

Г. М. Йордан

Галицький інститут імені В'ячеслава Чорновола

МЕТОДИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ЗАСОБАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВИСУШУВАННЯ

Описуються методи та обладнання для автоматичного контролю вологості при штучному висушуванні продукції брошурувально-палітурного виробництва..

The methods and equipment for automatic humidity monitoring during the artificial desiccating of the produce of stitching and binding manufacture are described.

Постановка проблеми

Недостатність теоретичних знань в області висушування поліграфічної продукції не дозволяє визначити оптимальні режимні параметри процесу, що приводить до затрат енергії і зниження якості. Цим визначається актуальність задач з підвищення ефективності процесу висушування напівфабрикатів. Для цього необхідно провести усесторонній аналіз всіх стадій процесу, включаючи сушіння, щоб підготувати обґрунтовані рекомендації для проектування обладнання.

Контроль – процес встановлення відповідності між собою об'єктів контролю і заздалегідь заданої норми на його параметри і характеристики [1].

Об'єкт контролю – це технічні засоби (установки, агрегати, машини тощо), інформація про технічний стан яких необхідна в процесі експлуатації. Засоби контролю технічні пристрої (системи), що забезпечують сприйняття контрольованого параметру, зіставлення його значення з встановленими допусками, формування і надання відомостей про результат контролю [1].

В сучасних технологічних установках брошурувально-палітурного виробництва використовується автоматичний контроль різних фізичних величин. Структурна схема такого контролю представлена на рис. 1 [5, 6].

При розгляді питання контролю фізико-хімічних властивостей матеріалів, використаних для виготовлення книжкового блока постає декілька завдань [6, 7, 8, 9]

1) вибір оптимального числа і роду параметрів, що характеризують книжковий блок;

2) визначення обсягу визначальної вибірки;

3) методи надходження аналітичної форми розподілу, адекватного реальному розподілу значень контрольованого параметра.

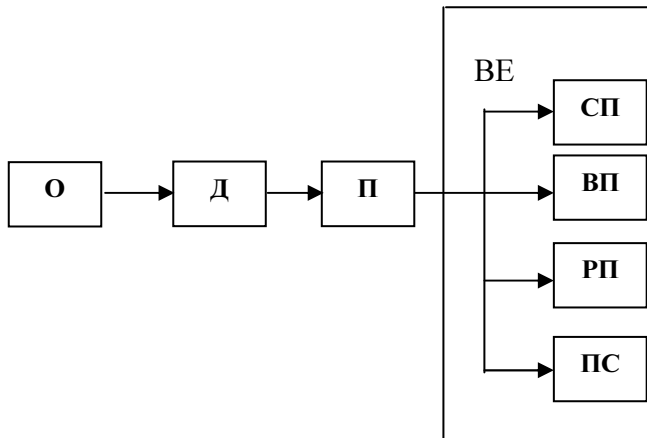


Рис. 1. Структурна схема системи контролю: О – об’єкт, який контролюється; Д – датчик (вимірює значення контрольованого параметра); П – підсилювач, що підсилює слабкий сигнал з датчика; ВЕ – виконавчий елемент – пристрій, що виконує завершальні операції.

В залежності від виду ВЕ автоматичний контроль ділять на чотири основні групи:

СП – сигналізаційні пристрої (лампочки, дзвінок, сирена);

ВП – вказівний пристрій (автоматичне показування значення контрольованих параметрів);

РП – реєстраційний пристрій (автоматична реєстрація значень контрольованих параметрів);

ПС – сортувальний пристрій, який відбирає опрацьований матеріал в залежності від заданих значень контрольованих параметрів.

При виборі параметрів, за якими проводиться контроль обладнання брошурувально-палітурного виробництва, наприклад сушарок, необхідно врахувати, що вони можуть бути прямими і непрямими. Прямими параметрами є показники готової продукції, отримані від датчиків з вологості, температури, кольору і інших показників якості готової продукції. Класифікація основних методів контролю вологості зображена на рис. 2.

При контролі за готовою продукцією не виключається використання інформації від датчиків за параметрами вихідного матеріалу і нагрівального агента, а також за температурним і манометричним режимах й іншими показниками роботи установки, причому наряду непрямі показники інформації не пов’язані з станом готової продукції.

Ваговий метод визначення вологості, як правило, використовується в хімічному виробництві й оснований на лабораторному ваговому аналізі.

