

ЕЛЕКТРОПОБУТОВА ТЕХНІКА

Підручник для студентів вищих навчальних закладів

УДК 539.3/.6
ББК 30.121
П65

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Хмельницького національного університету,
як підручник для студентів вищих навчальних закладів
(лист № 041/137 від 13.02.2017)*

Рецензенти:

- Защепкіна Н. М.** – д-р техн. наук, проф. кафедри “Наукові, аналітичні та екологічні прилади і системи” Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”;
- Місяць В. П.** – д-р техн. наук, проф. кафедри прикладної механіки та машини Київського національного університету технологій та дизайну;
- Гордєєв А. І.** – д-р техн. наук, проф. кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету

*Жодна частина цього видання не може бути відтворена
чи передана у будь-якій формі без письмової згоди авторів*

Петко І. В., Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Скиба М. Є.
П65 Електропобутова техніка : підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – 213 с.
ISBN 978-966-330-281-2

Подані конструкції електропобутової техніки, технологічні процеси, що супроводжують роботу електропобутових машин і приладів, та системи керування їх функціонуванням.

Підручник відповідає навчальній програмі підготовки спеціалістів з електропобутової техніки у ВНЗ. Може бути корисним для студентів коледжів, аспірантів та інженерно-технічних працівників фахівців з проектування і сервісного обслуговування електропобутового обладнання.

**УДК 539.3/.6
ББК 30.121**

ISBN 978-966-330-281-2

© Петко І. В., Бурмістенков О. П.,
Біла Т. Я., Скиба М. Є., 2017
© ХНУ, оригінал-макет, 2017

ПЕРЕДМОВА

*Присвячується світлій пам'яті вчителя, колеги і друга,
Заслуженого діяча науки і техніки, д-ра техн. наук, проф.
Піскорського Георгія Августиновича*

Електропобутова техніка стала незамінним помічником в діяльності людини. Застосування в побуті електричних приладів та машин дозволяє значно скоротити час виконання домашньої роботи і істотно полегшити її. В теперішній час промисловістю випускається більше 300 видів електроприладів, які в останні роки істотно змінилися завдяки широкому використанню мікроелектроніки. На початку XXI ст. у світі було вироблено 54 млн од. електропобутової техніки (ЕПТ), з яких у побуті використовувалось 48,5 млн. Номенклатура ЕПТ різноманітна – від однофункціональних побутових електроприладів до багатофункціональних комп'ютеризованих побутових комплексів.

Сучасне суспільство більшу частину часу проводить на роботі, а використання ЕПТ дає реальну можливість зменшити навантаження за веденням домашнього господарства, переклавши частину турбот на плечі побутових машин. Подальший розвиток ЕПТ направлений на створення автоматизованих комплексів, які можуть виконувати всю домашню роботу без участі оператора. Ці комплекси можуть бути об'єднані в систему з єдиним управлінням через Інтернет.

На сьогодні з'явилися такі поняття як: “розумний” холодильник, який являє собою цілу систему для зберігання і заморожування продуктів, оснащену мікропроцесорами, різними датчиками, сканерами, USB-портами для підключення інших приладів; робот пиросос ROBOKING, що забезпечує сканування приміщення і самостійне його прибирання; “розумний дім”, в якому об'єднані усі домашні програмовані складові (побутова техніка, система охорони, освітлення, опалення), в єдину систему. Електропобутова техніка в останні роки стає невід'ємною складовою життя кожної родини і з часом витіснить практично повністю рутинну, непродуктивну домашню працю.

Підручник “Електропобутова техніка” написаний відповідно до навчального плану спеціальності “Електропобутова техніка” та навчальних програм курсів “Основи ЕПТ” і “Електропобутова техніка”.

Основні фізико-хімічні процеси, що відбуваються в різних машинах і приладах, залишились практично незмінними, в той час як істотно змінилися елементна база і системи керування. Тут послідовно розглянуті принципи дії, розрахунок окремих елементів і конструкції найбільш поширених видів ЕПТ, технологічні процеси, які потребують глибоких знань з гідравліки, пневматики, механіки, теорії тепломасообмінних процесів.

Електропобутова техніка сьогодні – складна електромеханічна система, що складається з електропривода, перетворювальних елементів (датчиків) і систем керування. У цьому виданні розглянуті основні види електродвигунів, що використовуються в приводі ЕПТ, датчиків, що формують відповідний електричний сигнал залежно від зміни параметрів технологічного процесу.

Багато уваги приділено принципівим електричним схемам керування ЕПТ, в яких використовуються мікроконтролери та мікропроцесорна техніка, розглянуто і наведено приклад

розрахунку системи двопозиційного регулювання параметрами ЕПТ, як найбільш поширеного та перспективного в теперішній час. Значну увагу приділено новому напрямку в системі керування ЕПТ, який ґрунтується на принципах нечіткої логіки в випадках, коли невідомі діапазони зміни контрольованих параметрів.

У підручнику показано, що під час розробки технічної і маркетингової політики формування промислового асортименту ЕПТ особливу увагу необхідно звернути на їх екологічну безпеку, економічність, енергоощадність і раціональну собівартість. Приділена значна увага захисту електричних мереж від радіоперешкод та шумів, які виникають при роботі ЕПТ. Це видання можна розглядати як першу спробу системного викладення принципів дії та систем управління ЕПТ.

Видання може бути базовим для ВНЗ та коледжів, що випускають фахівців усіх рівнів в області ЕПТ, та може бути корисним для аспірантів, наукових співробітників та інженерно-технічних працівників, зайнятих у сфері розробки та сервісного обслуговування ЕПТ.

Розділ 1

МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ БІЛИЗНИ

1.1. Пральні машини

Пральні машини призначені для механізації та автоматизації однієї з найбільш поширених і складних операцій ручної праці в побутових умовах – прання білизни.

1.1.1. Принцип дії і класифікація

Сутність процесу прання полягає в фізико-хімічному і механічному впливі на білизну миючого розчину, який складається з двох компонентів: води і миючих засобів (детергентів). Основою миючих засобів є поверхнево-активні речовини (ПАР), які на границі розподілу “забруднення – миючий засіб” утворюють адсорбційні прошарки. Розрізняють дві групи миючих засобів: жирові мила і синтетичні речовини. Найбільш поширені синтетичні засоби, які мають в собі не тільки ПАР, а й речовини для пом’якшення води та відбілювання білизни.

В спрощеному вигляді процес прання має наступні стадії: адсорбція (накопичення) миючих засобів, змочування забрудненої тканини, виділення та диспергування забруднення, утворення захисних плівок навкруги відмитих забруднень.

Адсорбція миючих засобів на границі розподілу сприяє зниженню поверхневого натягу, змочуванню поверхні білизни, проникненню миючого розчину між білизною і забрудненням та видаленню забруднення. Під впливом механічної дії забруднення подрібнюються, і ці утворені частки оточуються захисним прошарком, який не допускає осідання забруднень на чисту білизну. Механічна дія на білизну здійснюється активацією миючого розчину, тобто в наданні йому певної енергії.

Пральні машини характеризуються наступними основними функціональними параметрами: ефективністю прання, ступенем зниження міцності тканини, ефективністю віджимання, питомими витратами електроенергії та води.

Ефективність прання – здібність машини при одночасному впливі механічного, хімічного і теплового факторів випрати зразки тканин за номінальним завантаженням і заданих умовах. Її визначають фотоколометричним методом виміром коефіцієнта відбиття на зразках тканин з різними видами забруднень. Ефективність прання у відсотках для кожного виду забруднення розраховують за формулою:

$$EFB_n = \frac{X_{\kappa_i} - X_{o_i}}{X - X_{o_i}}, \quad (1.1)$$

де X_{κ_i} – загальне середнє арифметичне коефіцієнтів відбиття для i -го виду забруднювача на зразках після прання, %; X_{o_i} – загальне середнє арифметичне коефіцієнтів відбиття для i -го виду забруднювача, визначене на зразках до прання, %; X – загальне середнє арифметичне коефіцієнтів відбиття для чистого зразка до забруднення, %.

Ступінь зменшення міцності, %, характеризує відносне зниження міцності зразків тканини у результаті прання і визначається зменшенням розривної сили відповідно до залежності:

$$NF = \frac{F_o - F_k}{F_k} \cdot 100,$$

де F_o – середнє арифметичне значення розривної сили 15 зразків, яких ще не прали, Н;
 F_k – середнє арифметичне значення розривної сили 25 зразків після 20 циклів прання, Н.

Ефективність полоскання характеризується зміною лужності води після останнього полоскання в порівнянні з водопровідною водою. Цей показник, ммоль/л, розраховують за формулою:

$$EF_{\Pi} = C_k - C_o, \quad (1.2)$$

де C_k – лужність води після останнього полоскання; C_o – лужність води з водогону. Ефективність полоскання визначається як середнє арифметичне п'яти циклів прання.

Ефективність віджимання характеризує кількість води, що залишилась в зразках тканини після центрифугування, по відношенню до маси сухого завантаження і визначається як:

$$EF_B = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

де m_1 – маса завантаження після віджимання, кг; m – маса номінального завантаження, кг.

Питомі витрати електроенергії, кВт/кг, – витрати енергії для прання одного кілограма білої бавовняної тканини при найдовшому циклі прання. Їх визначають при початковій температурі води 15 °С:

$$E_{num} = \frac{E_{сер}}{m}, \quad (1.4)$$

де $E_{сер}$ – середнє арифметичне значення витрат електроенергії, яке визначене для п'яти циклів прання, кВт·год.

Якщо початкова температура води $t \neq 15$ °С, то величину споживаної електроенергії визначають за формулою:

$$E = E_{сер} - \frac{V_g(t-15)}{860},$$

де V_g – об'єм води, який необхідно нагріти протягом повного циклу прання, л; t – температура води, що подається, °С; $\frac{1}{860}$ – коефіцієнт перерахування теплової енергії, кВт·год.

Питомі витрати води (рідинний модуль) – витрати води для прання одного кілограма білої бавовняної тканини при повному циклі прання.

Пральні машини можна класифікувати за такими ознаками: за способом активації миючого розчину, кількістю баків, ступенем механізації і автоматизації операцій прання, номінальним завантаженням білизни.

За способом активації миючого розчину пральні машини поділяють на машини з робочими органами, які обертаються; вібраційні; з направленим струменем рідини або повітря. Раніше перераховані способи активації можливо використовувати самостійно або одночасно один з одним. Машини з дисковими активаторами (баковими або донними), лопатевими мішалками, а також барабанного типу відносять до машин з робочими органами, що обертаються.

Вібраційні пральні машини залежно від джерела вібрації можуть бути механічними, електромагнітними, гідравлічними, магніострикційними і п'єзоелектричними. Перевагою вібраційних машин і машин з направленим струменем рідини або повітря є те, що в них під час прання менше зношується білизна.

На сьогодні в побуті використовують в основному пральні машини з дисковими активаторами, лопатевими мішалками та барабанні, в зв'язку з їх простотою і відносно невеликими витратами на виготовлення і експлуатацію.

В пральних машинах з дисковим активатором миючий розчин активується диском, на одній з площин якого є спеціальні ребра, що підвищують ступінь активації. Активатор може бути розташований в баку на боковій поверхні або на дні.

В пральних машинах з лопатевою мішалкою остання рухається зворотно-обертово відносно вертикальної осі на кут 210° (приблизно з 50..60 рухів/хв). В деяких випадках мішалка одночасно рухається в зворотно-обертному і в зворотно-поступальному напрямках.

У пральних барабанних машинах прання проводиться в перфорованому барабані з ребрами на внутрішній поверхні для підсилення перемішування білизни. Барабан, який встановлено горизонтально в середині бака машини, завантажують білизною, після чого в бак заливають миючий розчин. Рівень рідини повинен бути таким, щоб білизна в барабані була занурена в ній. При обертанні барабана білизна під дією відцентрових сил притискується до внутрішньої поверхні барабана і підіймається вгору до тих пір, доки момент тертя її з внутрішньою поверхнею барабана відносно осі обертання не буде перевищувати момент маси відносно цієї осі. Коли момент маси стає більшим за момент тертя, білизна падає в миючий розчин, а потім знову ребрами барабана підіймається вгору. Процес цей періодично повторюється.

Частоту обертання барабана вибирають такою, щоб білизна при пранні підіймалась до самої максимально високої точки і тільки потім падала в миючий розчин. За таких умов досягається найбільша ефективність прання. Залежно від виду оброблюваного матеріалу раціональна частота обертання барабана дорівнює 45..60.

Для запобігання скручування білизни барабан обертається за переривчасто-реверсивною схемою: обертання за годинниковою стрілкою – пауза – обертання в зворотному напрямі. Тривалість цих періодів задають в залежності від виду оброблюваної білизни, ступеня її забруднення та інших факторів. Найбільш часто використовують наступні схеми обертання (в секундах): 11–4–11; 4–11–4; 12–3–12; 3–12–3. Чим більший проміжок часу обертання, тим більш інтенсивним буде процес прання, тому схеми 11–4–11 та 12–3–12 використовують для прання сильно забруднених бавовняних тканин, а схеми 4–11–4 та 3–12–3 – для прання тканин з синтетичних матеріалів.

Інтенсивність процесу прання в значній мірі залежить від температури миючого розчину. Тому пральні машини оснащені нагрівальними елементами, потужності яких достатньо для підігріву холодної води до необхідної температури.

За ступенем механізації і автоматизації процесів обробки білизни пральні машини у відповідності зі стандартом України поділяють на чотири типи: ПМ, ПМР, ПМН, ПМА. Машини типу ПМ (пральна машина) не мають пристроїв для віджимання білизни. В цих машинах автоматизована тільки операція прання та полоскання.

Машини типу ПМР мають пристрій для віджимання з ручним приводом, типу ПМН (напівавтоматичні) мають пристрій для віджимання, який приводиться в дію електродвигуном. Пральні машини ПМР та ПМН промисловістю вже не випускаються.

В пральних машинах типу ПМ розчин після прання зливається самопливом, а віджимання білизни виконується ручним способом або за допомогою центрифуги. Як правило, в цих машинах вал активатора є одночасно і валом електродвигуна, в зв'язку з чим частоти обертання активатора і двигуна однакові – 1350 об/хв.

Прання білизни в машинах ПМ виконується за допомогою активатора, який має форму диска 1 з шістьма ребрами 2 на поверхні (рис. 1.1). Вал активатора або запресовується в активатор, або закручується в гайку, яка запресована в активатор. Вал обертається в бронзографі-

тових підшипниках. Для запобігання втрат рідини з бака вузол активатора герметизується гумовим ущільнювачем.

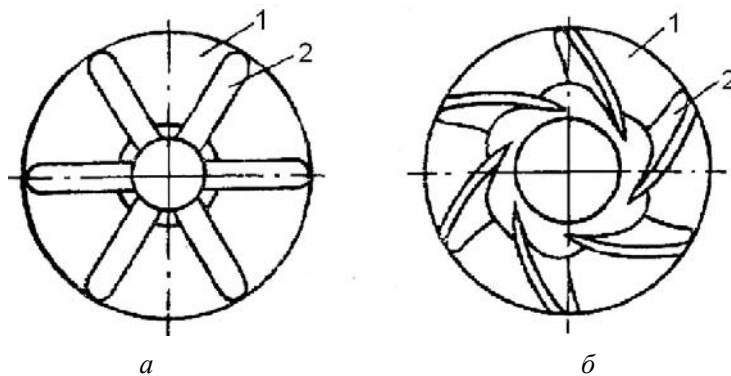


Рис. 1.1 – Схеми активаторів пральних машин:
a – з радіальними ребрами; *б* – із спіральними ребрами

Машина ПМ можуть мати два режими прання – нормальний і бережливий. У першому режимі перуть забруднену білизну з бавовняних тканин, а у другому – малозабруднену білизну із синтетичних матеріалів.

Ці режими можливо досягти двома способами: 1) використанням активатора спеціальної форми; 2) зміною режиму роботи електродвигуна.

Перший спосіб показаний на рис. 1.1, *б*. Активатор в даній конструкції має ребра спіральної форми. Інтенсивність циркуляції миючого розчину залежить від напрямку обертання активатора. При обертанні за годинниковою стрілкою інтенсивність циркуляції і ступінь дії миючого розчину на білизну менше ніж при обертанні в зворотному напрямі. У другому способі активатор залишається незмінним, а бережливий режим забезпечується за рахунок реверсивного режиму обертання активатора: обертання за годинниковою стрілкою – пауза – обертання проти годинникової стрілки. Такий режим зміни часу обертання і пауз забезпечує прання бавовняних тканин (12–4–12) і синтетичних (4–12–4). Паузи між періодами обертання зменшують загальний час дії миючого розчину на білизну протягом циклу прання.

Потужність пральних машин з реверсивним режимом обертання активатора в 1,1...1,2 рази більша, ніж потужність машин з несиметричними активаторами. Це пов'язано з тим, що при кожному реверсі активатор як би “розкручує” білизну, тому що починає обертатися в інший бік. Це збільшує тривалість запуску і навантаження на електродвигун. Водночас, витрати електроенергії на цикл прання в обох випадках приблизно однакові, тому що електродвигун працює в бережливому режимі на 25...30 % менше, ніж при постійній роботі в машинах з несиметричним активатором.

Надійність пральних машин з реверсивним обертанням активатора незначно нижча ніж машин з несиметричним активатором за рахунок використання задавального пристрою і підвищення навантаження на електродвигун.

У машинах типу ПМА (автоматичні) барабанного типу всі операції з обробки білизни автоматизовані. Послідовність виконання команд з обробки білизни задається програматором (командоапаратом).

За масою одноразової обробки сухої білизни машини поділяються на наступні категорії: 0,75; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 кг. Автоматичні машини, як правило, мають можливість завантаження в межах 4...5 кг; напівавтоматичні 2...4 кг; з ручним віджиманням 0,75...2 кг.

Крім того, сучасні пральні машини поділяють на наступні групи:

1) за класом прання, визначається його ефективністю, за формулою (1.1): *A, B* – кращі показники; *C, D, E* – середні показники; *F, G* – нижчі показники ;

2) за класом віджиму – визначається ефективністю віджиму за формулою (1.3): A, B – кращі показники; C, D, E – середні показники; F, G – нижчі показники;

3) за класом енергоекономічності – визначається питомими витратами електроенергії за формулою (1.4): A – мінімальна витрата енергії; B, C – економічна витрата енергії; D – середня витрата енергії; E – висока витрата енергії; F, G – дуже висока витрата енергії.

1.1.2. Гідромеханічні процеси в пральних машинах з активатором

Якість прання білизни в побутових пральних машинах різних типів визначається за багатьма факторами, головним з яких є гідродинамічний, що залежить від виду робочого вузла-активатора.

На процес прання в пральних машинах з активатором одночасно з хімічною дією миючих засобів і температури води значний вплив має механічна дія миючого розчину.

В зв'язку з тим, що розташування жмутка тканини в процесі прання безперервно змінюється, гідродинамічний процес в пральному баку являє собою складний рух. При цьому виникають два основних режими плинину рідини: ламінарний і турбулентний. Ламінарним називається гідродинамічний режим з переміщенням елементарних часток рідини паралельно напрямку руху потоку. Турбулентним називають гідромеханічний режим, при якому виникає вихор з хаотичним переміщенням в об'ємі рідини. Якщо в ламінарному потоці від одного прошарку до іншого переходять тільки молекули, то в турбулентному – елементарні частки рідини. Тому для отримання найбільшої ефективності з точки зору прання необхідно створити турбулентний рух.

У гідромеханіці рух рідини описують рівнянням Бернуллі:

$$E_{II} + E_p + E_K = \text{const},$$

де E_{II} – потенційна енергія розташування елементарної частки рідини; E_p – потенційна енергія тиску рідини; E_K – кінетична енергія елементарної частинки рідини.

При плинні рідини необхідно враховувати втрати енергії на подолання опору тертя. В такому разі рівняння Бернуллі характеризує зміну тиску:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\omega_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\omega_2^2}{2 \cdot g} + \Delta h,$$

де h_1 і h_2 – геометричні напори, які залежать від висоти стовпа рідини над певною точкою; $\frac{p_2}{\rho \cdot g}$ та $\frac{\omega_2^2}{2 \cdot g}$ – відповідно п'єзометричний і швидкісний напори; Δh – втрати напору.

