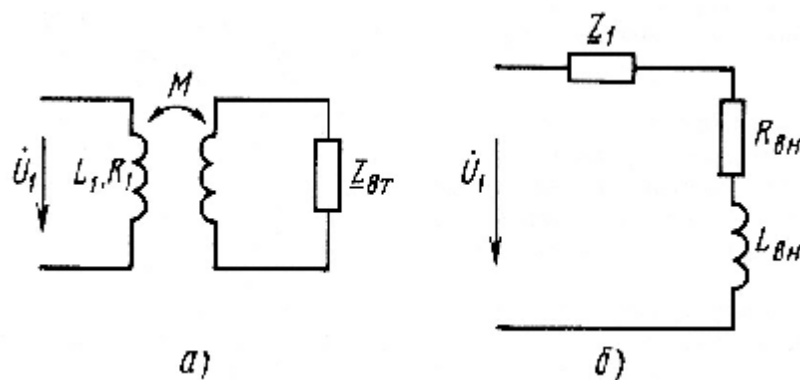


Рисунок 3.4. Повітряний трансформатор (а) та його схема заміщення (б)

Неважко зрозуміти, що амплітуда та фаза ЕРС при синусоїдальному струмі в вимірювальній котушці будуть залежати від параметрів ОК. Такою ВСП називають трансформаторним, так як вимірювальна котушка в ньому відіграє роль вторинної обмотки трансформатора.

Комплексний опір ВСП залежить від багатьох параметрів ОК, а також від взаємного положення ВСП та ОК, тобто інформація, що отримана від перетворювача – Багатопараметрова. Це визначає як переваги так й труднощі реалізації вихрострумового контролю. З однієї сторони, він дозволяє

здійснювати *багатопараметровий контроль* (3.5). З іншої сторони, він дозволяє використовувати різні способи розділення впливу контрольованих параметрів й заглушення впливу контролю факторів, що заважають, для того, щоб здійснити *селективний* (роздільний) контроль параметрів.

Перевагою вихрострумowego контролю являється й те, що його можна проводити при відсутності контакту між ВСП та ОК, тому його часто називають безконтактним. Завдяки цьому вихрострумівий контроль можна здійснювати при русі ОК відносно ВСП, причому швидкість цього руху при промисловому контролі може бути значною, що забезпечує високу продуктивність контролю. Отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, відсутність контакту та високу продуктивність визначають широкі можливості автоматизації вихрострумowego контролю.

Додатковою перевагою вихрострумowego контролю є й те, що на сигнали ВСП практично не впливають вологість, тиск та забруднення поверхні ОК непровідними речовинами, а також простота конструкції ВСП. В більшості випадків котушки ВСП поміщують в запобіжний корпус, вони стійкі до механічних та атмосферним впливам та представляють досить надійні первинні перетворювачі.

Так як вихрові струми виникають тільки в електропровідних матеріалах, то об'єктами вихрострумowego контролю можуть бути вироби, виготовлені з металів, сплавів, графіту, напівпровідників та інших електропровідних матеріалів.

В наш час вихроструміві прилади та установки широко використовуються для виявлення та визначення параметрів дефектів – несучільностей матеріалів (дефектоскопія та дефектометрія), контролю розмірів ОК та параметрів вібрацій (товщинометрія та віброметрія), використання фізико-механічних параметрів та структурного стану (структуроскопія), виявлення електропровідних об'єктів (металопошукачі) та

для інших цілей. Об'єктами вихрострумowego контролю можуть бути електропровідні прутки, проволока, труби, листи, пластини, покриття, в тому числі багатошарові, залізні дорожні рейки, корпуси атомних реакторів, шарики та ролики підшипників, деталі кріплення та багато інших промислових виробів.

Дефектоскопи призначені для виявлення різних тріщин, відшарувань, закотів, раковин, металічних включень та ін. *Товщиноміри* використовують для контролю товщини електропровідних листів, плівок, пластин, покриттів на них, стінок труб, циліндричних та сферичних балонів. За допомогою структуроскопів контролюють хімічний склад, структуру металів та сплавів, механічні напруги, якість термічної та хіміко-термічної обробки деталей, склад поверхневих шарів ОК. *Металопошукачі* можуть слугувати для виявлення металічних предметів та інших електропровідних об'єктів в ґрунті, в тілі людини, продуктах харчування, деревині, багажі пасажирів та ін.