При ваговому методі кількісного аналізу існують вимоги, які стосуються вагової форми:

1. точна відповідність складу вагової форми хімічній формулі;
2. достатньо стійкий склад хімічної сполуки до високої температури;
3. вміст досліджуваного елемента в одній пробі повинен бути, таким, щоб похибка у розрахунках була мінімальною.

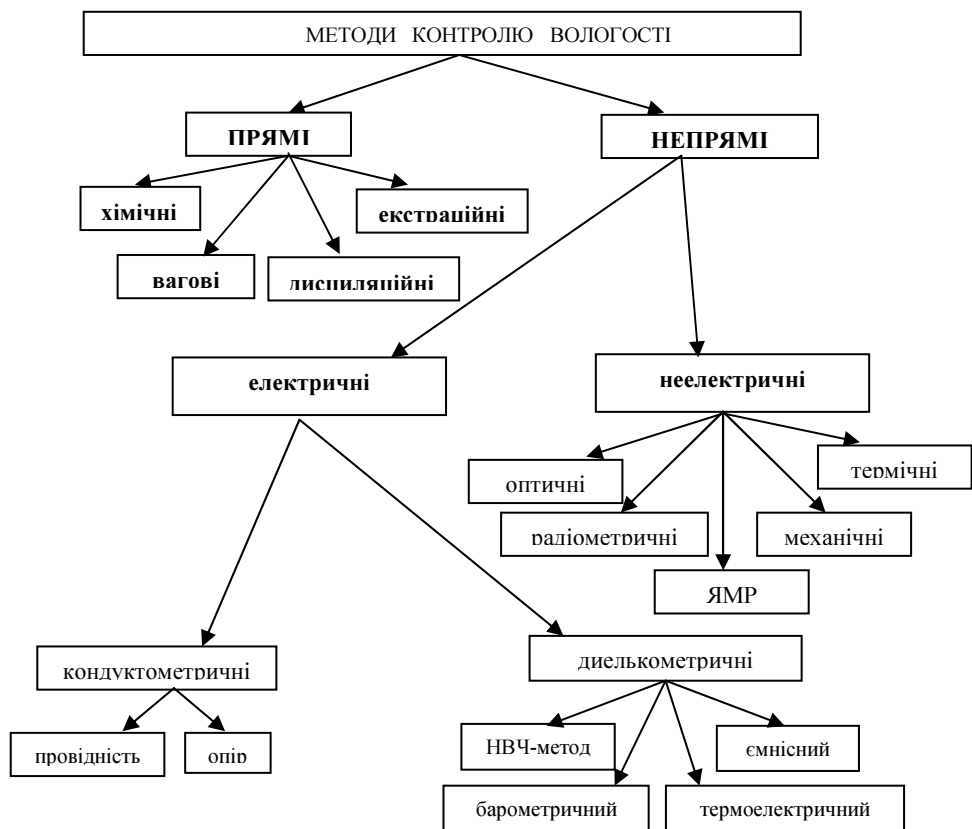


Рис. 2. Класифікація основних методів контролю вологості

Визначення вмісту води основане на висушуванні наважки при температурі 105-125°, вміст води визначають за різницею в масах до і після висушування. Методика складається з двох етапів. Перший – підготовка наважки. Другий – висушування. Наважка береться масою в межах від 1 до 1,5 г. Зважують речовину в боксі на технологічних вагах, а потім на аналітичних вагах з точністю до четвертого знака.

Окрім цього, даний метод не забезпечує оперативності контролю в процесі виробництва.

Визначення вологості твердих матеріалів висушуванням має такі методичні похибки [10]:

1) при висушуванні органічних матеріалів разом з втратою гігроскопічної вологості втрачаються леткі сполуки, одночасно при висушуванні в повітрі поглинається кисень внаслідок окислення речовини, а інколи і термічний розпад проби;

2) припинення висушування відповідає не повному висушуванню вологи, а рівновазі між тиском водяних парів в матеріалі тиском водяних парів в повітрі;

3) вилучення пов'язаної вологи в колоїдних матеріалах неможливе без руйнування колоїдної частинки і не досягне при висушуванні;

4) в деяких речовинах при висушуванні утворюється вологонепроникна шкірка, що перешкоджає подальшому вилученню вологи. Тому для контролю якості роботи технологічних установок він непридатний.

При **дистиляційних методах** зразок підігрівають в посудині з певною кількістю рідини, яка не змішується з водою. Виділена водяна пара разом з паром речовини піддається відгонці і, проходячи через холодильник, конденсується в вимірювальній посудині. Далі визначається об'єм або маса випарованої води.