На основі рівняння Бернуллі визначаються швидкість, витрати рідини, тиск та інші параметри.

Характер руху рідини визначає критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega_0 \cdot S}{\nu},$$

де ω_0 – середня кутова швидкість рідини; S – площа, в межах якої рухається рідина; ν – кінематична в'язкість рідини.

Для пральних машин критерій Рейнольдса можливо записати у вигляді:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot \omega \cdot d}{\mu},$$

де ρ і μ – густина і динамічна в'язкість прального розчину; ω – кутова швидкість активатора; d – діаметр активатора.

Експериментальні дослідження довели, що за значенням $Re < 2 \cdot 10^3 \dots 10 \cdot 10^3$ забезпечується інтенсивний ламінарний рух, а при $Re > 10 \cdot 10^3$ – турбулентний рух, при якому миттєво змінюються швидкість окремих частинок і напрямів їх руху, тобто відбувається пульсація швидкості та забезпечується найбільш ефективне прання.

При обертанні активатора в пральному баку циліндричної форми виникають три основні потоки миючого розчину: 1 – осьовий, направлений по осі обертання активатора; 2 – радіальний, направлений по радіусу активатора; 3 – тангенціальний, дотичний до радіуса активатора (рис. 1.2).

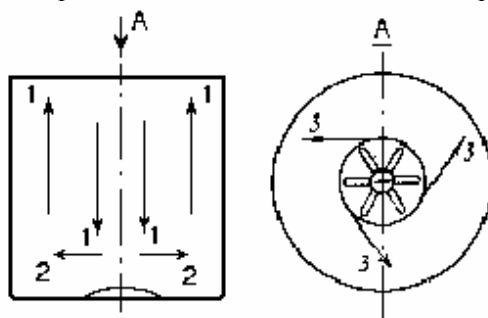


Рис. 1.2 – Схема руху рідини у пральному баку з осесиметричним розташуванням активатора

Від процесу обертання активатора в рідині виникає циліндричний вихор круглого перерізу з постійною кутовою швидкістю (зона I, рис. 1.3).

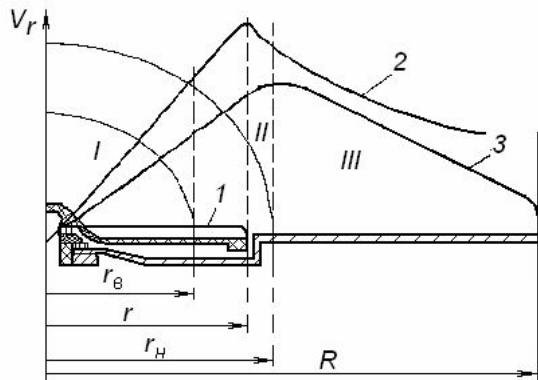


Рис. 1.3 – Розподіл швидкостей руху частинок розчину в пральному баку
1 – активатор; 2 – теоретичний розподіл швидкостей; 3 – реальний розподіл швидкостей

Теоретичний діаметр вихору повинен дорівнювати діаметру активатора $d = 2r$. Швидкість частинок у вихорі вздовж радіуса активатора зростає лінійно. За межами дії активатора циліндричний вихор збуджує рух частинок рідини вздовж радіуса зі швидкістю, що зменшується (зона III). Між цими двома зонами виникає перехідна зона II (радіус цієї зони $r_H = 1,25r$). Радіус вихору визначено експериментально: $r_B = 0,75r$.

Для потокоутворення найбільше значення має тангенціальна складова.

Тангенціальна швидкість у вихорі становить:

$$v_{II} = \omega_p \cdot r,$$

де ω_p – кутова швидкість рідини.

У периферійній зоні III приблизно можна вважати, що:

$$v_{III} = \frac{\omega_p \cdot r_H \cdot r_B}{r};$$

а в перехідній зоні II:

$$v_{II} = \omega_p \frac{r_g}{r_n - r_g} \left(2r_n - r_g \cdot r_n \cdot \frac{1}{r} - r \right).$$

Тангенціальна швидкість досягає свого максимуму при $r = \sqrt{r_n \cdot r_g}$.

Присутність радіальної швидкості рідини на дні бака біля активатора створює підвищений тиск біля стінки бака і розрідження в центрі. Таким чином, потік підіймається вгору біля стінки (висхідний потік) і спадає вниз в центрі активатора. При певних швидкостях по осі обертання можливе утворення лійки, яка значно погіршує умови тривимірного перемішування і якість прання, а також порушує структуру потоку під якою концентрується тканина. Зі збільшенням глибини лійки, тканина притискується до активатора і практично не перемішується. Для зменшення лійки використовуються різного виду елементи відбиття потоку, які утворюють локальні завихрення навколо периметра бака. В той самий час, ці елементи збільшують опір потоку, що призводить до підвищення необхідної потужності прання. Для зменшення глибини лійки вдвічі необхідно затратити енергії в два рази більше. Крім того, при плоскому дні бака необхідна більша потужність, ніж в машинах з півциліндричним або сферичним дном. Збільшення висоти рідини над активатором також призводить до підвищення необхідної потужності прання. В зв'язку з цим краще використовувати не осесиметричне розташування активатора, а бокове або використовувати декілька активаторів.

Експериментально доведено, що краще за все для зменшення лійки необхідно встановлювати ребра на кришці бака, причому їх оптимальна висота повинна бути такою, щоб за відсутності активації ребра були на одному рівні з миючим розчином. Ефективність прання, %, можна оцінити емпіричною формулою:

$$EF_{Bn} = 3,1 + 0,81d + 0,098n + 0,49h + 0,49 \cdot 10^{-4} n \cdot d - 0,7 \cdot 10^{-4} n^2,$$

де d та h – відповідно числові значення діаметра і висоти лопаток активатора, мм; n – частота обертання активатора, об/хв.

1.1.3. Теоретичні основи гідромеханічного прання білизни у машинах барабанного типу

Залежно від конструктивного виконання і виду вузла активації розробляють відповідні технологічні режими гідромеханічної обробки. Найбільш розповсюдженим видом гідромеханічного способу прання є барабанний, ефективність якого залежить від конструктивних характеристик прального барабана: форми і габаритних розмірів, кількості гребенів, виду та кількості отворів перфорації та ін.

Процес гідромеханічного прання визначає не тільки загальність техніко-конструктивних принципів побудови всіх моделей машин, а й архітектуру технологічної схеми обробки білизни, основними елементами якої є режими прання, полоскання і віджимання білизни.

Режим прання, в свою чергу, залежить від умов обробки білизни, а ефективність прання є функцією впливу багатьох факторів: конструктивного, хімічного, теплового, часу обробки, кількості завантаженої білизни, концентрації прального миючого засобу (ПМЗ) і водного модуля, причому інтенсивність впливу гідродинамічного фактора залежить від конструктивних характеристик як основного вузла – барабана, так і від машини в цілому.

Технологічна схема обробки білизни визначає ефективність використання ПМЗ, що, в свою чергу, визначає екологічність машини. Дотепер не існує пральної машини, технологічна схема обробки білизни якої передбачала б використання незначної кількості ПМЗ: як правило, кількість рекомендованого для прання засобу, незалежно від типу машини, становить 80...110 г на 10 л води. Таким чином, вирішити екологічну проблему завдяки зменшенню забруднення водоймищ можна двома шляхами: знайти замітники ПМЗ або розробити технологію прання з мінімальною концентрацією цих речовин. Для практичної реалізації останнього необхідно проаналізувати зв'язок вхідних і вихідних факторів, які властиві машинам барабанного типу.

Єдиної теорії прання білизни в машинах барабанного типу не існує, але час від часу виникають спроби математично описати процес прання. Пропоновані емпіричні вирази мають за мету встановити залежність вихідних параметрів від різних факторів при оптимізації технології обробки білизни або її складових. Деякі з них дозволяють скласти прогноз щодо впливу окремих конструктивних елементів системи внаслідок зміни їхнього співвідношення, наприклад, кількості гребенів, їх геометрії тощо. Через те, що прання є багатофакторним процесом, такі моделі будуються на критеріях подібності з використанням численних припущень і умовностей. До недоліків подібних розрахунків слід віднести також те, що їхня мета спрямована на оптимізацію технологічних процесів машинного прання в межах існуючого конструктивного виконання, залишаючи поза увагою напрям створення пральних машин, в яких змінена традиційна схема технологічного процесу обробки білизни. Нові технологічні схеми передбачають зміну співвідношення складових процесу прання або застосування додаткових систем зволоження білизни.

У загальному випадку більшість відомих робіт, що мають за мету покращення якості гідромеханічного способу прання, присвячені вивченню впливу конструктивних параметрів пральних машин на ефективність прання.

Аналіз результатів досліджень цієї групи робіт вказує на те, що за основу більшості пропонованих методів розрахунків впливу окремих факторів у процесі прання взято математичну модель руху сипких матеріалів. Згідно з цією моделлю, режим руху сипких матеріалів, що знаходяться всередині барабана, із збільшенням частоти його обертання змінюється з перекату на циклічний. Особливість руху останнього стало піддрунтям для появи розрахунків і на їхній основі висновків, недоліком яких є нехтування кінетикою руху миючого розчину як зовні, так і всередині барабана, всередині жмутка білизни, а також руху останньої залежно від ступеня завантаження барабана.

З літератури, що присвячена питанням механіки рідин і газів, відомо, що опір будь-якого тіла F_o рухомому потоку рідини визначається густиною ρ і її швидкістю v_p , площею тіла S та коефіцієнтом лобового опору f_o :

$$F_o = f_o \frac{\rho \cdot S}{2} v_p^2. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт лобового опору є функцією критерію Рейнольдса, значення якого, як відомо, залежить від швидкості потоку ω , характерного лінійного розміру L і коефіцієнта кінематичної в'язкості рідини.

На практиці гідродинамічний опір F_o прального барабана рідині зменшують завдяки зменшенню площі його активної поверхні S . Найбільш відомий спосіб зменшення активної поверхні – перфорація внутрішніх поверхонь, отвори якої, як правило, розміщують на бічній поверхні барабана.

Якщо у виразі (1.5) знехтувати властивостями середовища, в якому знаходиться тіло, то видно, що зменшення активної площі S призведе до зменшення опору тіла.

В першому наближенні коефіцієнт лобового опору f_o стосовно характеру обтікання плоского тіла рідиною, можна ототожнити з коефіцієнтом перфорації барабана машин K_{II} , який є відношенням сумарної площі всіх отворів перфорації S_n до загальної площі внутрішньої поверхні барабана S_o і визначається за формулою:

$$K_{II} = \frac{S_n}{S_o},$$

а значення S_n та S_o розраховують за формулами:

$$S_n = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot Z_o}{4}; \quad S_o = 2\pi \cdot R \cdot H,$$

де d та Z_o – діаметр і кількість отворів перфорації відповідно; R та H – внутрішній радіус і висота барабана, відповідно.

Зменшення лобового опору поверхні барабана сприяє підвищенню масообміну всередині системи “барабан–білизна”. Таким чином, для машин барабанного типу коефіцієнт перфорації K_{II} набуває іншої якості, тобто є характерним параметром, значення якого буде вказувати на ступінь активації миючого розчину. Вважають, що механічний фактор в основному визначає якість прання, а від його інтенсивності залежить вплив хімічного і теплового чинників. Тому, з метою поліпшення якості ПМ барабанного типу виробникам було рекомендовано приділити увагу конструктивному виконанню барабана.

Оскільки механічний фактор є узагальнюючим параметром, що складається з таких конструктивно-технологічних елементів як діаметр барабана, швидкість обертання і структура реверсування, кількість і геометричні розміри гребенів, об’ємний та рідинний модулі та ступінь заповнення перерізу барабана білизною, для розрахунків, як правило, використовують безрозмірну величину (критерій Фруда) Fr , яка є відношенням відцентрового прискорення a до прискорення сили тяжіння g , які впливають на білизну:

$$Fr = \frac{a}{g}.$$

Застосовуючи модель руху сипких матеріалів, показують, що за умови $Fr > 1$ відривання маси білизни від бічної поверхні барабана неможливо, а $Fr < 1$ – призводить до відривання маси білизни від барабана у верхній точці його обертання.

При цьому вважають, що на матеріальну систему, яка рухається з прискоренням, діють відцентрові сили і сила тяжіння, а також сила інерції при зміні швидкості обертання барабана.

Якщо прийняти ω за кутову швидкість обертання барабана; $\omega^2 r$ – відцентрове прискорення, яке радіально направлено від центра барабана; а r – радіальну відстань від точки до центра обертання барабана, тоді:

$$Fr = \frac{\omega^2 r}{g}. \quad (1.6)$$

Для розрахунку частоти обертання барабана використовують модель поведінки білизни під час прання, яка ґрунтується на припущенні, що вона є сукупністю кінематичних самостійних елементів, між якими існують зв’язки. В контексті цього контакт окремих елементів білизни між собою або з поверхнею барабана розглядається як непружний співудар, при якому кінетична енергія елементів витрачається на їх деформацію. Тому однією з умов рівномірності обробки білизни визначають мінімальну різницю енергій різних її шарів, достатній рівень якої забезпечується при значеннях критерію гравітаційної подібності $K_g = 0,71 \dots 0,75$. Цей діапазон значень K_g є достатнім для забезпечення раціональних параметрів барабана, а за суттю є відношенням відцентрового прискорення до прискорення сили тяжіння, тобто тотожний виразу (1.6). У цьому контексті зазначимо, що, наприклад, в машині “Вятка-автомат” за частотою обертання барабана $n = 55$ об/хв значення коефіцієнта становить $K_g = 0,7686$, що цілком достатньо для одержання високих значень ефективності прання.

Покращити якість обробки білизни в барабанних машинах можна завдяки оптимізації геометричних розмірів, форми і кількості гребенів, а також введенням додаткових елементів, які б перешкоджали утворенню “мертвої зони” всередині жмутка тканини. Але, як видно з виразу (1.6), збільшити K_g можна лише двома способами: збільшити діаметр барабана D або частоту його обертання ω .

Реалізація першого способу в побутових пральних машинах обмежена історично сформованими габаритними розмірами машин, які, як правило, відповідають ергономічним вимогам і не перебільшують 850×600×600 мм (висота, глибина, ширина, відповідно).

Щодо збільшення частоти обертання барабана, то тенденція розвитку виробництва автоматичних ПМ на сучасному етапі вказує, що навпаки, більшість виробників вводять в технологічну схему прання білизни режим із зменшеною частотою обертання барабана, що зумовлено якісними змінами у текстильному виробництві: сучасний асортимент виробів виготовляється з хімічних та суміші хімічних і натуральних волокон, які потребують використання бережливого режиму прання.

Таким чином, існуючі різноманітні математичні моделі процесу прання в барабанних машинах не пояснюють причин обмеженості ефективності прання, яка властива гідромеханічному способу.

Разом з тим, існує єдина думка, що від правильності вибору частоти обертання барабана в режимі прання залежить якість прання. Теоретично підбором відповідної частоти обертання можливо досягти максимального ефекту, який полягає у збільшенні механічного впливу на білизну. Очевидно, що механічний вплив тим більше, чим більша кінетична енергія буде передана масі білизни, і таким чином, визначається частотою обертання барабана, діаметром і кількістю гребенів, рівнем розчину в баку.

При незначній частоті обертання має місце режим “перекату”, за яким виникає поступове зісковзування верхніх шарів тканини. При збільшенні частоти обертання барабана білизна підіймається на максимальну висоту і падає з максимальною кінетичною енергією. При подальшому збільшенні частоти обертання, коли відцентрові сили перевищують масу вологої білизни, остання притискується до барабана у вигляді кільця і обертається разом з ним.

На рис. 1.4 наведена структурна схема процесу прання. Основним виконавчим елементом системи прання є електродвигун, який забезпечує реверсивне обертання барабана з білизною за заданою програмою протягом певного часу. Команди на електродвигун формує командоапарат. Реле рівня та реле керування насосом підтримує певний рівень миючого розчину в баку пральної машини. Робота пральних машин можлива лише за зачиненими дверима люка, що забезпечується мікрорелевим блокуванням його блокування. Зливання відпрацьованого розчину здійснюється насосом у каналізацію.

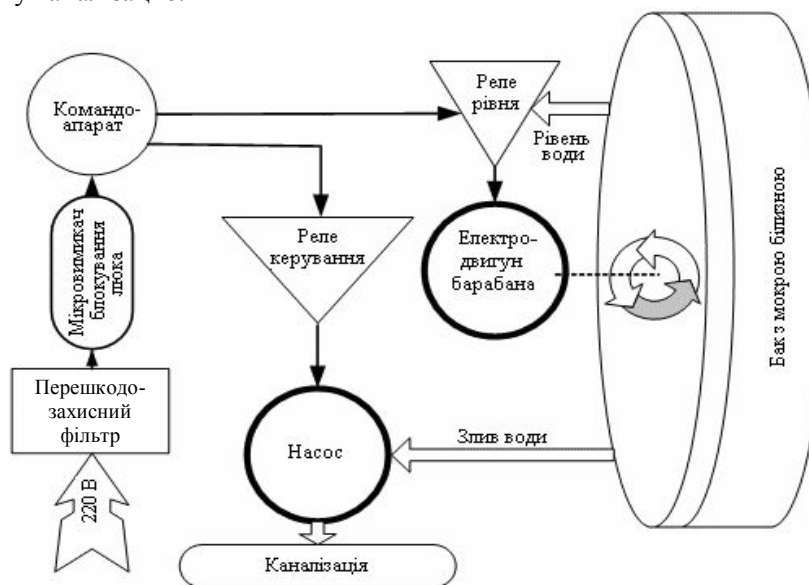


Рис. 1.4 – Структурна схема процесу прання

Як відомо, режим прання барабанних пральних машин включає наступні основні операції: 1) попереднє прання, 2) основне прання, 3) полоскання, 4) віджимання (проміжне та заключне), 5) сушіння (в деяких ПМА).

Попереднє прання призначене для насичення волокон білизни миючими засобами, зменшення адгезії забруднення з тканиною і видалення основної частки забруднення, розташованого на поверхні тканини і в плетіннях між волокнами. Ці забруднення являють собою мікро-частинки, присутність яких під час основного прання призводить до погіршення прання. Аналіз цієї операції в закордонних машинах показав, що температура миючого розчину практично всіх моделей дорівнює 40 °С, а час операції 20...35 хв. Підвищення температури попереднього прання неприпустиме, тому що при високих температурах зсідается білок, який є в забрудненні. Цей білок міцно з'єднується з волокнами і його вимити доволі складно. В подальшому білкові забруднення, які залишилися після прання, окиснюються і призводять до пожовтіння тканини в місцях забруднення.

Для підвищення прання і зменшення втрат міцності внаслідок скручування тканин вводять реверсивний режим прання, при якому напрям обертання барабана постійно змінюється, з паузами перед зміною напрямку.

В такому випадку час дії результуючої механічної сили, %, буде тільки часткою загального часу прання:

$$F_m = \frac{t_0}{t_0 + t_n} 100,$$

де t_0 – час обертання барабана, с; t_n – проміжок пауз між лівим і правим напрямом обертання, с;

$$t_0 = t_{вл} + t_{вн},$$

де $t_{вл}$, $t_{вн}$ – інтервали обертання барабана відповідно вліво і вправо.

Загальний інтервал циклу можна записати:

$$t_{ц} = t_{вл} + t_n + t_{вн} + t_n.$$

Якщо проміжки реверсування в процесі прання різні, то загальна механічна дія становитиме:

$$F_m = \frac{F_{m_1} t_1 + F_{m_2} t_2 + \dots + F_{m_n} t_n}{T},$$

де $F_{m_1}, F_{m_2}, \dots, F_{m_n}$ – механічна дія в кожному циклі реверсування, %; t_1, t_2, \dots, t_n – час кожного циклу реверсування, с; T – загальний час прання, с.