3.5. Багатопараметровий метод контролю

Векторні зміни напруги на котушці вихрострумowego перетворювача, що залежать від таких факторів, як вплив зазору (товщини непровідного покриття), дефектів структури контрольованого матеріалу розташованих ближче чи далі від поверхні мають сталі для даного типу матеріалу фазові зсуви відносно струму на котушці.

Одночасне визначення товщини накипу на стінках кип'ятильних труб та наявності дефектів структури матеріалу цих труб реалізується на основі алгоритмів вихрострумowego багатопараметрового контролю [1]. Векторна діаграма напруг ВСП (Рисунок 3.5) представляє собою напрямки впливу зазору (товщина накипу, що є непровідним утворенням) та можливого дефекту матеріалу тонкостінної труби (товщина 2,5 мм, матеріал: Ст. 10) – вектори P_1 та P_2 . кутові напрямки цих векторів впливу відносно вектору струму (кути α_1

та α_2), що протікає через ВСП, для даної частоти струму і марки сталі є сталими величинами, які легко визначити експериментально.

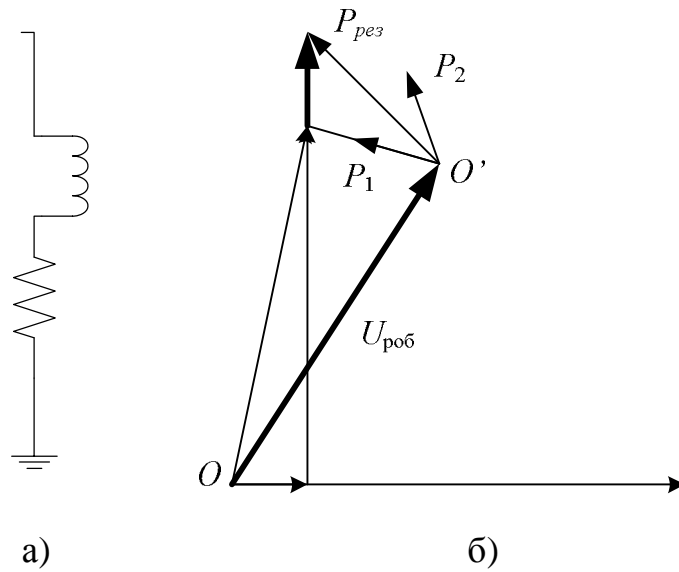


Рисунок 3.5. Еквівалентна схема ВСП накладного типу (а)
та векторна діаграма напруг ВСП (б)

Для можливості визначення відносно невеликих векторів напруг P_1 , P_2 доцільно виконати компенсацію напруги $U_{роб}$ – напруги на ВСП в робочому режимі (при взаємодії електромагнітного поля котушки ВСП з полем вихрових струмів в середовищі матеріалу контрольованої труби).