Екстракційні методи ґрунтуються на вилученні вологи з досліджуваного зразка волого поглинаючою речовиною і визначенні – густини, температури кипіння або замерзання тощо.

Основою хімічних методів є обробка зразка реагентом, що вступає в хімічну реакцію тільки з вологою, яка є в зразку. Кількість вологи в зразку визначається за кількістю рідкого або газоподібного продукту реакції. Найширше розповсюдження пристрої контролю вологи отримали в сушильних установках.

Основним параметром в сушильних установках є вологовміст продукції на виході з сушарки. Підтримка цього параметру в заданих межах, виходячи з вимог технологічного процесу, є основним завданням систем регулювання сушильних апаратів, а також для проведення діагностики якості роботи таких систем.

Для розв'язку цього завдання необхідно отримати інформацію про вологовміст матеріалу, який висушують, тобто мати автоматичний вологомір. Однак створення такого приладу в більшості випадків викликає труднощі. Автоматичні вологоміри ґрунтуються на непрямих методах визначення вологості [2, 11, 12].

Численні **непрямі методи** ґрунтуються на тому, що вимірюється величина, функціонально пов'язана з вологовмістом матеріалу. Серед **непрямих методів** вимірювання найрозповсюдженішими є **електрометричні методи**, в яких вологовміст перетворюється в електричну величину.

Електрометричні методи можна поділити на дві великі групи: електричні, коли проводиться безпосереднє вимірювання електричних параметрів матеріалу, неелектричні, коли вихідною величиною датчика є деяка фізична (неелектрична) величина, що перетворюється у вологомірі електричну величину.

Вологоміри, в яких оцінка вологості матеріалу визначається за результатами вимірювання електричної провідності або опору, називають **кондуктометричними**, вологоміри, в яких вологість матеріалу визначається за результатами вимірювання діелектричної проникності або тангенса кута втрат називають **дielekтpичними**. При застосуванні електрометричних методів другої групи розрізняють вологоміри, ґрунтуються на використанні:

- 1) взаємодії ядерних випромінювань з речовиною;
- 2) ядерного магнітного резонансу;
- 3) оптичних методів з використанням інфрачервоного випромінювання або видимого світла;
- 4) теплофізичних характеристик матеріалу, який висушують;
- 5) акустичних властивостей матеріалу;
- 6) методів мас-спектрокопії.

Кондуктометричні вологоміри.

В цих вологомірах виконують вимірювання при постійному струмі промислової частоти. Результати вимірювання в кондуктометричних електровологомірах залежать не тільки від вологовмісту матеріалу, але і від інших факторів:

- 1) форми і взаємного розташування електродів;
- 2) стадії завершення перехідного процесу в електричному ланцюгу в момент відліку;
- 3) напруги джерел живлення;
- 4) температури матеріалу;
- 5) хімічного складу матеріалу;
- 6) ступені неоднорідності матеріалу;
- 7) частоти струму, що використовується.

Тому при проведенні вимірювань кондуктометричним методом необхідно вжити міри для усунення зовнішніх факторів.

Диелькометричні вологоміри. В цих вологомірах вимірювання виконуються в ланцюгу змінного струму в широкому діапазоні частот від звукових до надвисоких. Результати вимірювань диелькометричними вологомірами вологомірами, так як і кондуктометричними, залежать від багатьох факторів: температури, густини, хімічного складу матеріалу тощо.

Проте використання надвисоких частот (НВЧ) дозволяє зменшити похибки ємнісного методу, обумовлені хімічним складом матеріалу особливо в зонах малого вологовмісту, це вигідно відрізняє диелькометричний метод від кондуктометричних. Вищевказані вологоміри менш чутливі до неелектричних домішок, ніж кондуктометричні [2, 3].

Вплив розподілу вологи в матеріалах при вимірюванні диелькометричними вологомірами аналогічний впливу цього фактору в випадку використання кондуктометричних вологомірів, тобто при наявності поверхневої вологи результати вимірювань виходять завищеними. Проте, при інших однакових умовах розподіл вологи при ємнісному методі менше впливає, ніж при кондуктометричному.