У закордонних пральних машинах механічне навантаження при попередньому пранні коливається в широких межах від 28 % (модель “Philips 822”) до 88 % (модель “Siwamat 850”) при структурі реверсування: $t_{ц1} = 12 - 3 - 12$ (модель “Philips 822”); $t_{ц2} = 3 - 18 - 3$ (модель “Philips 822”); $t_{ц3} = 14 - 4 - 14$ (модель “Siwamat 850”).

Механічне навантаження буває трьох режимів:

1) інтенсивним ($M = 70$ %) при структурі реверсування:

$$t_{ц1} = 14 - 4 - 14; t_{ц2} = 12 - 3 - 12;$$

2) нормальним ($M = 50$ %) при структурі реверсування:

$$t_{ц1} = 10 - 5 - 10; t_{ц2} = 9 - 4 - 9;$$

3) бережливим ($M < 40$ %) при структурі реверсування:

$$t_{ц1} = 5 - 15 - 5; t_{ц2} = 3 - 18 - 3.$$

З метою досягнення максимального ефекту використовують комбіновану структуру реверсування. Як правило, при нагріванні використовують нормальний або бережливий режими прання в зв'язку з тим, що в холодному розчині механічне навантаження тільки збільшує втрати міцності. В той же час при температурі розчину 90 °С ефективне використання інтен-

сивного режиму. Загальний час дії механічного навантаження при пранні не повинен перевищувати 60...70 хв. Подальше збільшення механічного навантаження значно збільшує зношення тканини. Так, при підвищенні механічного навантаження до 90...95 хв, зношення дорівнює 10...12 % при пранні 59...62 %, якщо зменшити механічне навантаження до 70 хв, то зношення зменшується до 8...9 % при практично такій же величині прання 59...60 %.

Інтервал попереднього прання визначається необхідністю нагрівання миючого розчину до заданої температури і терміном набухання волокон. Набухання волокон – процес, при якому волокна тканини поглинають вологу, збільшуючись при цьому в поперечному та поздовжньому напрямках. У процесі набухання послаблюються молекулярні зв'язки волокон і забруднень, процес завершується практично за 20...25 хв, що відповідає часу підігріву миючого розчину до встановленої температури. Цей час і температура встановлюється для попереднього прання з бережливим механічним навантаженням (час – 20 хв, температура – 40 °С).

Основне прання проводиться за максимально допустимої температури для даного виду тканини. Для бавовняних тканин вона дорівнює 90...95 °С. Використання таких високих температур необхідне для видалення жирових забруднень. Висока температура діє не тільки на жири з'єднання, а й на карбонат натрію, який є складовою частиною синтетичних миючих засобів і при температурі, вищій за 70 °С, розпадається з виділенням кисню. Кисень при взаємодії з жировими забрудненнями забезпечує видалення останніх з тканини.

Тривалість основного прання складається з двох складових: часу нагрівання миючого розчину до заданої температури t_n та часу прання після нагріву t_p . Час t_n залежить від початкової температури розчину, рідинного модуля і температури навколишнього середовища. Цей час задається програмою і дорівнює приблизно 20 хв. Під час прання нагрівачі, як правило, виключаються в зв'язку з тим, що температура практично залишається незмінною. Збільшення часу прання більше 20 хв недоцільне, тому що при цьому температура розчину падає до 60...70 °С, при яких можлива ресорбція забруднення з миючого розчину в тканину.

В барабанних машинах рідинний модуль значно менший, ніж в активаторних. Так, в активаторних машинах він дорівнює 18...22 л/кг, в барабанних – 5...7 л/кг. В останніх моделях закордонних фірм намічається тенденція різкого зниження рідинного модуля до 2,2...3,6 л/кг.

Як було відмічено раніше, для забезпечення максимальної кінетичної енергії тканини при її паданні в барабані, рівень води повинен бути максимально нижчим. Практично рівень незв'язаної води встановлюється не вище 25 мм над тканиною. Присутність невеликого рівня незв'язаного з тканиною миючого розчину високої температури забезпечує тісний їх контакт і підтримує необхідну температуру прання.

Враховуючи, що 1 кг сухої тканини (бавовняної) утримує 2,2...2,5 кг розчину, то для забезпечення рівня незв'язаного миючого розчину 20...25 мм рідинний модуль барабанних машин при основному пранні повинен бути 3 л/кг, а при попередньому – до 4 л/кг, тому що температура миючого розчину в цьому випадку не перевищує 40 °С і витрати електроенергії незначні. Зменшення рідинного модуля до 3...4 л/кг дозволяє зменшити затрати на миючі засоби та електроенергію.

На заключній стадії прання рекомендується доливати холодну воду до рідинного модуля 5...6 л/кг. Доливання холодної води знижує температуру миючого розчину, що допомагає краще видалити забруднення.

Для зниження втрат міцності білизни при основному пранні рекомендується використовувати наступний режим механічної дії: при нагріванні до 40 °С – бережливий режим; при нагріванні розчину від 40 до 85 °С – нормальний, при досягненні 85...90 °С – інтенсивний режим.

Стандартом України для режиму основного прання в барабанних машинах встановлено температуру миючого розчину 85 ± 2 °С і механічне навантаження протягом 60 хвилин, якщо ці параметри не встановлені автоматичною системою керування пральної машини. Наприклад, у деяких сучасних моделях існують спеціальні енергоощадні програми: 1) встановлення 75° замість 90° – дозволяє заощадити до 15 % електроенергії; 2) 60° замість 90° – дозволяє заощадити до 30 % електроенергії; 3) 40° замість 90° – дозволяє заощадити до 35 % електроенергії.

Провести аналіз і встановити математичні залежності між окремими параметрами прання, наприклад, пранням, втратою міцності, температурою, дуже важко. В таких випадках проводять експериментальні дослідження. При значному числі параметрів для зменшення кількості експериментів використовують теорію планування експерименту (конкретно метод Бікса–Уільсона).

При розробці математичної моделі процесу прання в якості параметра оптимізації вибрано показник прання EF_{Bn} . Як фактори, що визначають процес, прийнято кількість миючого розчину V_p , температуру розчину при основному пранні t_p , концентрацію миючих засобів c , час основного прання після досягнення заданої температури τ_1 , сумарний час механічної дії τ_2 . Інтервали варіювання обрані в таких межах:

$$V_p = 12 \dots 22 \text{ л}; t_p = 65 \dots 85 \text{ }^\circ\text{C}; c = 2 \dots 4 \text{ г/л}; \tau_1 = 15 \dots 30 \text{ хв}; \tau_2 = 25 \dots 45 \text{ хв}.$$

Для прання отримано наступне рівняння:

$$EF_{Bn} = -16,1 + 0,12V_p + 0,75t_p + 16,2c + 0,2\tau_1 + 0,056\tau_2 - 0,17c \cdot t_p.$$

Аналіз цієї залежності показав, що збільшення об'єму миючого розчину на 1 л приведе до підвищення показника прання всього лише на 0,12 %.

Полоскання. Процес полоскання – це видалення з тканини залишків розчинених засобів прального розчину та окремих часток забруднення, які залишились в тканині. Ефективність полоскання EF_{II} визначається за формулою (1.2) і не повинно перевищувати 0,3 мг/л.

У процесі полоскання використовують велику кількість води. В закордонних машинах використовують 4...6 циклів з витратами води до 25 л на 1 кг тканини. У деяких моделях використовують проточний спосіб полоскання. В таких машинах витрати води ще більші. Для отримання залишкової лужності менше 0,3 мг/л, як правило, необхідно провести п'ять полоскань із загальними витратами води до 100 л.

Для підвищення якості полоскання у всіх моделях пральних машин використовують інтенсивну механічну дію. Загальний час полоскання становить в межах 8...25 хв. Ефективним методом підвищення якості процесу є введення проміжного віджимання між полосканням протягом 1...2 хв. Так, використання двох проміжних віджимань по 2 хв після другого і третього полоскання дозволяє зменшити кількість останніх до чотирьох із забезпеченням лужності води 0,17 мг/л.

1.1.4. Розрахунок параметрів барабанів

Розглянемо сили, які діють на матеріальну точку B на гребені барабана (рис. 1.5).

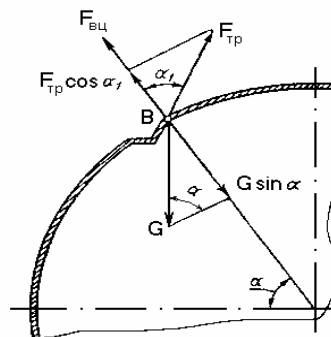


Рис. 1.5 – Схема дії сил на матеріальну точку в пральному барабані

Сила тяжіння G , яка направлена вертикально вниз; відцентрова сила $F_{вц}$, яка направлена радіусом від центра, та сила тертя $F_{тр}$ мають такі значення:

$$G = mg; F_{вц} = m\omega^2 R; F_{тр} = Nf;$$

де m – маса вологої тканини; ω – кутова швидкість барабана; R – радіус барабана; N – реакція поверхні гребеня барабана від тиску тканини; f – коефіцієнт тертя.

Кут α підйому точки B відповідає моменту, коли білизна починає зісковзувати з гребеня. При цьому буде виконуватися рівняння:

$$G \sin \alpha = m \omega^2 R + F_{mp} \cos \alpha_1,$$

де α_1 – кут нахилу гребеня.

Це рівняння можливо записати у вигляді:

$$mg \sin \alpha = m \omega^2 R + F_{TP} \cos \alpha_1$$

або

$$\sin \alpha = \omega^2 R/g + F_{TP} \cos \alpha_1/mg.$$

За максимальним кутом підйому $\alpha = \pi/2$:

$$1 = \omega^2 R/g + F_{TP} \cos \alpha_1/mg.$$

Враховуючи, що $\cos \alpha_1 < 1$ та $F_{TP}/mg < 1$, можемо умовно записати:

$$1 = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{m \omega^2 R}{mg} = \frac{F_{\text{вц}}}{G} = Fr$$

або

$$Fr = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{4\pi^2 n^2 R}{9,81} \approx 4R \cdot n^2, \quad (1.7)$$

де n – частота обертання барабана, об/с.

Отриманий вираз (1.7) відповідає значенню критерію Фруда (1.6). В пральних машинах цей вираз називають фактором відокремлення Φ , оптимальне значення якого повинно дорівнювати одиниці.

Таким чином, механіка процесів в робочих барабанах визначається фактором відокремлення Φ (1.7) і залежить від значень R і ω . Тому при проектуванні робочих барабанів їх геометричні та кінематичні параметри повинні бути взаємно ув'язані через фактор відокремлення Φ .

При заданій масі завантаження машини m корисна ємність барабана становить:

$$V_{\sigma} = m \cdot V_0,$$

де V_0 – об'ємний модуль барабана:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4K_1},$$

де D – діаметр барабана; L – довжина прального барабана; K_1 – коефіцієнт, який враховує об'єм, що займають гребені та інші конструктивні внутрішні елементи барабана ($K_1 = 0,98$).

За даними аналізу сучасних моделей побутових машин барабанного типу об'ємний модуль знаходиться в межах 8,9...10,4 дм³/кг. Так, модель Slimstar Mark III Philips (Франція) має $V_0 = 8,9$ дм³/кг; модель "V-360" фірми "Bosch" (Німеччина) має $V_0 = 10,3$ дм³/кг; "Вятка-автомат" (Росія) – $V_0 = 10,4$ дм³/кг.

Від значення об'ємного модуля залежить рухомість виробів в процесі їх обробки, і як результат, і інтенсивність механічного впливу на них. Якщо прийняти відношення $D/L = K_2$, то:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cdot V_0 \cdot K_1 \cdot K_2.$$

Діаметр прально-віджимної машини з торцевим завантаженням можна також визначити за емпіричною залежністю $D = 0,22\sqrt{m}$, а для машин з верхнім завантаженням $D = 0,16\sqrt{m}$.

Частота обертання барабана впливає не тільки на якість обробки, але й на продуктивність машини. Чим більше число обертів виконує барабан, тим більша частота падінь білизни в одиницю часу, а отже, і процес обробки здійснюється швидше.

Підвищення частоти обертання обмежується, як відомо, критичною частотою $n_{кр}$, яка визначається із співвідношення:

$$\Phi = \frac{F_{ви}}{G} = \frac{m\omega^2 D/2}{mg} = \frac{\omega^2 D/2}{g} = \frac{(2\pi \cdot n)^2 D/2}{g}; \quad n_{кр} = \sqrt{\frac{2g \cdot \Phi}{(2\pi)^2 D}}$$

Робоча частота обертання барабана в режимі прання $n_{пр}$ приймається за умовою:

$$n_{пр} = 0,8n_{кр}$$

Об'єм робочої рідини, необхідної для прання в барабані, обчислюється так:

$$V_p = \vartheta_p \cdot m,$$

де ϑ_p – рідинний модуль, який приймаємо $\vartheta_p = 5 \dots 7$ дм³/кг.

Діаметри перфорації приймаються $d = 4,5 \dots 5$ мм. Крок отворів вздовж осі барабана і крок отворів перпендикулярно осі барабана дорівнюють $a = b = 15$ мм, коефіцієнт перфорації розраховують за формулою:

$$K_{II} = \frac{0,78d^2}{0,5ab}$$

Висота ребер приймається $h_p = (0,08 \dots 0,15)D$.

1.1.5. Прання в ультразвукових пральних пристроях

В ряді сучасних пральних машин використовують дію на тканину ультразвуку і кавітації.

Відомо, що звук – це хвиля тиску, яка поширюється безперервно в суцільному середовищі (повітря, газ, тверді тіла). В середовищі, що не стискається, до якого належить і вода, звукові хвилі розповсюджуються безперервно тільки при малій амплітуді. При збільшенні амплітуди, а відповідно, і негативного тиску, в зоні розрідження виникає розрив суцільного середовища: при високій температурі утворюються бульбашки повітря або пари, які при підвищенні тиску “захлопуються”, утворюючи при цьому в мікрзоні тиск до 1 МПа. Це явище називають кавітацією і його використовують для руйнування забруднень тканини при ультразвуковому пранні.

Ультразвук – це звукові хвилі частотою, яка більше ніж 18 кГц. В техніці при ультразвуковому очищенні і пранні використовують хвилі частотою 20...50 кГц. Використовують два типи хвиль: один з них заснований на ефекті магнітострикції (стискання і розширення середовища в змінному магнітному полі), а другий на п'єзоелектричному ефекті (стискання і розширення середовища в змінному електричному полі).

Магнітострикційні ультразвукові випромінювачі генерують хвилі великої потужності, але в обмеженому частотному діапазоні.

П'єзоелектричні ультразвукові випромінювачі не такі потужні, але дозволяють досягти діапазону який вимірюється у мегагерцах.

Для найбільш інтенсивної кавітації необхідно, щоб у воді було мало розчиненого повітря. Ефект кавітації зменшується від того, що з розчиненого у воді повітря частка бульбашок стискається власним поверхневим натягом. Для ефективного прання рекомендується деарирувати воду, щоб знизити концентрацію повітря в ній до рівня 0,48 ммоль/л.

З точки зору фізики задача прання зводиться до того, що частинки, які розташовані на поверхні забруднення, повинні бути розчинені (якщо вони розчинні), видалені (якщо вони нерозчинні) або одночасно і розчинені та видалені (нерозчинні частки в суміші з розчинним носієм).

Кавітація сприяє і розчиненню, і видаленню забруднення. Мікроскопічні розміри бульбашок, які утворились в процесі кавітації, дозволяють чистити найменші елементи структури тканини, а тому цей спосіб прання має переваги перед іншими.

При руйнуванні невидимих оком бульбашок одночасно з видаленням часток забруднення утворюється озон, який знищує віруси, бактерії та найпростіші мікроорганізми, зокрема вегетативну мікрофлору. Крім того, малопотужні акустичні хвилі використовуються при пранні як каталізатор хімічного процесу: вони підвищують активність миючого засобу в декілька разів. Недоліком кавітаційної дії бульбашок є руйнування основи тканини та їх фарбників.

У торгівлі вже з'явилися пральні машини “на долонях” – мініатюрні ультразвукові пральні пристрої (УПП) – “Solana” (Болгарія), “Колибри” (м. Зеленоград, Росія), “Бионика” (м. Тольятті, Росія), “Ретона” (м. Томськ, Росія) та ін.

Прання полягає у встановленні УПП на дно бака ємністю не більше 30 літрів гарячої води з пральним порошком. Туди ж завантажуються брудна білизна. Приблизний час прання при масі білизни до 2 кг і об'ємі води 20...25 л дорівнює 40...60 хв. Під час прання рекомендовано 2...3 рази перемішувати білизну.

УПП мають масу від 200 до 350 г, потужність від 5 до 15 Вт, частоту акустичних коливань від 18 до 100 кГц. Для усунення недоліків, які пов'язані з втратою міцності тканини, розроблені пристрої з частотою коливання 6...10 кГц, або навіть 50...60 Гц. Така низькочастотна кавітація дозволяє забезпечити більш бережливе прання, тому що для нього характерна скоріше пульсація бульбашок, ніж їх “захлопування”. Проблема, яка виникає при експлуатації таких ультразвукових пристроїв, є розкидання їх індивідуальних характеристик. Ця особливість УПП пов'язана з тим, що при виготовленні кожного з них не проводиться індивідуального підстроювання робочої частоти в резонанс з власною частотою вібраційного елемента. В такому випадку енергія випромінювання “розмазана” спектром і ефективність прання незначна. Поки що УПП, які випускаються серійно, не допускають можливості регулювання робочої частоти в резонанс з власною частотою вібраційного елемента.

1.1.6. Конструкції автоматичних пральних машин

Основні елементи конструкції автоматичної пральної машини показано на рис. 1.6.

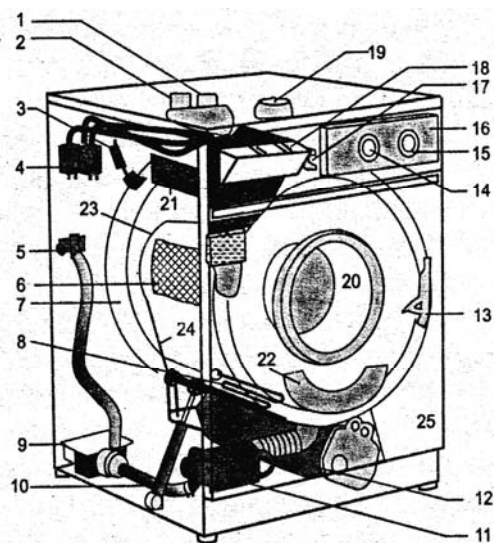


Рис. 1.6 – Схема конструкції автоматичної пральної машини

Корпус 25 виготовляється зі сталевих листів та покривається фарбою, стійкою до лужного середовища розчинів миючих засобів. Для зменшення шумів при роботі пральної машини на внутрішній панелі інколи приклеюють листи матеріалу, що поглинає звук.

Бак 7 пральної машини може виготовлятися зі сталевих хромованих або емальованих листів. За останні роки все більше розповсюдження отримали баки із пластмас (poliplex, carboran, polytenax, silitech). Ці баки дешевші та більш технологічні ніж металеві, мають високу стійкість до корозії, незначні теплопровідність та звукопроникність, що дозволяє зменшити теплові втрати та шумові характеристики машин.

Головний недолік пластмасових баків – це недостатня міцність, що може бути причиною появи тріщин та обриву в місцях закріплення при сильних ударах та при транспортуванні. Звичайно бак має форму круглого циліндра, але у ряді моделей Candy для додаткової економії води при пранні нижня частина бака виконана в формі овалу, що знижує об'єм води, який не має прямого контакту з білизною. Така конструкція дозволяє зменшити як об'єм води, необхідний для прання, так і кількість електроенергії для нагрівання цього об'єму.

Барабан 6 завжди виконується з нержавіючої сталі і являє собою перфорований циліндр, в який при пранні завантажуються білизни. В машинах з верхнім завантаженням закріплені обидва кінці осі барабана, а в машинах з фронтальним завантаженням барабан закріплюється консольно, тільки на одному кінці осі обертання, при цьому на бічній поверхні барабана є люк 20 для завантаження білизни.