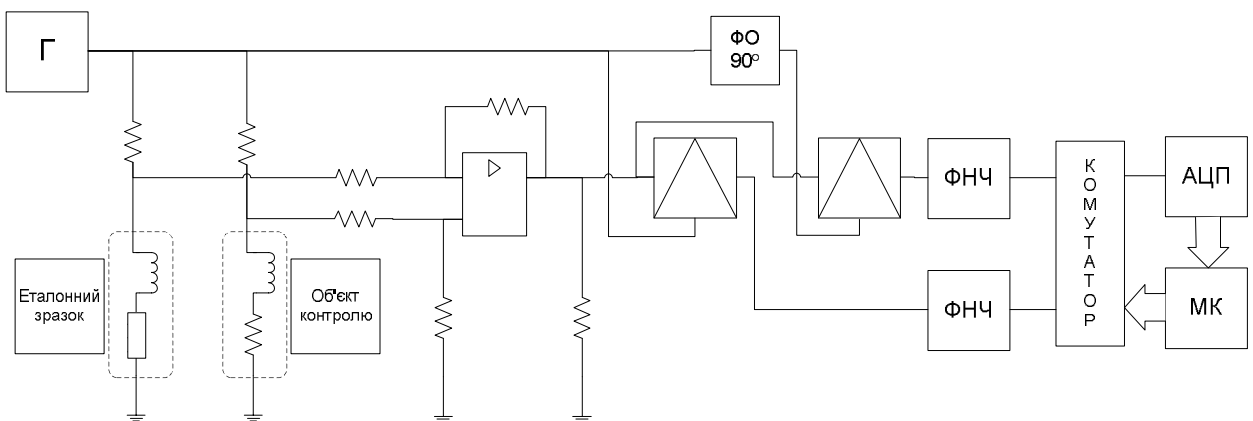


Рисунок 3.6. Функціональна схема вимірювань впливу зазору (товщина накипу) та дефектів структури матеріалу кип'ятільних труб

Для можливості компенсації вектора напруги $U_{роб}$ використовуємо ще один ВСП, що постійно своїм полем взаємодіє з еталонним зразком сталі Ст.10, або встановлюється на бездефектній стінці матеріалу барабану.

Роздільне вимірювання можливих дефектів та товщини накипу ґрунтується на тому, що вектори впливу P_1 , P_2 (Рисунок 3.7) мають наперед задані кутові напрямки відносно вектору струму ВСП або відносно фази напруги генератора. Для такого вимірювання виконується фазове детектування напруг спричинених дефектами чи накипом.

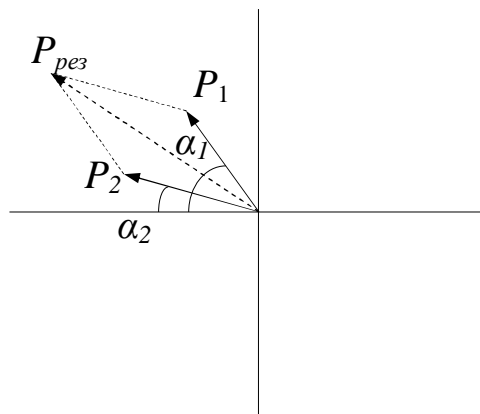


Рисунок 3.7. Скомпенсована векторна діаграма напруг ВСП

Опорними напругами для фазового детектування інформативних пристроїв напруги ВСП використовується напруга генератора та зсунута на фазовий кут $\pi/2$. Якщо фази напруг впливу зазору (товщини накипу) та дефекту становлять відповідно α_1 та α_2 , замінимо $\text{Cos}(\alpha_1)$ через a_{11} , а $\text{Cos}(\alpha_2)$ через a_{21} , і відповідно $\text{Cos}(\pi/2-\alpha_1)$ через a_{12} , $\text{Cos}(\pi/2-\alpha_2)$ через a_{22} . Тоді для вихідних напруг фазових детекторів ФД1 та ФД2 можемо показати наступні рівняння:

$$\begin{cases} U_1 = a_{11}P_1 + a_{21}P_2 \\ U_2 = a_{12}P_1 + a_{22}P_2 \end{cases}$$

Маємо систему двох рівнянь з двома невідомими – модулями напруг P_1 , P_2 . Розв’язання цієї системи рівнянь дає такі значення векторів впливу названих вище дефектів:

$$P_1 = \frac{u_1 - \frac{u_2 a_{11} - u_1}{a_{22} a_{21} - a_{21}}}{a_{11}}; P_2 = \frac{u_2 a_{11} - u_1}{a_{22} a_{21} - a_{21}}$$

При практичній реалізації вимірювань необов'язкове існування одночасно обох векторів впливу. В будь-якому випадку товщина накипу і можливий дефект структури матеріалу (корозія або тріщини) будуть визначені.