Важливими факторами, що утруднюють використання електричних методів вимірювання для контролю і регулювання вологості є:

- 1) змінний хімічний склад матеріалу, що характеризується більшою кількістю компонентів зі змінною концентрацією, зокрема, це частково відноситься до змінного складу електролітів, а також інших домішок і забруднень, які змінюють електричні параметри матеріалу;
- 2) значні коливання фізичних властивостей окремих компонентів і всього матеріалу в цілому (густина, об'ємної ваги, емульсійної стійкості, співвідношення між вільною і зв'язаною вологою тощо);
- 3) нерівномірний розподіл вологи і наявність поверхневої вологи;
- 4) необхідність вимірювати дуже високі й дуже низькі значення вологовмісту. Важко вимірювати вологовміст більше 100% і менше 1-1,5%;
- 5) Деякі специфічні вимірювання, наприклад недоступність місця, де необхідно встановити датчик, вибухонебезпечність матеріалу і навколишнього середовища тощо.

Останнім часом було запропоновано і розглянуто ряд нових вказаних вище неелектричних методів вимірювання.

Оптичні вологоміри. Вони використовуються для контролю вологи твердих матеріалів, основані на залежності їх фотометричних властивостей від вмісту вологи. Для вимірювання використовується видима й інфрачервона зона спектра електромагнітних коливань.

Радіаційні вологоміри. Інфрачервона радіація залежить від вологи. Метод використовують для розчинників й інших органічних речовин, а також використовується для контролю вологості паперового полотна.

Електротермічні датчики. Електричні методи вимірювання вологості часто не можна використовувати через неконтрольований вплив електролітів на результат вимірювання. Не мають цього недоліку електротермічні датчики. Робота електротермічних датчиків основана на використанні однозначного зв'язку між вологовмістом капілярно-пористого матеріалу і швидкість нагрівання або охолодження тіла малої теплоємності (термоелемента), що є в контакті з таким матеріалом.

Механічні методи основані на вимірюванні механічних характеристик твердих матеріалів, що змінюються разом з вологістю.

Радіометричні методи базуються в основному на сучасних дослідженнях складу, структури і властивостей речовин. В радіометричних (ядерно-фізичних) методах використовуються різні види ядерних випромінювань (гамма-промені, бета-частинки, швидкі нейтрони) і взаємодій (поглинання і розсіювання гамма- і бета-випромінювань, пружне розсіювання швидких нейтронів).

В основі методу **ядерного магнітного резонансу (ЯМР)** лежить резонансне поглинання радіочастотної енергії ядрами атомів водню (протонами) води при розміщенні вологого матеріалу в магнітне поле. Явище ЯМР пов'язане з квантовими переходами між енергетичними рівнями атомних ядер, що виникають в результаті ядерного магнітного моменту з зовнішнім магнітним полем.

Електричні методи вимірювання вологості. Основою електричних методів вимірювання вологості є залежність від вологості параметрів, що характеризують поведінку вологих матеріалів в електричних полях.

Кондуктометричні методи основані на вимірюванні електричної провідності матеріалу при постійному і змінному струмі промислової або звукової частоти.

Вологовмістими матеріали, які в сухому вигляді є діелектриками, при зволоженні стають напівпровідниками. Питомий опір змінюється, відповідно, в залежності від вологи в надзвичайно широкому діапазоні, що охоплює 12-18 порядків. Неоднорідність діелектрика, наявність в ньому вологи впливають не тільки на величину питомої провідності, але і на якісні властивості електропровідності: на її залежність від напруги електричного поля і температури.

Електропровідність твердого матеріалу визначається електролітами, розчиненими в воді; ці електроліти містяться в основному в самому матеріалі. При цьому характер залежності питомої електропровідності матеріалу від вмісту вологи визначається розподілом вологи в ньому, що залежить в певній послідовності від пористої структури матеріалу, форми пор, їх розміру і характеру розподілу.

В **діелькометричному методі** найчастіше використовуються середньохвильові і короткохвильові діапазони частот або надвисокі частоти.

Поведінка діелектрика в синусоїдальному електромагнітному полі характеризується величинами комплексної діелектричної і магнітної проникності. У вологих матеріалів, що не містять феромагнетиків, величина (магнітної проникності порожнини (пустоти)) і їх електричні властивості в слабких змінних електричних полях можна описати двома параметрами, пов'язаними з вологістю. При вимірюванні вологості використовують такі пари величин:

- 1) реальну і уявну складові комплексної діелектричної проникності;
- 2) діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат;
- 3) діелектрична проникність і питома провідність (її активна частка).

Методи НВЧ-вологеметрії. Ці методи поділяються на дві групи – основані на вимірюванні характеристик поля стоячих хвиль; основані на вимірюванні характеристик поля хвиль, що пройшли через вологий матеріал (оптичні методи).