На рис. 1.6 прийняті наступні позначення елементів: 1 – фільтр грубого очищення, 2 – клемна коробка, 3 – пружина підвіски, 4 – блок вхідних електромагнітних клапанів, 5 – штуцер зливання води, 6 – барабан, 7 – бак, 8 – термоелектронагрівальний елемент (ТЕН), 9 – насос, 10 – амортизатор, 11 – фільтр, 12 – електродвигун, 13 – блокувальний механізм люка, 14 – рукоятка вибору температури прання, 15 – рукоятка командоапарата, 16 – панель керування, 17 – кнопка відкриття люка, 18 – бункер миючих засобів, 19 – реле рівня, 20 – люк, 21 – верхня протизахисна перегородка, 22 – нижня протизахисна перегородка, 23 – шків, 24 – приводний ремінь, 25 – корпус.

На внутрішній стінці барабана встановлені ребра трикутної форми для підйому білизни на певну висоту. В багатьох моделях ці ребра заповнюються миючим розчином при проходженні барабаном нижньої частини бака, а потім цей розчин виливається на білизну зверху через отвори на бічних поверхнях ребер ("ефект зрошення" – системи прання AquaSpray, AquaTronic). Крім того, зрошення може відбуватися з трьох сторін, тобто через отвори ребер та задньої стінки барабана (3 – DAquaSpray, 3 – DAquaTronic).

У деяких моделях з метою підвищення якості прання є додаткове пряме вприскування розчину в барабан пральної машини: Direct Spray у фірми Electrolux, система "Гейзер" у фірми "SanGiorgio". В машинах з фронтальним завантаженням білизни є спеціальний люк з прозорого скла або пластмаси, іноді використовують два матеріали: внутрішнє вікно зі скла, а зовні вікно дублюється декоративною пластмасою, температура якої навіть при пранні з температурою 90 °C залишається невисокою. Для забезпечення безпечного користування всі сучасні пральні машини мають блокування механізму люка під час технологічного циклу.

Підвіска бака пральної машини (див. рис. 1.7) являє собою систему з двох пружин 1, за допомогою яких бак кріпиться до верхньої рами корпусу та амортизаторів 2, які з'єднують бак з нижньою рамою корпусу. Ця система забезпечує зниження амплітуди коливань бака, які виникають під час технологічного процесу в зв'язку з дисбалансом, який є результатом нерівномірності розташування білизни на поверхні барабана. З цієї метою до бака прикріплюються також протизахисні перегородки 3 з металу чи бетону, які збільшують загальну масу системи. Протизахисні перегородки можуть встановлюватися над баком та під ним, або на передній кришці бака, при цьому, загальна їх маса досягає до 20 кг.

У зв'язку з меншою міцністю бетонних протизахисних перегородок в порівнянні з металевими, в деяких пральних машинах вони встановлюються в пластикову оболонку, що забезпечує їх цілісність навіть при екстремальних ударних навантаженнях.

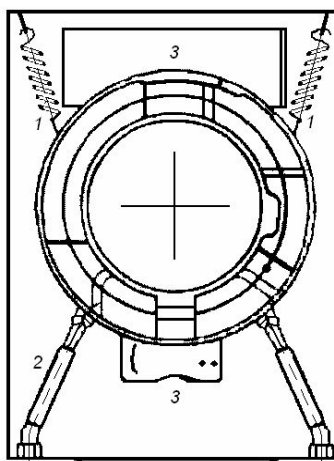


Рис. 1.7 – Схема підвіски

Гідравлічна система пральної машини містить у собі вхідні електромагнітні клапани, розподільник миючих засобів, насос для зливання прального розчину після завершення технологічної операції. Всі ці елементи з'єднуються між собою за допомогою патрубків, крім того є патрубки заливання води та виливання прального розчину. Насос конструктивно з'єднаний з фільтром, за допомогою якого фільтрується пральний розчин перед вимиванням з пральної машини. На рис. 1.8 наведена структурна схема процесу подання води.

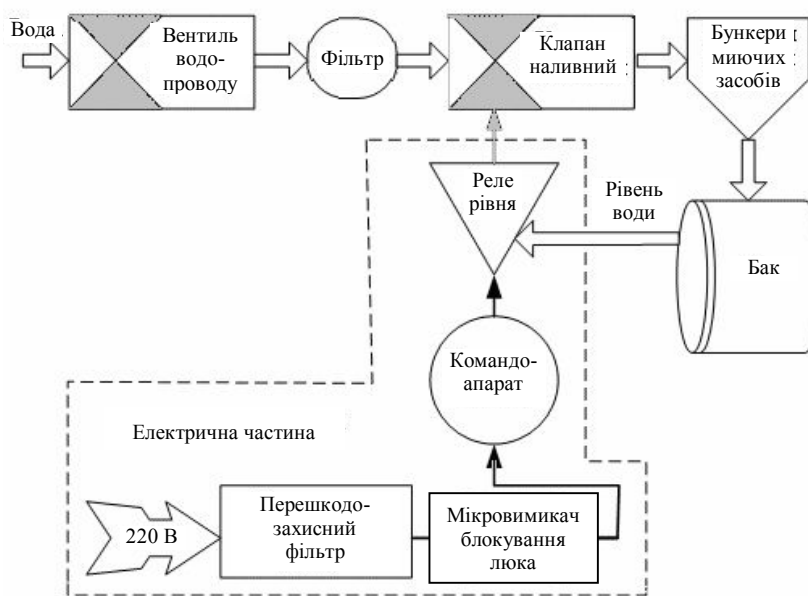


Рис. 1.8 – Структурна схема процесу подання води

Від водопроводу через вентиль, що відкривається вручну або систему AquaStop, через фільтр грубого очищення вода подається до клапана наливання. Роботою цього клапана керує безпосередньо реле рівня. Команди на спрацьовування цього реле подає командоапарат. Пройшовши відкритий клапан наливання, вода змиває у бак пральний порошок з відповідного відділу бункера миючих засобів. При заповненні бака миючим розчином потрібного об'єму, спрацьовує реле рівня. Клапан наливання перекриває воду.

Для нагрівання води в пральних машинах монтується ТЕН, який являє собою трубчастий омичний опір, розташований в силіконовому матеріалі. Потужність ТЕН сучасних пральних машин в межах до 2 кВт. Як правило, він має в своїй конструкції термозахисний запобіжник, який розриває коло живлення при перегріві у випадку порушень циклу при виконанні програми (включення ТЕН без води). Структурна схема процесу нагрівання води наведена на рис. 1.9.

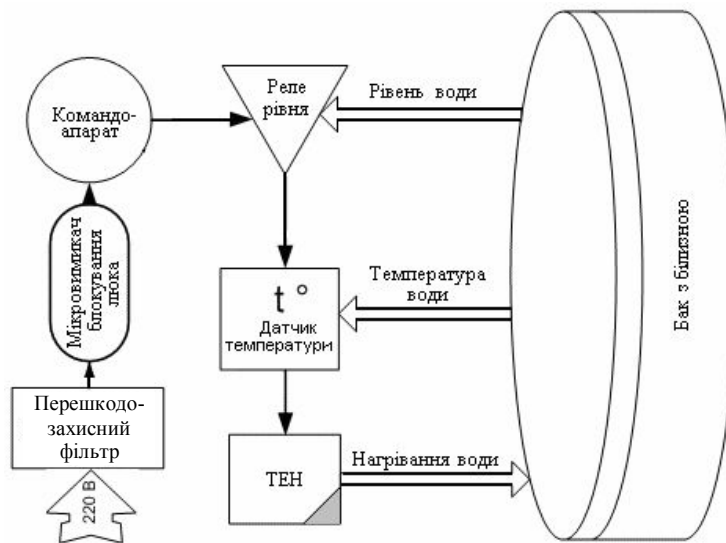


Рис. 1.9 – Структурна схема процесу нагрівання води

Всі сучасні пральні машини комплектуються фільтром для захисту від електричного замикання (рис. 1.4, 1.8, 1.9), яке виникає при замиканні та розмиканні контактів в елементах електричного кола пральної машини-командоапарата, датчиків, реле, перемикачів тощо.

1.1.7. Електропривод та системи керування автоматичних пральних машин

Електродвигун. Як приводи барабана в пральних машинах використовуються колекторні або асинхронні однофазні електродвигуни.

Колекторні двигуни дають можливість плавного регулювання швидкості обертання при пранні і забезпечення високої швидкості обертання барабана в режимі віджимання. Універсальний колекторний електродвигун є нерухомим статором з обмоткою збудження, в якому обертається якір. Статор електродвигуна слугує одночасно корпусом і набирається з покритих лаком листів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм. Пакет статора складається з фігурної листової електротехнічної сталі, яка утворює два полюси, на які монтуються обмотки збудження. Обмотка збудження з'єднується послідовно з обмоткою якоря. Якір електродвигуна монтується на підшипниках і являє собою вал, на який напресоване осердя з пазами для обмотки, яка набрана з покритих лаком листів електротехнічної сталі. На валу якоря змонтований також колектор, який теж набирається з мідних пластин, ізольованих одна від одної прокладками.

Асинхронні однофазні електродвигуни відрізняються від колекторних простотою конструкції, більшою надійністю й дешевизною. Швидкість обертання вала асинхронного електродвигуна із двома обмотками дорівнює 2800 об/хв. Ця швидкість кратно залежить від числа обмоток: при 16 обмотках (восьми парах) швидкість у вісім разів менше, ніж при одній парі обмоток і дорівнює 350 об/хв. В асинхронному електродвигуні статор має циліндричну форму і набирається з листів електротехнічної сталі. В пазах статора розміщується дві однофазні обмотки: робоча та пускова. Ротор являє собою набраний із круглих пластин з отворами пустотілий циліндр, напресований на вал. Стрижні, що з'єднують пластини ротора, замикаються між собою за допомогою кілець.

За способом запуску асинхронні електродвигуни підрозділяють на дві групи. До першої групи відносять двигуни з пусковою обмоткою підвищеного опору, яка відключається відразу після розгону ротора, а до другої – двигуни з конденсаторним пуском. Двигуни з пусковою обмоткою підвищеного опору прості за конструкцією, не мають додаткового фазозсувального елемента. Вони мають досить високі пускові характеристики (кратність початкового пускового моменту – до 1,5). В той самий час кратність пускового струму – досягає 10. Недоліком двигунів такого типу є менша надійність порівняно з конденсаторними двигунами у зв'язку з можливістю виходу з ладу пускової обмотки.

Для поліпшення пускових характеристик в двигунах другої групи послідовно з пусковою обмоткою додатково включається конденсатор, що приводить до збільшення зсуву фаз і пускового обертового моменту. Після запуску конденсатор відключається, а всі характеристики двигуна зберігаються такими ж, як і у двигуна з пусковою обмоткою підвищеного опору. Реверс електродвигуна на етапі прання для зміни напрямку обертання барабана забезпечується шляхом перемикання обмоток.

У деяких моделях пральних машин використовуються електродвигуни постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Такі двигуни забезпечують широкі можливості вибору режимів роботи порівняно з асинхронними двигунами. Високий пусковий момент електродвигуна постійного струму дозволяє починати режим віджимання при заповненому пральним розчином бака, що знижує рівень вібрації і виключає скручування і зминання тканин. Двигуни даного типу мають високі характеристики гальмування, що дозволяє здійснювати плавну зупинку барабана протягом 4 с після закінчення процесу віджимання. Реверсивний режим двигуна постійного струму здійснюється перемиканням полярності, зміна швидкості руху – за допомогою тиристорного регулятора швидкості з випрямлячем та конденсатором, який зменшує падіння напруги в мережі, що виникає внаслідок навантаження при обертанні барабана під час прання.

Електромеханічні системи керування. В сучасних пральних машинах використовують три системи керування програмами обробки білизни: електромеханічна, змішана та електронна. Принцип керування ґрунтується на тому, що всі процеси обробки білизни умовно поділені на дві групи: основні операції, термін виконання яких не залежить від умов експлуатації (попереднє і основне прання, відполіскування, сушіння) та операцій, що забезпечують необхідні параметри води (рівня, температури).

Термін виконання основних операцій задається на етапі проектування машини. Особливістю операцій другої групи є їх залежність від величини напруги живлення, тиску води в магістралі водопостачання, ступеня забруднення фільтра. Від значення напруги в системі електроживлення залежить термін нагрівання води до заданої температури та продуктивність насоса; величина тиску в магістральній системі водопостачання впливає на швидкість заповнення бака до заданого рівня; забруднення фільтра в процесі експлуатації знижує його пропускну спроможність та збільшує термін зливання води.

Ці особливості основних і допоміжних операцій зумовлюють і різні принципи керування ними. Необхідна тривалість основних операцій забезпечується відповідним числом кроків командоапарата. Керування допоміжними процесами другої групи здійснюється за тими параметрами, які забезпечуються цими операціями, наприклад, заповнення бака водою проводять до певного рівня, нагрівання води – до певної температури, відповідної вимогам технологічного процесу. При електромеханічній системі керування оператор встановлює вихідне положення програмних контактів та програмних кулачків командоапарата за допомогою рукоятки вибору програм та кнопок на панелі пральної машини.

Командоапарат (КА). Послідовність та тривалість виконання заданих операцій обробки білизни здійснюється за допомогою командоапарата, що має систему контактів керування роботою елементів електричного кола пральної машини. Командоапарат (програматор) координує роботу всіх виконавчих органів пральної машини за рахунок замикання та розмикання контактів електричного кола через задані проміжки часу.

Командоапарат кулачкового типу (рис. 1.10) складається із крокового електродвигуна 2, набору кулачків 1 і контактів 3, які замикаються або розмикаються при обертанні кулачків. За допомогою рукоятки 5, яка виведена на панель керування 4 машини, оператор встановлює вихідне положення кулачків відповідно до обраної програми.

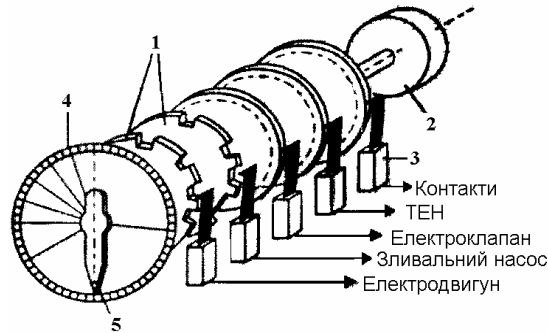


Рис. 1.10 – Схема командоапарата кулачкового типу

Кулачки поділяються на дві групи: робочі (основні) та допоміжні (або швидкісні чи реверсивні). Робочі кулачки керують електродвигуном пральної машини, насосом, вхідним електроклапаном та ТЕН. Допоміжні кулачки керують зміною напрямку обертання барабана під час прання, а також спеціальними програмами прання та віджимання (делікатними режимами).

Група робочих (основних) кулачків приводиться в рух за допомогою електродвигуна КА. Кулачки здійснюють дискретні повороти (кроки), причому при обертанні кулачка на 360° кількість кроків, як правило, дорівнює 60. Залежно від конструкції КА термін повного оберту може становити 90, 120 або навіть 300 хв. Робочі кулачки сконструйовані таким чином, що контакт, яким вони керують, може бути у двох або трьох позиціях. Двом позиціям відповідає стан “замкнено” або “розімкнено”. Трьом позиціям відповідають стани: 1) замикання контакту між загальним вводом та виводом А; 2) розмикання контуру; 3) замикання контакту між загальним вводом та виводом В. Час перебування контактів в тій чи іншій позиції визначається профілем кулачка. Графік, який відображає стан контактів на кожному кроці виконання програми, називається циклограмою КА (рис. 1.11).

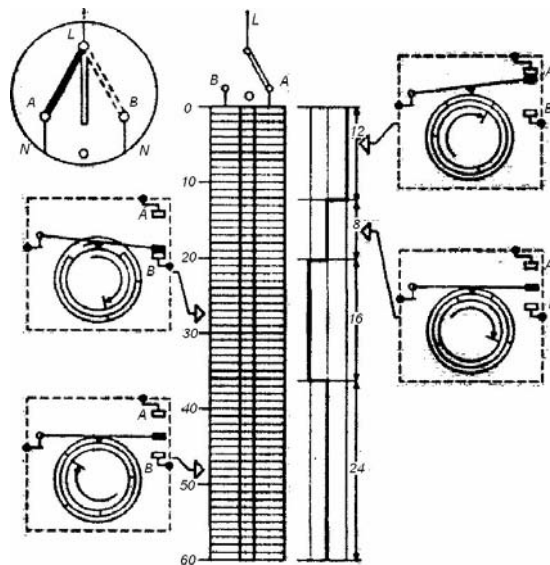


Рис. 1.11 – Стан контактів на різних кроках виконання програми (циклограма КА)

Для виконання деяких спеціальних операцій КА може комплектуватися системою зупинки руху кулачків. Таке блокування може зберігатися до виконання пральною машиною деяких функцій. Програма продовжується після того, як ці функції виконані. Так, пристрій “Термостоп” використовується, щоб не допустити руху кулачків, поки вода в баку не досягне потрібної температури. Цей пристрій блокує робочі кулачки відносно головної осі КА, при цьому в роботі залишаються тільки допоміжні кулачки. Друга операція блокування – “Гідростоп” забезпечує зупинку пральної машини з частково заповненим водою баком після бережливого полоскання при пранні тканин малої міцності. При цьому відключається подача живлення електродвигуна КА. Робота машини блокується, поки оператор вручну не переведе КА на один крок.

У ньому може бути встановлений також й головний вимикач машини, і тому її можна включати й виключати за допомогою рукоятки вибору програм, при переміщенні її уздовж осі КА. При цьому керування головними контактами L та N кола живлення пральної машини забезпечується за допомогою диска, об’єднаного з рукояткою (див. рис. 1.11). Як пристрої, які забезпечують керування виконавчим механізмом, використовують датчики-реле рівня, регулятори температури, електромагнітні клапани (ЕК).

Реле рівня. Принцип роботи реле рівня води ґрунтується на перетворенні тиску стовпа рідини на мембрану в переміщення рухомих контактів та перемикання реле рівня. Всі основні деталі реле рівня закріплені у корпусі (рис. 1.12).

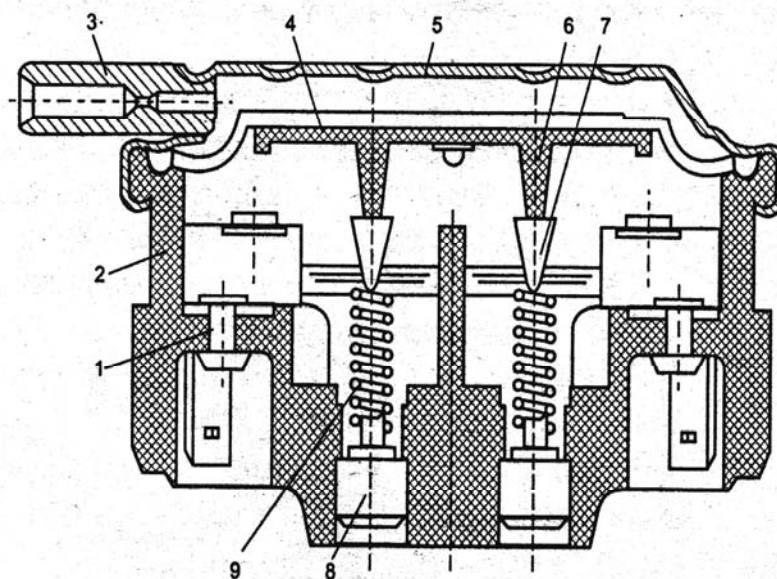


Рис. 1.12 – Принципова схема реле рівня

Між корпусом 2 і кришкою 5 розташована мембрана 4, яка є чутливим елементом і поділяє реле рівня на дві порожнини. Одна з них герметична і з’єднана через штуцер 3 з контрольованим рівнем води.

В другій порожнині розміщені перемикачі. Мембрана має два виступи зі штовхачами 6, які через упори 7 передають зусилля на перемикаючі плоскі пружини й на пружини 9, жорсткість яких регулюється за допомогою гвинта 8.

Нерухомі контакти кріпляться до корпусу 2 заклепками 1. Кінці кришки 5 та мембрани 4 вальцьовані на буртик корпусу 2.