Список таблиць

Таблиця 2.1. Методи та обсяги проведення контролю металу парових котлів за „Положенням про технічне діагностування енергетичного обладнання підприємств Мінпромполітики України”	9
Таблиця 2.2. Методи та обсяги проведення контролю металу парових котлів запропоновані ЗАТ НВДЦ.....	11
Таблиця 3.1. Оцінка виявлення дефектів в металі різними видами НК	14
Таблиця 3.2. Оцінки якості контролю за різними видами контролю	15

Список ілюстрацій

Рисунок 1.1. Фотографія парового котла ДКВр 6,5-13 ГМ.....	5
Рисунок 1.2. Схема парового котла ДКВр.....	5
Рисунок 1.3. Креслення парового котла типу ДКВр	6
Рисунок 1.4. Фотографія кип'ятильних труб (нижній барабан)	7
Рисунок 3.1. Спрощена структурна схема луна-дефектоскопу	15
Рисунок 3.2. Накладний (а) та прохідний (б) ВСП.....	19
Рисунок 3.3. Схема принципу дії приладу з накладним ВСП.....	19
Рисунок 3.4. Повітряний трансформатор (а) та його схема заміщення (б)	20
Рисунок 3.5. Еквівалентна схема ВСП накладного типу (а) та векторна діаграма напруг ВСП (б).....	23
Рисунок 3.6. Функціональна схема вимірювань впливу зазору (товщина накипу) та дефектів структури матеріалу кип'ятильних труб	23
Рисунок 3.7. Скомпенсована векторна діаграма напруг ВСП	24

Перелік використаної літератури

1. **Неразрушающий контроль и диагностика:** Справочник/ В.В.Клюев, Ф.Р.Соснин, В.Н.Филинов и др.; Под ред. В.В.Клюева. — М.: Машиностроение, 1995. — 488с., ил.
2. **Неразрушающий контроль:** Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. Т. 2: Вихретоковый контроль/ Ю.К.Федосенко, В.Г.Герасимов, А.Д.Покровский, Ю.Я.Останин. — М.: Машиностроение, 2003. — 688 с.: ил.
3. **Неразрушающий контроль:** Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль/ И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге — М.: Машиностроение, 2004. — 864 с.: ил.
4. **Неразрушающий контроль.** В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: Практическое пособие/ В.Г.Герасимов, А.Д.Покровский, В.В.Сухоруков: Под ред. В.В.Сухорукова. — М.: Высшая школа, 1992. — 312 с.: ил.
5. **Основы метрологии и электрические измерения:** Учебник для вузов/ Б.Я.Авдеев, Е.М.Антонюк, Е.М.Душин и др.; Под ред. Е.М.Душина. — 6-е изд., перераб. И доп. — л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1987. — 480 с.: ил.
6. **Физические величины:** Справочник/А.П.Бабичев, Н.А.Бабушкина, А.М.Братковский и др.; Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с. — ISBN 5-283-04013-5
7. **Электроника:** Энциклопедический словарь/Гл. ред. В.Г.Колесников, - М.: Сов. Энциклопедия, 1991. — 688 с.: ил. ISBN 5-85270-062-2
8. **Алямовский А.А.** SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 432 с.: ил. ISBN 5-94074-218-1

9. **Белов А.В.** Конструирование устройств на микроконтроллерах. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 256 с.: ил. ISBN 5-94387-155-1
10. **Бойко В.И. и др.** Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры/В.И.Бойко, А.Н.Гуржий, В.Я.Жуйков, А.А.Зори, В.М.Спивак, Т.А.Терещенко, Ю.С.Петегеря. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 464 с.: ил. ISBN 5-94157-467-3
11. **Булычев А.Л. и др.** Аналоговые интегральные схемы: Справочник/А.Л.Булычев, В.И.Галкин, В.А.Прохоренко. – 2-е изд., перераб. И доп. – Мн.: Беларусь, 1993. – 382 с.: черт. ISBN 5-338-00858-0.
12. **Гершунский Б.С.** Основы электроники и микроэлектроники: Учебник. – 4-е изд., перераб. И доп. – К.: Вища шк., 1989. – 423 с. ISBN 5-11-001360-8
13. **Дьяконов В.П.** MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.: ил. ISBN 5-98003-209-6
14. **Дьяконов В.П.** MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 549 с.: ил. ISBN 5-98003-206-1
15. **Ермолов И.Н., Вопилкин А.Х., Бадалян В.Г.** Расчеты в ультразвуковой дефектоскопии. – М.: НПЦ НК «ЭХО+», 2002. – 171 с.; ил. 80
16. **Ермолов И.Н., Ермолов М.И.** Ультразвуковой контроль. Учебник для специалистов первого и второго уровней квалификации. Издание пятое. – М.: 2002. – 171 с.; илл. 80
17. **Естифеев А.В.** Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL – 2-у изд., стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 288 с.: ил. ISBN 5-94120-094-3