До першої групи методів належать:

1) оснований на вимірюванні поля стоячої хвилі в зразку матеріалу, що досліджують. Оснований на визначенні діелектричної проникності вологого матеріалу, яка є функцією вологовмісту, за результатами вимірювання фазової частки сталої розповсюдження. Вимірювання зводяться до визначення довжини хвиль в системі без діелектрика і з діелектриком;

2) оснований на вивченні поля стоячих хвиль, що виникають при відбиванні електромагнітної енергії від зразка, досліджуваного матеріалу. Суть методу полягає в визначенні сталої розподілу в зразку досліджуваного матеріалу шляхом вивчення розподілу стоячої хвилі на ділянці лінії, що незаповнена діелектриком;

3) оснований на використанні хвиль, відбитих від поверхні досліджуваного зразка. В цьому випадку для визначення діелектричної проникності використовують параметри хвиль, що виникають в результаті взаємодії падаючої і відбитої хвиль;

4) оснований на вимірюванні параметрів резонатора при внесенні в нього досліджуваного матеріалу. Вимірюючи частоти резонатора, визначають діелектричну проникність, а, знаючи добротність, визначають коефіцієнт втрат.

Друга група методів основана на досліджуванні характеристик електромагнітної хвилі, що пройшла через зразок досліджуваного матеріалу, шляхом порівняння з характеристиками хвилі, що розповсюджується іншим шляхом, або хвилі, що розповсюджується тим же шляхом, але при відсутності матеріалу. Вимірювання зводяться до визначення комплексного коефіцієнта передачі ділянки направляючої системи, заповненої досліджуваною речовиною (коефіцієнтом поглинання і відбивання, як функції вологовмісту). Такою ж системою може бути як хвильовід, частково або повністю заповнений матеріалом, так і зона вільного простору, в якій розповсюджуються електромагнітні коливання НВЧ.

Існують комбіновані методи вимірювання вологості, що реалізовані в вологомірах серійного випуску, в яких вологість є функцією діелектричної проникності досліджуваного напівфабрикату. Переведення відносних одиниць

у відсотки вологості здійснюється за спеціальними таблицями або аналітичними залежностями.

Відомі пристрої, які називаються потоковими вологомірами. Ці прилади використовуються в технологічних процесах безперервного виробництва. Контроль вологості продукції здійснюється в спеціальному штоку, при цьому процес вимірювання пов'язаний з визначенням динамічних характеристик пристрою. Особливість ідентифікації таких характеристик для вологомірів полягає в неможливості поділу динамічних похибок на складові, обумовлені контролюючими перешкоджаючими факторами [3].

Основним джерелом динамічних похибок вологомірів є первинний перетворювач, динамічні характеристики другого до уваги не беруться.

В номенклатуру основних нормованих динамічних характеристик поточних вологомірів включається передавальна функція, імпульсна і частотна характеристики. Вони розглядаються як аналоги до класичних вимірювальних засобів.

Відомі промислові пристрої і методи контролю вологості. Часто в якості датчика використовують терморезистор [2].

Для вимірювання вологості досить часто використовують ємнісні датчики.

Недоліком цього пристрою є наявність механізму ущільнення при відборі проби, що дозволяє використовувати його тільки в стаціонарно закріпленому вигляді. Це знижує універсальність використання. Не усувається такий недолік і зміною конструкції електродів.

Важливим питанням вимірювання вологості є застосування вологочутливих елементів в якості датчиків вологи [4]. В якості датчика використовують пористий вологочутливий матеріал, що є елементом, розміщеним в зонді датчика. Вологочутливий елемент просочений сульфітованим полівініловим спиртом, а пористий матеріал являє собою термооброблений ноліокрілонатріл.

Системи автоматизації сушильних установок включають в себе пристрої контролю різних параметрів, як правило на схемі з взаємодією на теплоносій (температуру, кількість вологовмісту, швидкість, організацію подачі); схеми з впливом на матеріал, що висушуємо, (його кількість, температуру, час перебування в сушильному пристрої) і комбіновані схеми з взаємодією як на теплоносій, так і на матеріал, що висушуємо.

Прямі показники якості перспективніші. Їх все ширше будуть використовувати зі збільшенням номенклатури виготовлених приладів, поліпшенням їх характеристик.