Під час заповнення баку водою, тиск на мембрану збільшується і при досягненні верхнього заданого значення рівня води мембрана через штовхачі перемикає контакти. При зменшенні тиску на величину зони нечутливості відбувається зворотнє перемикання контактів.

Миттєве перекидання контактів здійснюється за допомогою плоских пружин. Послідовність спрацьовування контактів дворівневого реле типу РУ-3СМ наведено на рис. 1.13.

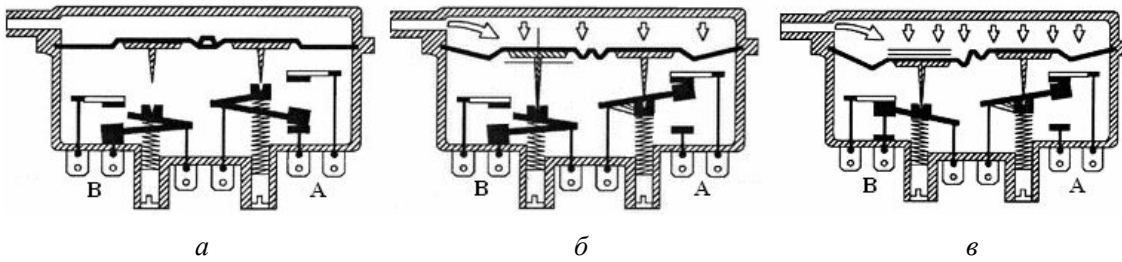


Рис. 1.13 – Схема розташування контактів реле: *a* – стадія 1; *б* – стадія 2; *в* – стадія 3

Стадія 1 – за відсутності у баку води обидва контакти реле розімкнені (рис. 1.13, *a*). Стадія 2 – при підвищенні тиску і заповненні баку водою до заданого рівня мембрана прогинається і через штовхач перемикає більш чутливий контакт А (рис. 1.13, *б*). Стадія 3 – тиск води досягає максимального встановленого значення, замикається другий контакт В (рис. 1.13, *в*). При зниженні тиску нижче заданого рівня відбувається зворотнє перемикання контактів.

Регулятори температур. Як регулятори температури (РТ) в електромеханічних системах використовуються біметалеві регулятори, принцип роботи яких ґрунтується на температурній деформації металів. Дві металеві пластини, що виконані з металів з різним коефіцієнтом теплового розширення, наприклад “сталь-мідь”, після нагрівання будуть мати різну довжину. Якщо ці пластини скріпити по всій довжині, то така біметалева пластинка прогинається у бік металу з меншим коефіцієнтом теплового розширення. На цій властивості біметалевої пластинки ґрунтується принцип роботи РТ. Він може бути нормально розімкнутим (при нагріванні відбувається замикання контактів електричного кола) і нормально замкнутим (при нагріванні електричне коло розмикається). Схема конструкції реле з нормально замкнутим контактом показана на рис. 1.14.

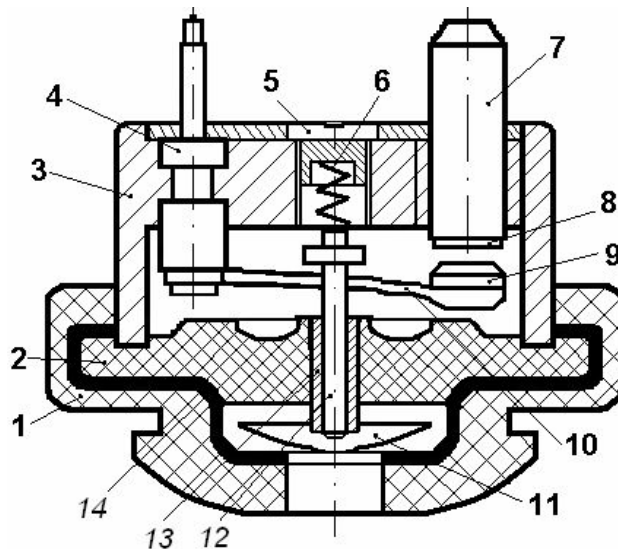


Рис. 1.14 – Конструкція реле з нормально замкнутим контактом

На корпусі 3, який закритий кришкою 1, закріплені контакт 4 та контактоутримувач 7 з контактом 8. На одному кінці контактної пружини 10 закріплений контакт 9, а другий її кінець з'єднаний з контактом 4. У внутрішній порожнині гвинта 5 розташована пружина зсуву 6.

Стан пружини фіксується бічною поверхнею гвинта 5 та виступом штока 12. Втулка-штовхач 13 може вільно переміщуватися відносно перегородки 2, а шток 12 – відносно внутрішньої поверхні втулки-штовхача.

Як термочутливий елемент використовується біметалевий диск 11, який захищений від ударів вставкою 14. У вихідному стані диск 11 повернутий випуклою стороною вниз, при цьому контакти 8 і 9 розімкнуті. При нагріванні розчину прогин диска зменшується, а при досягненні необхідної температури диск миттєво змінює прогин на протилежний (випуклою стороною вверх). При цьому диск 11 через втулку-штовхач 13 діє на контактну плоску пружину 10 і замикає контакти 8 і 9. При подальшому підвищенні температури розчину прогин диска 11 збільшується, втулка-штовхач натискає на пружину 10 з більшим зусиллям, що необхідно для надійного замикання контактів 8 і 9. При охолодженні розчину прогин диска спочатку зменшується, а при досягненні температури розмикання контактів миттєво змінює прогин (випуклою стороною вниз). Контакти розмикаються. Гвинт 5, пружина 6 та шток 12 дозволяють регулювати температуру спрацювання реле, яка залежить від величини попереднього стиснення пружини 6 гвинтом 5.

Електромагнітний клапан (ЕК) призначений для відкривання подачі води в пральну машину, а при заповненні бака – перекривання подачі в необхідний момент часу. Принципова схема ЕК показана на рис. 1.15, нормальний стан клапана – закритий.

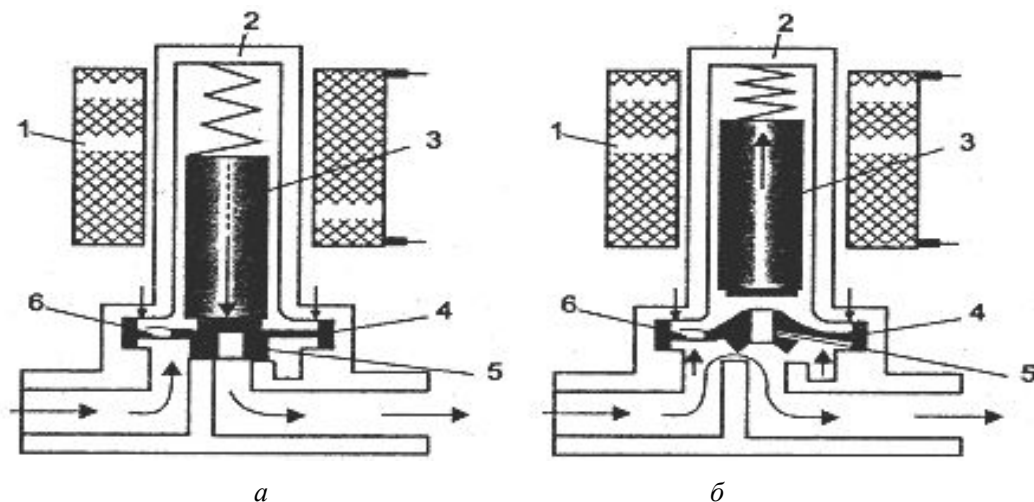


Рис. 1.15 – Схема електромагнітного клапана: а – закритий; б – відкритий

При включенні ЕК (рис. 1.15, б) під дією магнітного поля котушки електромагніта 1 відбувається втягування в неї осердя 3. У цей момент відкривається отвір 5, і починається подача води в пральний бак. Після заливання необхідної кількості води відбувається розмикання електричного кола ЕК, осердя електромагніта під дією пружини 2 повертається у початкове положення (рис. 1.15, а) та перекриває при цьому отвір. Тиск води через отвір 6 натискає на мембрану 4, що дає можливість зрівноважити тиск пружини 2.

1.2. Віджимання

У процесі віджимання з матеріалу видаляється тільки капілярна рідина, яка найменше зв'язана з ним. Для матеріалу, в якому є рідина, можна записати:

$$m_m = m_c + m_p, \quad (1.8)$$

де m_m – маса мокрого матеріалу; m_c – маса сухого матеріалу; m_p – маса рідини.

Відносна φ та абсолютна φ_a вологість матеріалу, %, визначаються виразами:

$$\varphi = \frac{m_p}{m_m} \cdot 100, \quad \varphi_a = \frac{m_p}{m_c} \cdot 100.$$

Віджимання пресуванням полягає в тому, що на зовнішню поверхню матеріалу виробів механічним чином передається тиск. Рідина, яка розміщена в матеріалі, під дією зовнішнього стискуючого навантаження внаслідок деформації матеріалу і зміни його об'єму, зазнає внутрішній тиск. Як результат, рідина протискується через пори матеріалу і виходить на зовнішню поверхню. Тиск p , який діє на матеріал, має дві складові: тиск на рідину p_p і тиск на матеріал p_m , тобто $p = p_p + p_m$.

В зв'язку з тим, що на сьогодні в основному використовують відцентрове віджимання, розглянемо цей процес більш досконало. Віджимання рідини з виробів в полі дії відцентрових сил проводиться в центрифугах або робочих барабанах пральних машин. Центрифуга (рис. 1.16) складається з перфорованого ротора 1 і нерухомого кожуха 2. Вироби 3, які віджимаються, завантажуються через отвір у роторі. При обертанні ротора і появи поля відцентрових сил, на матеріал виробів і рідину діє відцентрова сила, під впливом якої рідина відокремлюється від виробів і відводиться через перфоровану стінку ротора центрифуги.

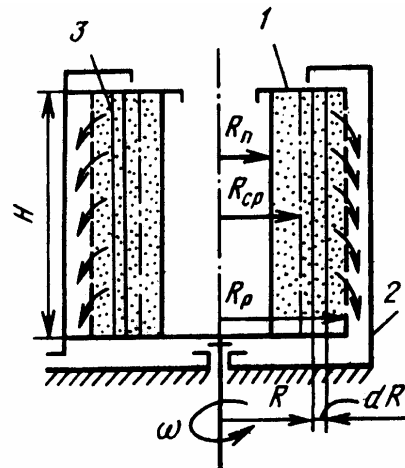


Рис. 1.16 – Схема відцентрового віджимання у центрифугі

Процес віджимання в центрифугі можна умовно поділити на два періоди. В перший період по мірі підвищення швидкості ротора волокна тканини ущільнюються, внаслідок чого під дією стискуючих сил від них відокремлюється рідина, що розташована між основними та уточними переплетіннями, а також в проміжках між волокнами. Процес відокремлення рідини в цей період подібний процесу фільтрування через пористу перегородку.

В другий період віджимання в пори тканини, які звільнились від рідини, попадає повітря, і тиск тканини на рідину дорівнює нулю. В цей період видалення рідини проходить за рахунок осаджування її під дією гідростатичного тиску відцентрового віджимання. При цьому рідина, яка міститься в капілярному просторі, перебігає з тканини до обичайки ротора центрифуги. Як наслідок, матеріал, розташований ближче до обичайки, має більш високу вологість (60...75 %) ніж біля осі обертання (30...35 %). Середня кільцева вологість виробів дорівнює 45...50 % і визначається:

$$\varphi_0 = \frac{m_s - m_0}{m_0} \cdot 100 \%,$$

де m_s – маса вологого матеріалу; m_0 – маса матеріалу після віджимання.

Кінцева вологість матеріалу залежить від тривалості віджимання, товщини шару матеріалу, його початкової температури, виду та методу обробки.

Експериментально доведено, що найбільш інтенсивне видалення рідини при лінійній швидкості центрифуги 40...45 м/с відбувається за перші 5...6 хв, а в подальшому вологість практично залишається незмінною (рис. 1.17).

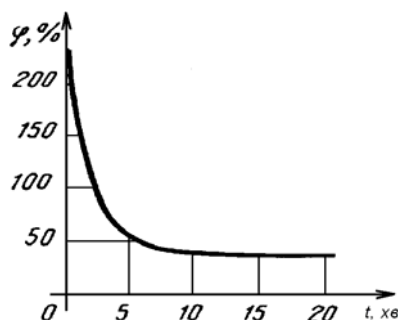


Рис. 1.17 – Зміна вологості матеріалу під час віджимання

Основним параметром, від якого залежить кінцева вологість матеріалу, є фактор відокремлення Φ , який згідно з (1.7) у цьому випадку становить:

$$\Phi = \omega^2 \frac{R_{cep}}{g},$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора; R_{cep} – середній радіус центра ваги маси виробів:

$$R_{cep} = (R_n + R_p)/2;$$

де R_n – початковий радіус маси виробів в роторі; R_p – внутрішній радіус ротора.

Тиск p в шарі матеріалу визначається за формулою:

$$dp = \frac{dF_{eu}}{dS} = \rho \omega^2 \cdot dR, \quad (1.9)$$

де dF_{eu} – елементарна відцентрова сила, яка діє на елементарний кільцевий прошарок dR масою $dm = 2\pi \cdot H \cdot \rho \cdot R \cdot dR$; H – висота (глибина) ротора; dS – площа елементарної поверхні шару.

Якщо інтегрувати ліву частину виразу (1.9) від 0 до p , а праву частину – від R_n до R_p , отримаємо значення тиску, який діє на стінку ротора центрифуги:

$$p = \frac{\rho \omega^2}{2} \cdot (R_p^2 - R_n^2).$$

У перший період віджимання загальний тиск на рідину, яка знаходиться в порах матеріалу, дорівнює:

$$p_1 = p_p + p_m,$$

де p_p – тиск на рідину під дією відцентрових сил; p_m – тиск на рідину маси виробів.

Тиск на рідину в результаті дії відцентрових сил від даного моменту часу до кінця віджимання виражається залежністю:

$$P_p = \frac{F_{eu}}{S} = \frac{\omega^2 m_p \cdot R_{cep}}{2\pi \cdot R_{cep} \cdot H} = \frac{\omega^2 m_c}{2\pi \cdot H} \cdot (\varphi - \varphi_k),$$

де $F_{вц}$ – відцентрова сила, яка діє на рідину; S – площа поверхні шару; m_p – маса рідини, яка видаляється за період, що розглядається; φ – вологість виробів в даний період часу; φ_n – мінімальна вологість виробів, яку можна отримати відцентровим віджиманням за цих умов.

Тиск на рідину маси виробів розподіляється між ними. В початковий момент тиск практично повністю передається на рідину, але по мірі ущільнення виробів частка цього тиску зменшується і в кінці періоду повністю зникає. Тиск маси виробів, який діє на рідину, становить:

$$P_m = \frac{\omega^2 m_c}{2\pi H} \cdot \frac{\varphi - \varphi_1}{\varphi_n - \varphi_1},$$

де φ_1 – вологість виробів в кінці першого періоду; φ_n – початкова вологість виробів.

У другому періоді віджимання p_m дорівнює нулю, тому швидкість видалення рідини значно зменшується порівняно з першим періодом.

Продуктивність центрифуги визначається:

$$Q = \frac{m_c}{T_{ц}},$$

де $T_{ц}$ – цикл роботи центрифуги; $T_{ц} = t_3 + t_p + t_1 + t_2 + t_r$; t_3 та t_p – відповідно час завантаження і розвантаження центрифуги; t_1 та t_2 – відповідно час першого і другого періодів; t_r – час гальмування ротора центрифуги.

Перевагою центрифугування є те, що на матеріал діють незначні механічні зусилля, а недоліком – періодичність роботи.

Об'єм ротора центрифуги можна розрахувати так:

$$V_{ц} = V_0 \cdot m_c,$$

де V_0 – об'ємний модуль центрифуги.

Загальний об'єм ротора центрифуги визначається як об'єм тіла, яке має форму циліндра:

$$V = \pi D_p^2 H / 4,$$

де D_p – внутрішній діаметр ротора.

1.3. Сушіння та принцип дії сушильних машин

Процес сушіння в останній час, як правило, проводиться в барабанних машинах, які мають функцію не тільки прання, а й сушіння білизни. Сушіння проводиться з метою зниження вологості виробів до величини, яка необхідна для їх якісного прасування.

Як вже відмічалось, вологість виробів після віджимання дорівнює 45...50 %, в той час як найкращі умови для прасування – при залишковій вологості виробів 38...40 %. Тому, практично всі вироби перед прасуванням піддаються тепловій обробці – сушінню.

Вологий матеріал (тканина), що необхідно підсушити, включає в себе масу твердої фази і масу вологи, яка видаляється під час обробки.

Ступінь сушіння тканини W характеризується відношенням маси видаленої вологи $m - m_c$ до маси тканини в сухому стані m_c , %:

$$W = \frac{m - m_c}{m_c} \cdot 100.$$

Вологу умовно підрозділяють на надлишкову та рівноважну. Надлишковою називають ту частку загальної вологи, яка може бути видалена при сушінні у цих умовах, рівноважною – яку за цих умов виділити неможливо.

Процес сушіння супроводжується одночасним протіканням ряду фізичних явищ, основними з яких є:

- теплообмін між поверхнею тканини і тепловипромінювальним середовищем;
- випаровування вологи в навколишнє середовище;
- переміщення вологи всередині тканини (її перерозподіл всією системою).

Перерозподіл вологи всередині тканини під час сушіння може відбуватися під дією різних факторів: градієнтів вологості, температури та тиску.

Коли тканина має неоднакову за об'ємом кількість вологи, остання переміщується в напрямі меншої вологості, намагаючись зайняти рівноважний стан. Така направленість вологи зумовлена градієнтом вологості і називається *вологопровідністю*.

Коли тканина має неоднакову за об'ємом температуру, волога переміщується в напрямі меншої температури. Такий процес називається *термовологопровідністю*.

Сушіння можна розділити на два процеси, які проходять одночасно:

- 1) нагрівання жмутка тканини разом з рідиною, яка в ній знаходиться;
- 2) видалення вологи, який полягає в переході нагрітої рідини у пару й видалення останнього з тканини.

На початку процесу жмуток тканини має значну кількість вологи і є системою, яка має велику масу і малу рухомість. Після необхідного розігріву починається випаровування вільної вологи в місцях найбільшої температури, тобто в місцях контакту з обігрівуючою поверхнею. У зв'язку з тим, що зовнішня поверхня жмутка значно менша сумарної поверхні виробів, з яких вона складена, то на початку процесу сушіння внутрішніх прошарків малоефективне. Деяка втрата вологи цими прошарками відбувається за рахунок градієнта вологості, викликаного випаровуванням вологи з зовнішнього прошарку.

Одночасно щільність жмутка в барабані під дією механічних сил зменшується. При цьому відразу збільшується загальна поверхня виробів, які піддаються тепловій дії, що збільшує частку контактного сушіння; тобто маса кожного виробу зменшується, а час контакту з пароповітряним потоком збільшується, що зменшує час контакту виробу з нагрітою поверхнею барабана. Зі зменшенням вологості кожного виробу зменшується його маса, а збільшується траєкторія руху під сумісною дією барабана і аеродинамічних потоків. Залежність залишкової вологості W і температури оброблюваної тканини T від тривалості процесу сушіння τ наведена на рис. 1.18.

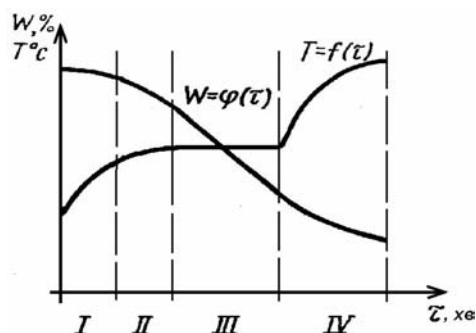


Рис. 1.18 – Залежність залишкової вологості і температури оброблюваної тканини від тривалості процесу сушіння

На відрізок часу I відбувається розтрушування жмутка тканини, що супроводжується послабленням зв'язку між виробами і поступове відокремлення їх. При цьому також відбувається деякий розігрів тканини виробів, які надійшли на обробку з вологістю W_n , а сушіння (початковий етап) відбувається контактним способом. У цей час фактична поверхня тканини, яка підлягає тепловому впливу, невелика, випаровування вологи відбувається незначно і швидкість падіння вологи мала.