18. **Зельдин Е.А.** Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1986. – 280 с.: ил.
19. **Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А.** Расчет индуктивностей: Справочная книга. – 3-е изд., перераб. И доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение, 1986. – 488 с.: ил.
20. **Маєвський С.М. та ін.** Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: Навч. посібник/ С.М.Маєвський, В.П.Бабак, Л.М.Щербак. – К.: Либідь, 1993. – 200 с. ISBN 5-325-00367-4.
21. **Малайчук В.П., Петренко О.М., Рожковський В.Ф.** Основи теорії ймовірності і математичної статистики: Навчальний посібник – Д.: РВВ ДНУ, 2001. – 164 с.
22. **Мансуров Н.Н., Попов В.С.** Теоретическая электротехника, изд. 9-е, исправленное, М. – Л., издательство «Энергия», 1965, 624 с.: ил.
23. **Недосека А.Я.** Основы расчета и диагностики сварных конструкций. – К.: Издательство «ИНДПРОМ», 2001. – 815 с. ISBN 966-95315-1-2
24. **Немцов М.В., Шамаев Ю.М.** Справочник по расчету параметров катушек индуктивности. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с., ил.
25. **Нефедов А.В.** Взаимозаменяемые интегральные схемы. Справ очник. – М: ИП РадиоСофт, 2003. – 352 с. ISBN 5-93037-103-2
26. **Николаенко М.Н.** Секреты радиолюбителя-конструктора. Справочник / Николаенко М.Н. – М.: НТ Пресс, 2004. – 320 с.: ил. ISBN 5-477-00004-X
27. **Новиков Ю.Н.** Электротехника и электроника. Теория цепей и сигналов, методы анализа: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 384 с.: ил. ISBN 5-94723-515-3

28. **Осадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.** Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов. Под ред.. О.П.Глудкина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 768 с.: ил.
29. **Предко М.** Руководство по микроконтроллерам Том I. – М.: Постмаркет, 2001. – 416 с. ISBN 5-901095-07-3
30. **Предко М.** Руководство по микроконтроллерам Том II. – М.: Постмаркет, 2001. – 488 с. ISBN 5-901095-07-3
31. **Струтинський В.Б.** Математичне моделювання процесів та систем механіки: Підручник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с. ISBN 966-7570-94-0
32. **Терещук Р.М. и др.** Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справ. Радиолобителя / Р.М.Терещук, К.М.Терещук, С.А.Седов. – 4-е изд., стер. – К.: Наук. Думка, 1989. – 800 с.: ил. ISBN 5-12-000305-2
33. **Швец В.А., Шестакова В.В., Бурцева Н.В., Мелешко Т.В.** Одноплатные микроконтроллеры. Проектирование и применение. – К.: «МК-Пресс», 2005. – 304 с., ил.
34. **Щербинский В.Г.** Технология ультразвукового контроля сварных соединений. – М.: Изд-во «Тиссо», 2003 – 326 с. ISBN 5-8122-0256-7
35. **Шрюфер Э.** Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизированных сигналов: Учебник / Под ред. Проф. В.П.Бабака. – К.: Либыдь, 1995. – 320 с. ISBN 5-325-00736-X.
36. **Materials Evaluation.** Volume 56. Number 3. ISSN 0025-5327
37. **Materials Evaluation.** Volume 56. Number 6. ISSN 0025-5327
38. **Research Techniques in Nondestructive Testing.** Edited by R.S.Sharpe. Academic Press. London and New York. 1970