Однак для висушування хімічних речовин сьогодні використовують схеми з непрямим визначенням показників якості. Це пояснюється відсутністю приладів, що надійно працюють, для безперервних контрольних вимірювань прямих показників якості, вологості продукції тощо. Тому вирішення завдань, пов'язаних з розробленням алгоритмів контролю за прямими показниками, а також створення приладів для контролю цих показників є актуальним.

Параметри, необхідні для контролю процесу висушування ділять на три групи: енергетичні, фізико-хімічні, механічні.

До першої групи відноситься температура, ентальпія, вологовміст в заздалегідь вибраних точках.

До другої групи відносяться показники якості готової продукції: колір, запах тощо.

До третьої групи відноситься твердість, форма тощо.

При автоматизації сушильної установки необхідно забезпечити автоматизацію транспортних засобів для завантажування і розвантажування, автоматичне керування режимом висушування, щоб не допустити значної втрати вологи з книжкового блоку (палітурки, клею). Найвагомішим і складним завданням є завдання автоматичного керування процесом висушування.

Основні підходи для вибору методики керування процесом висушування можна розділити на три групи.

1. Вибір схеми регулювання, тобто джерела отримання імпульсів, що регулюють параметри і точки прикладання керуючих дій. Основна трудомісткість цього етапу обумовлена необхідністю отримання надійної і достатньо неперервної інформації про величину того чи іншого параметра.

2. Для сушарок з малим часом перебування матеріалу в зоні сушіння (розподільні сушарки) при наявності певних приладів безперервного контролю, доцільно використовувати регулювання тільки за прямими показниками. Для сушок з великим часом перебування матеріалу в зоні сушіння (барабанні сушки, сушіння в киплячому шарі) використання тільки прямих показників може привести до погіршення роботи апарату через його інертність.

3. При регулюванні теплового режиму процесу висушування взаємодією на параметри теплоносія інколи є зміст застосувати регулювання за «комплексним параметром».

Аналізуючи переваги і недоліки перерахованих методів і пристроїв контролю і керування, можна запропонувати таке вирішення одного із завдань підвищення ефективності процесу висушування напівфабрикатів та готової продукції брошурувально-палітурного виробництва: неспійність значення параметра вологості, яке вказувалось як недолік в автоматичних пристроях контролю, може доносити інформацію про наявність домішок, не оптимальність теплового режиму тощо.

1. Дубовицкий Л. К. Состояние технических систем и диагностика. – Сб. "Диагностика и идентификация". Рига, Зинатне, 1974. – С. 95-99.

2. Абросимова Е. Б., Лабутин С. А., Лонаткин А. В., Никулин С. М., Петров В. В. Радиоволновые приборы для измерения параметров материалов // Тез. докл. 2 региональной НТК "Приборостроение и автоматизация технологических процессов", Дзержинск, 1996. – 22 с.

3. А.С. 1260303 СССР./ Устройство для измерения влажности сыпучих материалов / С.С. Галушкин, А.Ф. Авдеева, Е.С. Кричевский и А.Н. Чабан – Опубл. 30.09.86. Бюл. № 36.

4. А.С. 1078304 СССР./ Устройство для измерения влажности сыпучих материалов/ О.А. Протопопов и Г.П. Бобырин – Опубл. 07.03.84. Бюл. Ш 9.

5. Давыдов П. С., Иванов П. А. Техническое диагностирование авиационного радиоэлектронного оборудования. Учеб. пособие. Московский инст. инж. гражд. авиации. – М.: 1987. – 80 с.

6. Растринин Л. А., Унянц Э. М. О линейной идентификации нелинейного объекта в экстремальных задачах. - Сб. "Диагностика и идентификация". Рига, Зинатне, 1974.- С.110-112.

7. Гельфандбейн Я. А., Колосов Л. В. Оценка вероятностных характеристик идентифицируемых помех и возмущений. – Сб. "Диагностика и идентификация". Рига, Зинатне, 1974. – С. 123-129.

8. Фомин Я. А. Статистическая теория распознавания образов. - М. энергия, 1981.-296 с.

9. Бензарь В. К., Кричевский Е. С, Венедиктов М. В. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов. М.: Энергия, 1980 - 190 с.

10. Викторов В. А., Лункин Б. В., Совлуков А. С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. М.: Энергоатомиздат, 1989. -207 с. 112

11. Кукуш В. Д. Электрорадио-измерения. М.: Радио и связь, 1985. - 367 с.

12. Исмагуллаев П. Р. СВЧ-преобразователи влажности. Ташкент: Таш.ПИ, 1985. - 55с.