На відрізку II відбувається подальший більш глибокий розігрів внутрішньої частки жмутка, який починає поступово залучатися до процесу сушіння.

На відрізку III відбувається як контактне, так і конвективне сушіння. При цьому маса тканини ще велика, траєкторія падіння значна, що відповідно і обумовлює тривалість дії пароповітряного середовища. Вологість знижується за лінійним законом за рахунок видалення вільної вологи. Швидкість процесу сушіння в цей період постійна, а сам процес протікає інтенсивно.

На відрізку IV відбувається подальше розширення поверхні випаровування і видалення вологи з внутрішніх прошарків тканини. На цьому відрізку кількість вільної вологи в оброблюваній тканині незначна, а тому процес сушіння відбувається практично тільки конвективним способом, при цьому траєкторія руху виробів під дією аеродинамічних сил максимальна. Після закінчення процесу сушіння вологість виробів досягає постійної величини, яка зумовлена конструкцією машини і видом тканини, що обробляється.

Крива зміни температури тканини в процесі сушіння показує, що на відрізках I та II температура різко збільшується, на III – вона практично постійна, після чого починає різко збільшуватися за криволінійним законом.

Функціональна схема прально-сушильної машини наведена на рис. 1.19.

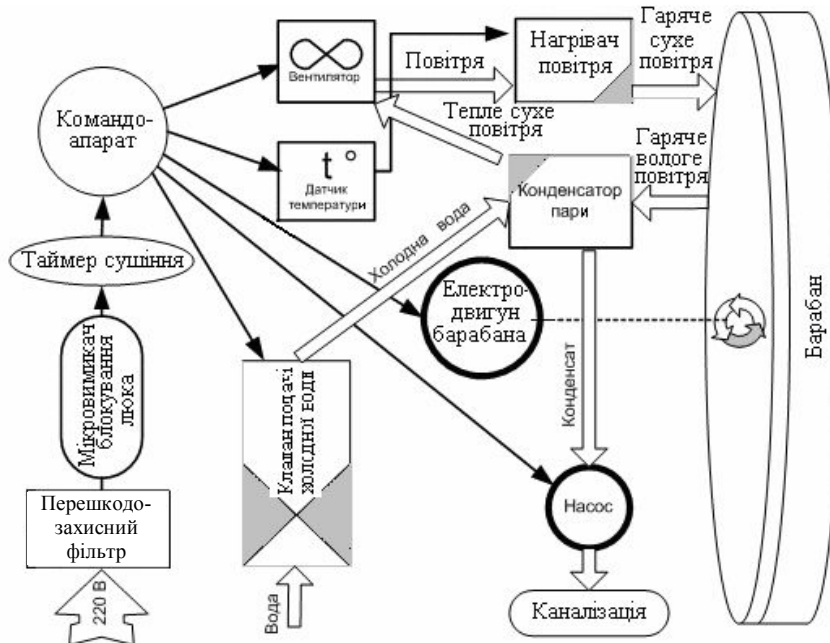


Рис. 1.19 – Функціональна схема прально-сушильної машини

Процес сушіння здійснюється гарячим повітрям, яке нагрівається спеціальним нагрівальним елементом та подається вентилятором в барабан прально-сушильної машини. Тканина нагрівається і випаровує надлишок вологи. Пара потоком повітря видаляється до конденсатора. Для кращої конденсації вологи через конденсатор пари прокачується холодна вода. Пара конденсується, а конденсат, що утворився, насосом видаляється в каналізацію. Гаряче повітря, вологість якого зменшилась, знову подається до барабана з тканиною, і процес повторюється. Температура повітря обирається в залежності від виду тканини. Протягом всього циклу сушіння барабан обертається реверсивно зі змінною швидкістю для забезпечення рівномірності сушіння тканини. Ступінь залишкової вологості регулюється від 38...40 % для негайного прасування або до повністю сухого, якщо тканина не потребує прасування.

Система сушіння передбачає сушіння половинного об'єму від максимального завантаження барабана. Повний цикл сушіння триває до трьох годин.

1.4. Прасування та принцип дії прасувальних машин

Кінцевою технологічною операцією обробки виробів є прасування. Прасування виробів з тканини здійснюють для отримання необхідної або відновлення втраченої форми, розправлення зім'ятих ділянок тканини і отримання необхідного зовнішнього вигляду виробів. Ці процеси забезпечуються властивостями тканини змінювати фізико-хімічні параметри за певних умов і відновлювати їх при поверненні в первісний стан. В залежності від навколишньої температури, ступеня вологості та механічного навантаження тканини змінюють свою форму і механічні властивості.

Зміна температури може надати тканині один з трьох фізичних станів: склоподібність, еластичність або в'язкотекучість. При нормальній температурі волокна тканини перебувають в так званому "склоподібному стані" і пружна деформація їх доволі висока. Зі збільшенням температури і особливо при одночасному збільшенню вологи пружна деформація значно зменшується, послаблюються міжмолекулярні зв'язки в волокнах і збільшується еластична деформація. Перевести волокна тканини в пластичний стан неможливо в зв'язку з тим, що всі види волокон (крім синтетичних) руйнуються раніше, ніж досягають цього стану.

При ВТО використовують еластичну деформацію, тому що в цьому стані тканина краще формується, а після охолодження деформація її фіксується. Для отримання еластичної деформації необхідно послабити молекулярні зв'язки волокон. Це досягається збільшенням енергетичного рівня молекул за рахунок надання їм теплової енергії. Переходу волокон зі склоподібного стану в еластичний сприяє введення в них пластифікатора у вигляді вологи та механічного навантаження матеріалу.

Як правило, ВТО виробів проводять контактною дією нагрітої поверхні, при цьому вологу подають в пароподібному вигляді. Висушена тканина після пропарювання і подальшого охолодження зберігає форму, яку надали їй при ВТО.

Процес прасування можна розділити на три етапи: 1) зволоження і перехід тканини в еластичний стан; 2) формування і сушіння тканини та фіксація отриманої деформації; 3) охолодження і кінцева фіксація отриманої тканиною форми.

При ВТО виробів зволоження сприяє підвищенню пластичності, опору на розривання, зниженню зусиль на розпрямлення згинів, забезпеченню рівномірності прогріву поверхні тканини. Визначальним процесом при зволоженні є сорбція водяної пари і вологи. Сорбція (поглинання пари твердими тілами і рідинами) має місце при внесенні волокон тканини в область водяної пари. Волокно, яке має капілярно-пористу структуру, поглинає пару до тих пір, доки саме не досягне температури пари. Цей перший етап процесу називається конденсаційним, тому що відкладення пари на волокні пов'язано з тим, що температура волокна нижче температури пари. Протягом цього періоду волокно нагрівається тільки в результаті теплоти конденсації.

На другому етапі починають діяти сорбційні властивості тканини. Водяна пара дифундує через граничний шар поверхні матеріалу, а звідси потрапляє всередину, де він адсорбується на поверхні мікро- і макрокапілярів. Пластифікуюча дія вологи в циклі ВТО тканини, в першу чергу, зв'язана з сорбцією пари, в результаті чого молекули води, які потрапили у глибину волокон, змінюють їх міжмолекулярні зв'язки і відповідно механічні властивості, тому тканина переходить в еластичний стан. При цьому збільшується деформаційна властивість матеріалу і знижуються витрати енергії на процес прасування. Матеріальний баланс зволоження можна виразити наступним рівнянням:

$$m_2 = m_1 + m_{вл},$$

де m_1 , m_2 – відповідно маса матеріалу до і після зволоження; $m_{вл}$ – маса поглиненої вологи.

$$m_2 = m_1 \frac{100 - \varphi_1}{100 - \varphi_2},$$

де φ_1 , φ_2 – початкова та кінцева вологість матеріалу.

Практично в процесі прасування зволоження дорівнює $0,1 \dots 0,6 \text{ кг/м}^2$.

Після зволоження проводиться формування тканини. В якості критеріїв формоутворення тканини вибрані: кут згину α , зміна кута між нитками утоку і основи β , зменшення товщини тканини δ . Загальними вимогами на всіх етапах ВТО є відсутність лас, які з'являються внаслідок надмірного тиску на оброблювану тканину і являють собою блиск на окремих місцях виробу. Кут загину α при випрасуванні повинен бути менше 20° , а при запрасуванні – $30 \dots 35^\circ$. Зміну кута β в межах $12 \dots 15^\circ$ можливо міцно зафіксувати, а більші його значення не фіксуються. На операції формування не потрібно зменшувати товщину матеріалу, в зв'язку з чим тиск повинен бути мінімальним.

До операцій ВТО, на яких зменшення товщини матеріалу є основною вимогою, відносяться пресування стовщених країв і видавлювання рельєфних ліній. Розрахунок сили притискання башмака прасувальних машин показує, що тиск поверхні плити збільшується в напрямі, протилежному обертанню вала, і досягає максимального значення на набігаючому кінці прасувальної плити. Рух білизни відносно вала без проковзування забезпечується за умови $f' > f$, де f' – коефіцієнт тертя вала з тканиною; f – коефіцієнт тертя тканини з лотком башмака ($f = 0,26 \dots 0,30$). Оптимальний тиск на оброблюваний матеріал коливається від 2 до 15 кПа. При проектуванні вибирають постійний ($6 \dots 7$ кПа) або регульований тиск, температуру $105 \dots 110^\circ \text{C}$, час обробки – $2 \dots 5$ с.

Наступна стадія прасування – сушіння, яка аналогічна процесу, описаному в сушильних машинах. Відмінністю є те, що в прасувальних машинах і пресах має місце контактне сушіння тканини між поверхнями, що гріються.

Конструкція машини повинна забезпечувати виконання всіх технологічних операцій: процес переходу тканини в еластичний стан, формування, просушку, фіксацію отриманої деформації з охолодженням. Основними параметрами, які закладаються в характеристики прасувальної машини, є температура прасувальної поверхні, вологість тканини, що поступає на обробку (%), тиск на тканину (Па), час обробки (с).

Прасувальні машини підрозділяють на валкові і пласкі. У валкових прасувальних машинах одна з поверхонь, яка водночас є опорною для оброблюваного матеріалу, складається з циліндричного тіла (вала) з м'якою набивкою. Для придання валу обертового руху використовується електропривід. Друга прасувальна поверхня складається з башмака, в який вмонтовано нагрівальний елемент, за допомогою якого нагрівається його підшва. Башмак має форму сегмента і частково перекриває вал по дузі. При прасуванні башмак притискають до поверхні вала. В пласких прасувальних машинах (окремими випадком яких є прасувальний прес) обидві прасувальні поверхні є практично пласкими (рис. 1.20).

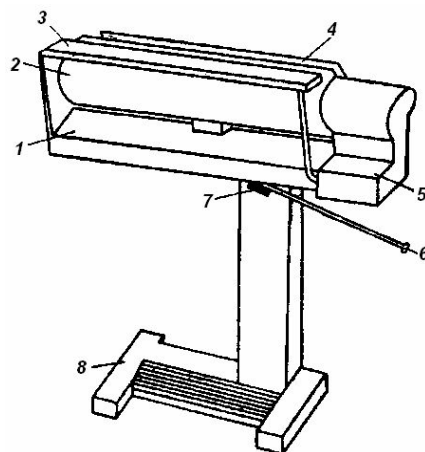


Рис. 1.20 – Схема конструкції прасувальної валкової машини

Вона забезпечує можливість прасування матеріалу як в режимі “протягування”, коли при прасуванні матеріал протягується валом 2, що обертається, поздовж підшви прасувального башмака 4, так і в режимі “пресування”, коли матеріал притискається башмаком до нерухомого вала. Робочі органи машини встановлені на основі 1. Переведення башмака з початкового (башмак відведений від вала) в робочий стан здійснюється за допомогою педалі керування 8 електропривода. В машині є спеціальний зволожуючий пристрій (полка-зволожувач 3), який представляє собою невеликий ребристий вал, що вільно обертається в корпусі зволожувача, залитого водою. Крім того є спеціальний механізм для екстреного відводу башмака від прасувального вала, наприклад, при раптовому виключенні живлення, коли башмак притиснутий до нього. Для зручності користування є спеціальна штанга 6 для випрасування виробів і фіксатор 7 для фіксації верхньої частини машини в робочому стані. На передній панелі машини є пульт керування 5, на якому розташований вимикач живлення, вимикач “режим роботи”, ручка терморегулятора з символами режимів прасування, ручка регулювання частоти обертів вала, світло-сигнальний індикатор нагріву.

На ручку терморегулятора нанесені три символи, відповідні оптимальним режимам прасування: одна точка (•), яка відповідає температурі (95 ± 20 °C) для прасування виробів з капрону та нейлону; дві точки (••) відповідні температурі (130 ± 25 °C) для прасування виробів з шовку та шерсті; три точки (•••), відповідні температурі (175 ± 30 °C) для прасування виробів з бавовни та льону. Терморегулятор дозволяє задавати і проміжні температурні режими при поєднанні риси на панелі керування з точками, які розміщені на ручці термостата між відповідними символами.

Регулятор частоти обертання вала дозволяє плавно регулювати частоту залежно від виду тканини і ступеня її зволоженості. При прасуванні щільних виробів з високою вологістю частота обертання повинна бути більш низькою, а при прасуванні тонких тканин з незначною зволоженістю – більш високою.

Автоматичне підтримання вибраного температурного режиму роботи прасувальної машини та регулювання частоти обертання вала проводиться за допомогою електронної системи керування.

В прасувальному пресі (рис. 1.21) на основі 1 розташовані всі вузли і деталі. Дві плоскі прасувальні поверхні утворені прасувальною дошкою 2 і прасувальним башмаком 3. Прасувальна дошка 2 є опорною для виробу при дії на нього прасувального башмака 3, в який вмонтовано нагрівач, що забезпечує необхідний прогрів підшви.

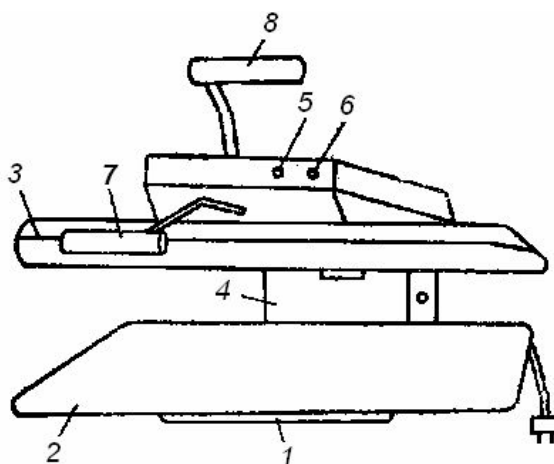


Рис. 1.21 – Схема конструкції прасувального преса ПГ

Притискання прасувального башмака до прасувальної дошки відбувається під дією рухомого важеля 8 за допомогою механізму 4, який забезпечує необхідне зусилля притискання.

Нерухомий важіль 7 призначений для підтримки прасувального башмака і є елементом безпеки, тому що запобігає можливості попадання рук оператора в зону прасування під час технологічного процесу.

На панелі керування пресом розташована ручка терморегулятора 5 і світлосигнальний індикатор 6. На ручці також є три символи, які відповідні оптимальним температурним режимам прасування виробів з різних видів матеріалів. Температурний режим підтримується під час прасування за допомогою електронної схеми. Світлосигнальний індикатор інформує про досягнення заданої температури прасування і готовності преса до роботи.

В процесі прасування прасувальний башмак тимчасово (3...5 с) притискають до прасувальної дошки, на якій розташований виріб, що прасується. Якщо через 7 с після притискання башмака він не буде відведений, то спеціальний пристрій, вмонтований в прасувальний прес, вимкне нагрівальний елемент від джерела живлення, і одночасно прозвучить попереджувачий звуковий сигнал.

Для прасування вручну використовують праски з електропідігрівом, в яких є можливість змінювати характер підігріву, вологість і час обробки залежно від виду і стану тканини, яка підлягає прасуванню. Електропраски виготовляються наступних типів: УТ – з терморегулятором; УТП – з терморегулятором та парозволожувачем; УТПР – з терморегулятором, парозволожувачем та розприскувачем.

Праска складається (рис. 1.22, а) з масивної підшви 1, в яку запресований ТЕН 2, регулятора температури біметалевого типу, ємність для води, що використовується в системі відпарювання, ручки 3, термозапобіжника 15, лампочок індикації режимів роботи 12 і кнопок керування роботою системи відпарювання 14.

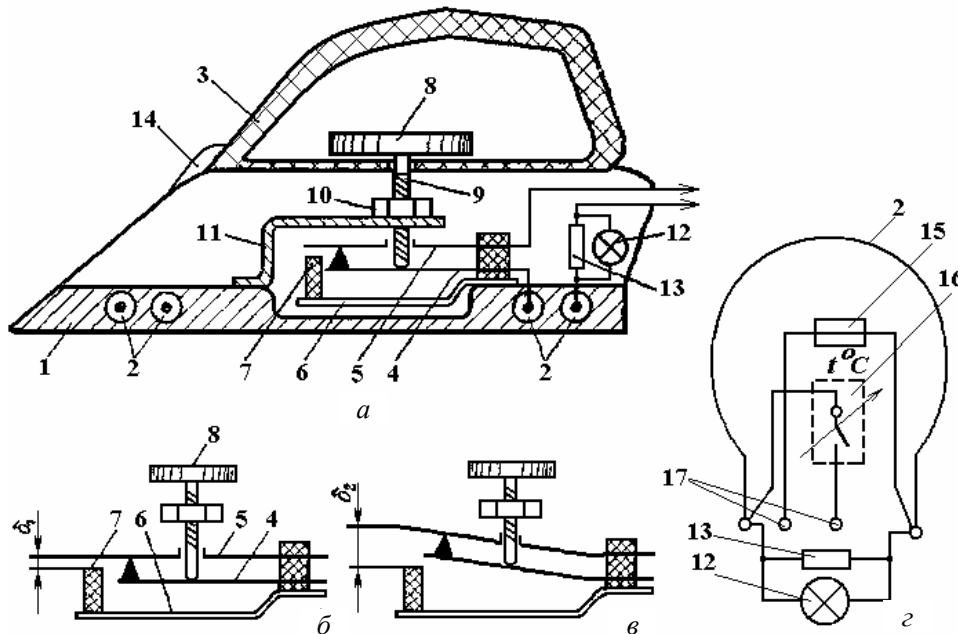


Рис. 1.22 – Схема електропраски з автоматичним регулюванням температури:
а – загальний вигляд; б – положення регулятора з найнижчою температурою підшви;
в – положення регулятора з найвищою температурою підшви; з – електрична схема

Терморегулятор складається із пружних контактних пластин 4 й 5 (у силу своєї пружності пластина 4 давить нагору, а пластина 5 – униз) і біметалевої пластини 6, прикріпленої до підшви 1. Через отвір у пластині 5 проходить стрижень 9, нижній кінець якого впирається в пластину 4.

Терморегулятор працює за принципом швидкодіючого вимикача з керуванням від біметалевої пластини. Якщо повернути ручку 8 регулятора за годинною стрілкою, то стрижень 9 почне переміщуватися в різьбі нерухомої гайки 10 (яка закріплена на скобі 11) й надавить на пластину 4. Лівий кінець її опуститься, а слідом за ним опуститься лівий кінець пластини 5. Контакт при цьому залишиться замкненим, але зменшиться зазор між штифтом 7 (зробленим з ізолюючого матеріалу й укріпленим на біметалевій пластині) і лівим кінцем контактної пластини 5. Якщо ж обергати ручку 8 проти годинної стрілки, то стрижень 9 буде підніматися, при цьому будуть підніматися кінці пластин 4 і 5, а, як наслідок, зазор між ними і штифтом 7 збільшиться.

Для встановлення потрібної температури повертають ручку 8 регулятора у таке положення, щоб стрілка вказувала назву відповідної тканини (віскоза, шовк, вовна, льон і т.п.). Граничні положення ручки обмежуються упором (на рис. 1.18 не показаний). На рис. 1.22, б зображене положення регулятора, що відповідає самій низькій, а на рис. 1.22, в – найвищій температурі. Порівнюючи ці схеми, бачимо, що в першому випадку зазор δ_1 малий, у другому – зазор δ_2 великий. Таким чином, у першому випадку контакт розмикається раніше (за більш низькій температурі), а в другому – пізніше, тому праска сильніше нагрівається.

Електрична схема праски (рис. 1.22, г) складається ТЕН 2, терморегулятора 16, термозапобіжника 15, сигнальної лампочки 12, резистора 13 та клем 17 підключення до мережі живлення (220 В). За лампочкою судять про роботу терморегулятора. Чим нижче задана температура, тим лампочка загоряється рідше. Лампочка 12 приєднана паралельно резистору 13, що виконує роль шунта. Його опір дорівнює приблизно 0,6 Ом. Тому за струмом, що проходить через праску, рівному приблизно 4,5 А, падіння напруги на опорі шунта й, отже, і на лампочці становить близько 2,7 В, що й потрібно для безпечної експлуатації. Термозапобіжник 15 вмикає нагрівальний елемент 2, якщо не спрацьовує основний регулятор 16, а температура підшови 1 перевищує температуру спрацьовування термозапобіжника.

Розділ 2

ХОЛОДИЛЬНИКИ ТА МОРОЗИЛЬНИКИ

2.1. Охолодження харчових продуктів

У більшості харчових продуктів під впливом мікроорганізмів, ферментів та деяких факторів зовнішнього середовища (повітря, світла, температури) відбуваються біохімічні зміни, що призводять до погіршення їх якості.

Для тривалого зберігання продуктів використовують консервування (соління, сушіння, маринування, копчення), однак всі ці способи в більшій чи меншій мірі змінюють їх зовнішній вигляд, колір та їстівні якості. Тільки охолодження практично не змінює їстівної якості, не руйнує вітамінів, а тому охолодження є кращим способом зберігання продуктів.

Охолодження – це процес, при якому температура знижується до криоскопічної, але не стає нижче її. Криоскопічна температура – це температура, при якій починається процес заморожування. Тому, що вода в продуктах, в основному, знаходиться у вигляді колоїдних розчинів, температура початку заморожування різних продуктів різна, але завжди нижче температури замерзання чистої води. Так, наприклад, тканини м'яса теплокровних тварин починають замерзати при температурі $-0,6 \dots -1,2$ °С, риба прісних водоймищ – $0,8 \dots -1$ °С, а морів і океанів – 2 °С, коливання початку замерзання рідинної фази в ягодах коливається від $-0,83$ (полуниці) до $-4,19$ °С (виноград).

Виходячи з цього, кінцеву температуру охолодження продуктів в холодильних камерах встановлюють в межах від 0 до $+5$ °С. Це дає можливість зберігати продукти протягом значного часу без істотних змін початкової якості (риба – 10 діб, м'ясо – 15 діб, яйця та фрукти – $30 \dots 45$ діб).

2.1.1. Тепло- та вологообмін при охолодженні

Температура продуктів, які поступають на охолодження, коливається в значних межах (від 10 до 30 °С), в той час як кінцева температура знижується до $0 \dots 2$ °С.

Під час охолодження з поверхні продукту випаровується волога, що призводить до його підсушування та погіршення зовнішнього вигляду. Тому регулювання режиму охолодження з метою зменшення витрат має велике практичне значення.

Тепловіддача з поверхні продукту в середовище, що охолоджує, відбувається за рахунок конвекції повітря, випромінювання, а також випаровування вологи.

Кількість теплоти Q , яка віддана продуктом за рахунок конвекції та випромінювання, визначають за формулою:

$$Q = \alpha(t_{cp} - t_{нов})F_{np} \cdot \tau, \text{ кДж},$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та випромінюванням з поверхні продукту в навколишнє середовище, $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}$; t_{cp} – температура поверхні продукту (середня за весь час охолодження), °С; $t_{нов}$ – температура повітря, °С; F_{np} – площа поверхні продукту, м^2 ; τ – час охолодження, год.

Кількість теплоти, яке віддається продуктом за рахунок випаровування вологи, Q_e , розраховується як різниця між загальною кількістю теплоти на охолодження та теплоти, яке віддане за рахунок конвекції та випромінювання:

$$Q_e = \alpha(H_1 - H_2) - \alpha(t_{cp} - t_{нов})F_{np} \cdot \tau, \text{ кДж},$$

де H_1 – тепловміст насиченого вологою повітря біля поверхні продукту (середнє значення за весь процес охолодження), кДж/кг; H_2 – тепловміст повітря камери, кДж/кг; σ – коефіцієнт випаровування, кг/м²·год.

Виходячи з того, що $\frac{\alpha}{\sigma} = 0,24$, а $\Delta G = \frac{Q_e}{v}$, після відповідних перетворень отримаємо розрахункове рівняння для визначення значення відносної усушки продуктів Δg :

$$\Delta g = \frac{\Delta G}{G} = \frac{Q_e}{Gv} = \frac{\alpha \cdot F_{np} \cdot \tau}{Gv} \left[\frac{H_1 - H_2}{0,24} - (t_{cp} - t_{нов}) \right] \cdot 100, \%,$$

де G – маса продукту, кг; v – питома теплота випаровування, кДж/кг; ΔG – абсолютне значення усушки, кг.

2.2.2. Витрати енергії у формі теплоти на охолодження

При охолодженні продуктів кількість теплоти, що витрачається, можна визначити із співвідношення:

$$Q_1 = \frac{G \cdot C}{\tau} (t_n - t_k), \text{ кДж/год},$$

де C – теплоємність продуктів, кДж/кг·град; t_n та t_k – відповідно, температура продукту на початку і в кінці охолодження, °С.

Теплота від продукту переходить у повітря або інше середовище, яке передає його охолоджуючим пристроям. Окрім теплоти від продуктів в камеру охолодження потрапляє теплота через зовнішню поверхню шафи холодильника Q_2 , двері холодильної та морозильної камер Q_3 , приладів регулювання температури та освітлення Q_4 . Таким чином, загальна кількість теплоти $Q_{заг}$, яке отримують охолоджуючі прилади за годину або загальні витрати холоду в камері охолодження, буде дорівнювати: $Q_{заг} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$, кДж/год.

2.2. Заморожування харчових продуктів

Заморожування – це процес обробки харчових продуктів, в результаті якого краплинно-рідинна волога повністю або частково перетворюється на лід.

Основною причиною підвищення стійкості продуктів при зберіганні є замерзання води, а зниження температури має другорядне значення, проте вплив цих обох факторів нероздільний. Це пояснюється тим, що волога, в якій розчинено багато мінеральних та органічних речовин, являє собою середовище, яке придатне для біохімічних реакцій та життєдіяльності мікроорганізмів. При перетворенні води в лід дифузійне переміщення речовин у розчині закінчується, і, як наслідок, закінчуються діяльність мікроорганізмів та здійснення біохімічних реакцій.

На початку процесу заморожування вимерзає тільки чиста вода, а розчинені в ній речовини залишаються в рідинній фазі. Кожному значенню температури заморожування відповідає певна кількість вимороженої води. Вона різко підвищується у міру наближення температури продуктів до криоскопічної, а при подальшому зниженні температури темпи заморожування уповільнюються.

Більше половини вологи в продукті вимерзає при температурі $-4...-5$ °С; при цьому кількість вимороженої води є функцією температури та властивостей продукту і безпосередньо залежить не від способу заморожування, а від його тривалості.

Проміжні значення кількості вимороженої води можна визначити за формулою:

$$\omega = \frac{A_{\omega}}{1 + \frac{B_{\omega}}{\lg[t + (1 - t_{кр})]}}$$

де A_{ω} та B_{ω} – постійні ($A_{\omega} = 110,5$, $B_{\omega} = 0,32$); t – температура, за якою розраховується кількість вимороженої води, °С; $t_{кр}$ – криоскопічна температура продукту, °С.

Процес заморожування відбувається до тих пір, поки розчин не досягне евтектичної концентрації, якій відповідає евтектична температура. Евтектична температура харчових продуктів відповідає температурі, при якій вся рідинна фаза перетворюється в лід ($-55...-65$ °С). При заморожуванні харчових продуктів евтектична температура, як правило, не досягається.

Швидкість заморожування при незмінній температурі змінюється залежно від часу. На початку процесу швидкість заморожування найбільша, а по мірі промерзання продукту вона поступово зменшується у зв'язку з підвищенням термічного опору замороженого прошарку, через який відбувається відведення теплоти з внутрішніх об'ємів.

Таким чином, швидкість заморожування визначається як швидкість руху межі розподілу заморожених і незаморожених прошарків продуктів у напрямі від зовнішньої поверхні вглиб. Заморожування буває повільним (0,1...1 см/год), інтенсивним (1...5 см/год) та швидким (5...20 см/год).

При повільному заморожуванні у тканинах продукту відбувається перерозподіл вологи, і в міжлінійному просторі утворюються великі кристали льоду, які пошкоджують тканину основу. Під час розморожування не вся волога усмоктується тканиною, і структура продукту відновлюється тільки частково. В умовах інтенсивного тепловідведення при швидкому заморожуванні кристали утворюються в місцях інтенсивного розподілу вологи. Як наслідок, утворюється структура зі значною кількістю маленьких кристалів води, які рівномірно розподілені в продукті.

При розморожуванні відбувається зміна теплофізичних властивостей продуктів в результаті фазових перетворень води в лід. Вода і лід суттєво відрізняються між собою. Так, наприклад, теплоємність води становить $C_e = 4,19$ кДж/кг·град; льоду – $C_l = 2,18$ кДж/кг·град; теплопровідність води – $\lambda_e = 2,01$ кДж/м·кг·град; льоду – $\lambda_l = 8,08$ кДж/м·кг·град; температуропровідність води – $a_e = 0,00045$ м²/Г; льоду – $a_l = 0,00365$ м²/Г.

Теплоємність заморожених продуктів визначається за формулою:

$$C_m = C_{сн}(1 - W) + C_l W \omega + C_e(1 - \omega)W, \text{ кДж/кг·град,}$$

де C_m – питома теплоємність замороженого продукту при температурі t , кДж/кг·град; $C_{сн}$ – питома теплоємність сухих продуктів, яка дорівнює 1,05...1,45 кДж/кг·град; W – відносна кількість води в продукті; ω – кількість вимороженої води при температурі t (в частках від одиниці); C_l , C_e – відповідно, питома теплоємність льоду та води при температурі t , кДж/кг·град.

У цій формулі від температури залежить тільки кількість вимороженої води ω , підставивши значення якої, отримаємо:

$$C_m = C - \frac{A_c}{1 + \frac{B_c}{\lg t}}, \text{ кДж/кг·град,}$$

де C – теплоємність продукту в охолодженому вигляді (при температурі, яка вище криоскопічної).

Аналогічні вирази можна отримати і для питомої теплопровідності та температуро-провідності.

Питома теплопровідність:

$$\lambda_{.m} = \lambda + \frac{A_{\lambda}}{1 + \frac{B_{\lambda}}{\lg t}}, \text{ кДж/м}\cdot\text{кг}\cdot\text{град},$$

де λ – питома теплопровідність продукту при температурі, яка вище криоскопічної; A_{λ} , B_{λ} – постійні.

Питома температуропровідність:

$$a_{.m} = a + \frac{A_a}{1 + \frac{B_a}{\lg t}}, \text{ м}^2/\text{Г},$$

де a – питома температуропровідність при температурі, яка вище криоскопічної; A_a , B_a – постійні.

Значення C , λ , a , A_c , B_c , A_{λ} , B_{λ} , A_a , B_a приводяться у довідковій літературі, так, наприклад, для яловичини ці величини мають такі значення: $C = 0,805$; $A_c = 0,396$; $B_c = 0,343$; $\lambda = 0,390$; $A_{\lambda} = 0,938$; $B_{\lambda} = 0,186$; $a = 0,0045$; $A_a = 0,00244$; $B_a = 0,445$.

2.2.1. Теплові розрахунки при заморожуванні

Основні теплові розрахунки процесу заморожування полягають у визначенні кількості відведеної теплоти при заморожуванні і тривалості процесу заморожування.

Кількістю відведеної теплоти в процесі заморожування прийнято називати витрати холоду на заморожування.

Процес заморожування починається від температури продуктів, яка вище криоскопічної, тому він має три фази:

- 1) зниження температури продукту від початкової до криоскопічної;
- 2) фазові перетворення води;
- 3) подальше зниження температури продукту.

Відповідно, розрахункова формула для кількості відведеної теплоти (витрат холоду) складається з трьох складових:

$$Q = G[C(t_n - t_{kp}) + Wr + C_m(t_{kp} - t_{ck})], \text{ кДж},$$

де складові I включають: C – теплоємність продуктів при температурі, яка вище криоскопічної, кДж/кг·град; складові II: W – відносна кількість води в продукті; r – питома теплота льодоутворення (близько 3350 кДж/кг); складові III, t_{ck} – середня кінцева температура.

Витрати холоду на заморожування залежать головним чином від кількості продуктів та вмістом вологи в них.

Тривалість процесу заморожування. Розрахунок тривалості заморожування пов'язаний зі значними труднощами. Отримані лише деякі кінцеві залежності для тіл певної геометричної форми:

– для пластин з товщиною δ :

$$\tau = \frac{q\gamma}{\Delta t} \cdot \frac{\delta}{2} \left(\frac{\delta}{4\lambda_{.m}} + \frac{1}{2} \right), \text{ год};$$

– для циліндра діаметром $D_{ц}$:

$$\tau = \frac{q\gamma}{\Delta t} \cdot \frac{D_{м}}{2} \left(\frac{D_{м}}{4\lambda_{м}} + \frac{1}{2} \right), \text{ год};$$

– для кулі діаметром $D_{к}$:

$$\tau = \frac{q\gamma}{\Delta t} \cdot \frac{D_{к}}{6} \left(\frac{D_{к}}{4\lambda_{м}} + \frac{1}{2} \right), \text{ год};$$

де q – кількість теплоти, яка відводиться при заморожуванні одиниці маси тіла, кДж/кг;
 $q = W \cdot \omega \cdot r$; γ – питома маса продукту, кг/м³; $\lambda_{м}$ – питома теплоємність продукту.

2.3. Класифікація побутових холодильників

У побутовій техніці використовують компресійні, абсорбційні та термоелектричні холодильники. Холодильники забезпечують зберігання продуктів протягом тривалого часу в замороженому та охолодженому стані.

Всі холодильники працюють за принципом штучного охолодження. Для нього можна використовувати фазові перетворення речовин, розширення газів, дроселювання, термоелектричний та вихровий ефекти.

Фазові перетворення речовин – процес переходу їх з одного агрегатного стану в інший. Для штучного охолодження використовують процеси, що протікають з поглинанням теплоти: плавлення (перехід твердих тіл в рідинний стан); сублімація (перехід твердих тіл безпосередньо в пароподібний стан), кипіння (перехід рідини в пароподібний стан). Зміна агрегатного стану речовини відбувається за рахунок теплоти, яке відводиться від об'єкта, що охолоджується.

Температура стиснутого газу при розширенні змінюється. Якщо повітря, що було стиснуте до 9 МПа при температурі зовнішнього середовища, адіабатично розширити до 0,01 МПа, то температура знизиться до –190 °С.

Дроселювання – зниження тиску рідини і газу при перетіканні їх через звужений переріз (вентиль, кран) з порожнини більш високого в порожнину більш низького тиску. Дроселювання супроводжується зниженням температури тіла.

Вихровий ефект отримують у вихровій трубці Ранка, яка являє собою циліндр незначної довжини, внутрішній об'єм якого розділено на дві частини діафрагмою з центральним отвором. Через сопло, яке розташоване безпосередньо біля діафрагми і направлене за дотичною до внутрішнього діаметра, в трубку подається стиснуте повітря, температура якого збігається дає з температурою навколишнього середовища. При утворенні вихору в центрі трубки утворюється розрідження та знижується температура. Холодне повітря через отвір діафрагми виходить в середовище, яке охолоджується. Значна частка кінетичної енергії при утворенні вихору витрачається на тертя в зовнішніх прошарках, за рахунок чого повітря в цій зоні нагрівається. Нагріте повітря виходить в навколишнє середовище.

Для холодильників побутового призначення найбільш розповсюдженими способами штучного охолодження є ті, які ґрунтуються на процесах, що відбуваються під час кипіння рідини та термоелектричному ефекті. Холодильники побутового призначення працюють за принципом безперервного охолодження. Робочі речовини, які віднімають теплоту від охолодженого тіла, при цьому штучно повертаються в свій початковий стан. Це дозволяє проводити охолодження за допомогою постійної кількості робочої речовини холодильного агрегату.

Холодильний агент (холодоагент) – робоча речовина, яка забирає теплоту від продуктів і передає його в навколишнє середовище. Холодоагент повинен не створювати високого тиску при температурах кипіння і конденсації, мати незначний питомий об'єм пари, малу теплоємність рідини та високий коефіцієнт теплопровідності. Температура заморожування холодоагенту повинна бути за можливістю більш низькою. Він повинен бути не шкідливим для лю-

дини, корозійностійким, інертним до мастила, добре розчиняти воду, не бути горючим та вибухонебезпечним.

В абсорбційних холодильниках в якості холодильного агента використовують аміак, а компресійні холодильники протягом багатьох років у всіх країнах розроблялись і випускались з використанням в якості холодоагентів хлорфторвуглеводню (ХФВ) – фреонів. За останні роки проблема використання ХФВ привернула до себе значну увагу в зв'язку з можливістю впливу їх на атмосферний озон. Озон, як відомо, відіграє важливу роль в забезпеченні збереження життя на Землі, тому що поглинає значну частину радіації, яка шкідливо впливає на людину та все живе.

Фреони мають високу хімічну стійкість і тому без змін в структурі досягають стратосфери, і на висоті 15...50 км від поверхні Землі під дією ультрафіолетової радіації розпадаються з виділенням атомарного хлору, який вступає у взаємодію з озоном.

У зв'язку з виникненням цієї важливої проблеми спочатку у Відні в 1985 р., а потім в Монреалі в 1986 р. був прийнятий протокол, згідно з яким в Україні з 1996 р. Міжнародним інститутом холоду обмежено використання фреону, і в якості альтернативи рекомендовані замість фреону R12 – R-134^a, а замість фреону R11 – циклопентан.

Аміак (NH₃) – газ без кольору з різким запахом. Аміак шкідливий для організму людини. Допустима концентрація його в повітрі 0,02 мг/дм³. При великих концентраціях він призводить до подразнення слизової оболонки очей та дихальних шляхів. У з'єднаннях з повітрям при концентрації 16...25 % об'єму аміак вибухонебезпечний. Його пара легше повітря. До чорних металів та алюмінію аміак інертний, але при значній вологості руйнує цинк, бронзу, мідь та її сплави. Аміак добре розчиняється у воді, а його розчинність в мастилі обмежена.

Класифікація побутових холодильників регламентована Держстандартом України. Стандарт розповсюджується на побутові електричні компресійні холодильники об'ємом від 80 до 500 дм³ та абсорбційні холодильники об'ємом від 80 до 260 дм³.

Принцип дії всіх типів холодильників побудований на введенні в термоізольовану шафу випарника холодильного агрегату, що забезпечує охолодження та заморожування продуктів в холодильних і морозильних камерах.

Побутові холодильники класифікують за:

- способом отримання холоду: компресійні (*K*), абсорбційні (*A*), термоелектричні (*TE*);
- способом виконання: типу “шафа” (*Ш*), типу “стіл” (*C*), вмонтовані у меблі (*B*);
- числом камер: одно-, дво- (*D*), трикамерні (*T*);
- ступенем комфортності: звичайної, підвищеної комфортності (*П*);
- кліматичним виконанням: для районів з помірним та холодним кліматом (*ПХЛ*), загальнокліматичного виконання (*З*);
- за температурою в морозильній камері: не більше –6 °С маркується однією зірочкою; –12 °С маркується двома зірочками; –18 °С маркується трьома зірочками.

Розміри холодильників також стандартизовані. Холодильники типу “шафа” можуть мати ширину 480 ± 10, 560 ± 10, 580 ± 10, 600 ± 10 мм, глибину 600 ± 10 мм. Якщо холодильник виконаний у вигляді шафи, то його максимальна висота не повинна перевищувати 2100 мм, а якщо у вигляді столу – 850 мм.

Для вмонтованих холодильників габаритні розміри такі: ширина 560 ± 10, глибина 580 ± 10, висота – 830 ± 10, 1170 ± 10, 1370 ± 10, 1570 ± 10 мм.

За величиною об'єму холодильники можуть мати такі розміри:

- абсорбційні – 80, 100, 120, 140, 200, 220, 240, 260 дм³;
- компресійні – 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 350, 400, 450, 500 дм³.

Регламентований в побутових холодильниках також і мінімальний корисний об'єм морозильної камери для холодильників об'ємом:

- до 180 дм³ він повинен бути не менше 7 % об'єму холодильної камери;
- від 180 до 300 дм³ – не менше 9 %;

– більше ніж 300 дм³ – не менше 10 %.

Холодильники, які будуть експлуатуватись в районах з помірним кліматом, виготовляють у кліматичному виконанні ПХЛ – 4,2 для роботи при температурі від +16 до +32 °С, а в районах з тропічним кліматом – у виконанні “Т” – 4,2 для роботи при температурі від +18 до +43 °С.

При виконанні ПХЛ середня температура в холодильній камері повинна бути від 0 до +5 °С, при виконанні “Т” – від нуля до +7 °С, при цьому жодна з температур по всьому об’єму холодильної камери не повинна бути нижче 0 °С та вище +10 °С.

Витрати електроенергії холодильниками звичайної комфортності з холодильною камерою з полімерного матеріалу в кліматичному виконанні ПХЛ при температурі навколишнього середовища +32 °С при мінімальному об’ємі морозильної камери і температурі в холодильній камері +5 °С регламентовані стандартом.

Якщо об’єм морозильної камери буде більшим, то мінімальні витрати електроенергії розраховуються за формулою:

$$P = P_m(1 + E),$$

де P_m – витрати електроенергії табличні, кВт·год/добу; E – коефіцієнт, який визначається залежністю:

$$E = \frac{1,25}{100} \left(\frac{V_1}{V} \cdot 100 - A \right),$$

де V_1 – об’єм морозильної камери, дм³; V – загальний об’єм холодильника, дм³; A – мінімальний об’єм морозильної камери, %.

Для холодильників з металевою камерою і температурою в морозильній камері –18 °С дозволяється збільшення норми витрат електроенергії на 50 %.

Більшість сучасних холодильників багатофункціональні і мають підвищену комфортність. Багатофункціональні холодильники – це двокамерні (холодильники-морозильники) або трикамерні (холодильник з температурами холодильних камер до +5 °С та +10 °С і температурою в морозильній камері –18 °С). Ці холодильники, як правило, мають системи автоматичного розморожування випарника, системи розморожування продуктів, видачі охолодженої води без відкривання двері холодильника, педального відкривання двері, можливість право- та лівобічного перевішування дверей, встановлення полиць на різні висоти тощо.

Основні технічні характеристики холодильників: загальний та корисний об’єм холодильної камери, об’єм морозильної камери, загальна площа полиць, коефіцієнт корисного використання шафи, витрати електроенергії, температурні показники.

Під загальним об’ємом холодильної камери розуміють її геометричний об’єм, тобто добуток геометричних розмірів. Під корисним об’ємом холодильної камери розуміють об’єм, який можна використати для розміщення продуктів.

Загальна площа полиць – це сума площин всіх полиць, які розташовані в камері. Сюди входить також площі полиць морозильної камери і панелі дверей, площі емкостей для овочів та дна камери, якщо його можна використати для розміщення продуктів.

Коефіцієнт корисного використання шафи визначають як відношення об’єму холодильної камери до загального об’єму шафи. У вітчизняних холодильниках він коливається від 0,35 до 0,60.

2.4. Компресійні холодильники

Компресійні холодильники працюють за принципом постійного охолодження продуктів, при цьому холодоагент під час циркуляції холодильним агрегатом віднімає теплоту від тіла, що охолоджується, та передає його за межі холодильної шафи.

Побутові холодильники складаються з двох основних частин: шафи та холодильного агрегату.

Шафи. Шафа холодильника виготовляється з листової сталі товщиною 0,8...1 мм. Покрыття шаф – хімічне фосфатування з подальшим фарбуванням зовнішніх поверхонь світлою (частіше білою) фарбою. Двері холодильників також виготовляють з листової сталі товщиною 0,8 мм. Елементи відкриття, герметизації та закривання дверей (ручка, ущільнювач, дверні петлі, педаль) розраховані не менше, ніж на 100 тисяч циклів. Внутрішню панель дверей виготовляють з ударостійкого полістиролу товщиною 2...3 мм методом вакуумформування.

Внутрішню камеру шафи виготовляють або з листової сталі товщиною 0,8...1 мм з подальшим гарячим емальюванням внутрішньої поверхні силікатною (титановою) емаллю, або з ударостійкого полістиролу товщиною 5...6 мм методом формування на спеціальних вакуум-машинах.

Внутрішню поверхню холодильної камери обладнують різними пристроями: знімними полками, формою для виготовлення кубиків харчового льоду, спеціальним посудом, шафками для зберігання вершкового масла та ін.

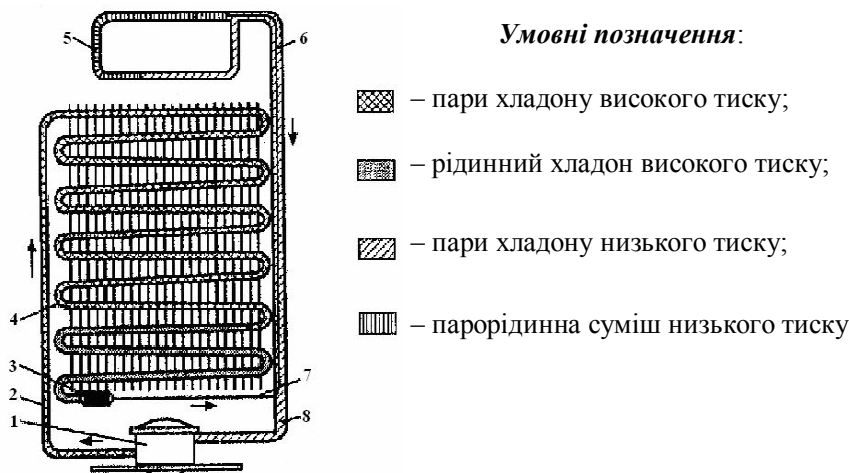
Знімні полки виготовляють зі сталюого дроту з пластмасовим покриттям, або з алюмінієвого сплаву. Полки мають форму решіток, що сприяє кращій циркуляції охолоджуваного повітря в холодильній камері. Полки можна переставляти на різні рівні, що дозволяє укладати на них ємкості та харчові продукти різних розмірів.

Захист холодильної камери від контакту з теплотою навколишнього середовища забезпечує теплоізоляція, що заливається між стінками, верхом та дном холодильної шафи і холодильної камери, а також між корпусом та внутрішньою панеллю дверей. Основні характеристики теплоізоляційного матеріалу – низький коефіцієнт теплопровідності, мала гігроскопічність, достатня механічна стійкість та хімічна інертність по відношенню до металів та сплавів.

Для теплоізоляції в основному використовують полістирол та пінополіуретан, що заповнюють простір між шафою та внутрішньою камерою внаслідок спінювання при хімічній взаємодії двох компонентів.

Ущільнення між дверима та шафою холодильника забезпечується за допомогою магнітних вставок, що розміщують на внутрішній поверхні дверей по всьому контуру.

Холодильні агрегати. В побутових компресійних холодильниках застосовують холодильні агрегати, за допомогою яких відводиться теплота з холодильної та морозильної камер в навколишнє середовище. Основними складовими холодильного агрегату є компресор, випарник, конденсатор, трубопроводи, фільтри та осушні патрони. Схема компресійного холодильного агрегату наведена на рис. 2.1.



Холодильний процес протікає таким чином. При роботі мотор-компресора 1 пара холодоагенту нагнітається при температурі вище $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ та тиску $0,8\text{--}1,1\text{ МПа}$ трубкою 2 до конденсатора 4. За рахунок теплообміну з навколишнім середовищем температура в конденсаторі знижується, і коли вона дорівнює $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, починається процес конденсації. Рідинний холодоагент при температурі до $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ через фільтр-осушувач 3 поступає до капілярної трубки 7, де тиск зменшується до $0,1\text{ МПа}$. При такому тиску в випарнику 5 холодоагент кипить, температура знижується до $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, при цьому відбирається теплота від харчових продуктів, що знаходяться на внутрішній поверхні випарника. Пара холодоагенту, яка утворилась в результаті кипіння, відсмоктується компресором по трубці 8, де знову підвищується тиск, і цикл повторюється.

На Україні найбільшим підприємством з випуску побутової холодильної техніки є акціонерне товариство "Норд", яке виготовляє компресійні холодильники об'ємом від 140 до 350 дм^3 . Залежно від об'єму холодильники випускаються одно-, дво- або трикамерні. Двокамерні холодильники призначені для заморожування та збереження заморожених продуктів, приготування харчового льоду в морозильній камері, для охолодження та збереження охолоджених продуктів в холодильній камері.

Компресори. В компресійних побутових холодильниках використовується компресор з кулісним приводом (рис. 2.2).

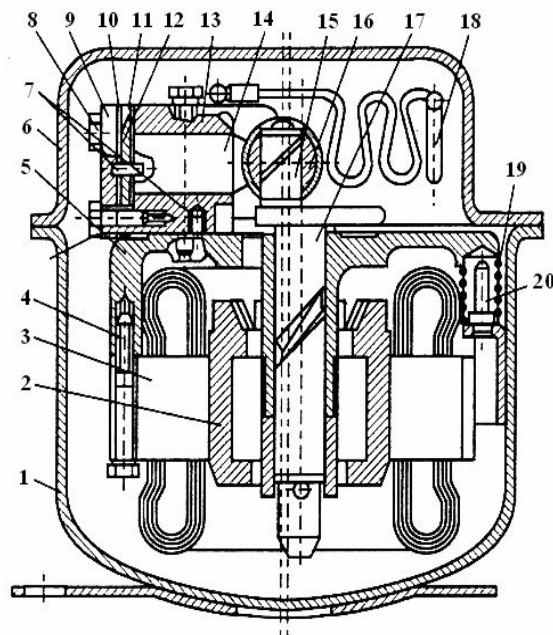


Рис. 2.2 – Схема кулісного мотор-компресора

У кулісному приводі мотор-компресор підвішується на пружинах 20, що встановлені всередині герметичного кожуха 1, який виготовляється з листової сталі. Залежно від конструкції підвіски пружини працюють на розтягнення або на стискання і тим самим частково зменшують коливання, що виникають при роботі компресора. Пружини закріплюються на кронштейні, що знаходиться в верхній частині кожуха, і заводяться в отвори спеціальних приливів на корпусі 5 компресора. Корпус компресора в свою чергу приливами опирається на пружини. Електродвигун привода – однофазний асинхронний з пусковою обмоткою. Для запуску двигуна і захисту його від перевантаження використовують пуско-захисне реле. Реле встановлюють на рамі. Ротор 2 електродвигуна монтується безпосередньо на валу 17, що обертається в підшипниках, встановлених в корпусі компресора. Статор 3 кріпиться до корпусу 5 чотирма гвинтами 4. Статор набирається з штапованих листів електротехнічної сталі, обмотка статора – двополюсна.

Корпус компресора виготовляється з чавуну і одночасно слугує опорою вала. Циліндр 13 відливається одночасно з глушником. Він встановлюється на корпус ротора компресора на чотири контрольні штифти 7 та, як правило, кріпиться до корпусу двома гвинтами. Противага відлита з валом ексцентрика.

Для зменшення інерційних мас поршень 14 виготовляється порожнистим з листової сталі. Обойма 15 звернута з листової сталі. Поршень з'єднаний з обоймою за допомогою па-яння, повзун 16 куліси виготовлений з чавуну. На торці циліндра закріплені двома встановлювальними штифтами 8 прокладка всмоктувального клапана та сам клапан 12. Нагнітаючий клапан 10 заодно з обмежувачем кріпиться до сідла 11 заклепками.

Клапани являють собою пружні пластинки з сталеві високовуглецевої термічно обробленої стрічки та встановлюються на штифти 7. На тих же штифтах встановлені упори, що обмежують підйом клапанів. Висота підйому всмоктувального клапана – 0,05...0,08 мм, нагнітаючого – 1,18 мм. Діаметр всмоктувального отвору – 5 мм, нагнітаючого – 3,4 мм. Кромки клапана повинні бути рівними, без надривів та тріщин. Підйом клапана обмежений з метою усунення великих перегинів та стуків.

Головка 9 відливається з чавуну та кріпиться до циліндра 13 гвинтом 8. Матеріал сідла повинен мати високу міцність та зносостійкість. Частина компресора, які переміщуються одна відносно іншої, змащуються під дією відцентрових сил через косий отвір в нижньому торці корінної шийки вала. При обертанні вала 17 мастило, що попадає в похилий канал, піднімається вгору, а там попадає до пари вал 17 – корпус 5 компресора. Далі гвинтовою канавкою мастило поступає до пари вал 17 – повзун 16. Пара поршень 14 – циліндр 13 змащується розпиленням.

Пари холодоагенту (у подальшому будемо використовувати термін “хладон”) всмоктуються з кожуху в циліндр 13 через глушник всмоктування і нагнітаються через глушник нагнітання в трубку 18. Змійовик нагнітаючої трубки 18 сприяє зменшенню коливань мотор-компресора, корпус якого спирається на три пружини 19. Шпилька 20 утримує пружини 19 від випадання. Кожух 1 закритий зверху кришкою 6, що приварена по всій довжині фланця і забезпечує герметичність мотор-компресора.

В кулісному приводі поршня вісь ексцентрика вала ротора електродвигуна проходить через циліндричну кулісу, що переміщується в обоймі. Циліндрична обойма в перпендикулярному напрямі жорстко зв'язана з поршнем компресора, а тому може переміщуватись разом з ним зворотно-поступально. При обертанні ексцентрикового вала куліса, що обертається відносно осі вала, одночасно обертається відносно осі ексцентрика та переміщується по довж. обойми. При цьому обертальний рух ексцентрикового вала перетворюється в зворотно-поступальний рух поршня. Таким чином в кулісному приводі поршня відсутні деталі з складним коливальним рухом, які є в кривошипно-шатунному приводі. Тут є тільки сукупність обертального руху з прямолінійним зворотно-поступовим, що дозволяє знизити рівень звуку компресора. Крім того, за рахунок збільшення поверхонь контактів значення питомого тиску в цих компресорах в порівнянні з кривошипно-шатунними значно менше.

Теоретичний процес роботи компресора. В поршневому компресорі процес стискання відбувається внаслідок періодичного зменшення об'єму, в який поступає чергова порція хладону.

Теоретичний процес (рис. 2.3) характеризується наступними умовами: процеси всмоктування (а–1) та нагнітання (2–б) відбуваються при постійних параметрах хладону, але при змінній його кількості в циліндрі. Тертя в теоретичному циклі не враховується. В компресорі відсутні втрати хладону та “шкідливий” простір, тобто припускається, що коли поршень підходить до кришки циліндра, в циліндрі не залишається хладону, при цьому відсутні також втрати тиску в клапанах.

У процесі всмоктування на поршень діє сила P :

$$P = p_1 \cdot F,$$

де p_1 – питомий тиск; F – площа (припускається, що тиск з другого боку дорівнює 0).

Роботу всмоктування $L_{вс}$ можна записати:

$$L_{вс} = p_1 \cdot F \cdot S,$$

де S – хід поршня, тобто шлях, на якому діє сила $p_1 \cdot F$.

Якщо $F \cdot S = V_1$ (об'єм пари, яка поступає в циліндр), то:

$$L_{вс} = p_1 \cdot V_1.$$

Аналогічно робота нагнітання:

$$L_{нагн} = p_2 \cdot V_2.$$

Таким чином, робота всмоктування і нагнітання еквівалентні площинам під відповідним процесом (рис. 2.3).

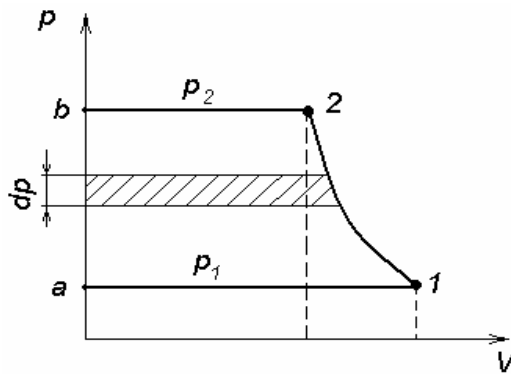


Рис. 2.3 – Теоретичний процес роботи компресора в p - V -координатах

При розрахунку компресора прийнято вважати, що робота, яка супроводжується збільшенням об'єму, від'ємна. Таке припущення дозволяє мати сумарну роботу з позитивним знаком, але таке уявлення умовне, тому що компресор споживає енергією.

Роботу компресора можна представити як алгебраїчну суму трьох робіт:

$$L_k = |L_{ст}| + |L_{нагн}| - |L_{вс}|, \quad (2.1)$$

де робота стисання $L_{ст}$ – еквівалентна площі під процесом 2-1; робота нагнітання $L_{нагн}$ – еквівалентна площі під процесом 2-b; робота всмоктування $L_{вс}$ – еквівалентна площі під процесом 1-a.

Алгебраїчна сума цих площин еквівалентна площі 1-2-b-a-1, тоді роботу компресора можна знайти за допомогою виразу:

$$L_k = \int_{p_2}^{p_1} V \cdot dp. \quad (2.2)$$

Якщо розрахунок роботи вести на 1 кг хладону, що поступає в компресор, тоді:

$$L_k = \int_{p_1}^{p_2} V \cdot dp, \quad (2.3)$$

де V – об'єм одного кг хладону.

Для інтегрування правої частини рівняння (2.2) необхідно знати залежність $V = f(p)$. Для цього можна скористатись діаграмою термодинамічного стану або рівнянням стану реальних тіл, крім того необхідно знати характер термодинамічного процесу стисання 1-2.

Реальний процес роботи компресора. Реальний процес відрізняється від теоретичного об'ємними та енергетичними втратами, які враховуються відповідними коефіцієнтами.

Об'ємні втрати характеризуються коефіцієнтом подачі λ – відношенням дійсної кількості хладону, що проходить через компресор, до теоретичного значення:

$$\lambda = \frac{G_d}{G_m}, \quad (2.4)$$

де G_d – дійсна кількість хладону, яка проходить через компресор за одиницю часу (можна визначити експериментальним або розрахунковим методом), кг/с; G_m – теоретична кількість хладону, яка проходить через компресор за одиницю часу, кг/с:

$$G_T = V_h \cdot \nu_{\text{вс}},$$

де V_h – об'єм, який всмоктується поршнем компресора в одиницю часу, або теоретична продуктивність, м³/с; $\nu_{\text{вс}}$ – об'ємна маса хладону, яка поступає через всмоктувальний патрубок компресора, кг/м³.

Тоді отримуємо:

$$\lambda = \frac{V_d}{V_h}.$$

Таким чином, коефіцієнт подачі можна визначити як відношення дійсного об'єму хладону, зведеного до умов всмоктування, до всього об'єму, який описує поршень.

На основі практичних даних і теоретичних висновків отримані формули, які з достатньою точністю визначають значення коефіцієнта подачі λ . Ці формули враховують різні фактори, які впливають на втрати продуктивності. До таких факторів відносяться шкідливий простір, втрати тиску при всмоктуванні та нагнітанні, підігрів хладону в процесах всмоктування та нагнітання.

Шкідливий простір. У практичних умовах поршень компресора ніколи не підходить впритул до кришки циліндра. Це можна пояснити як неточністю виготовлення, так і зміною температури та розмірів деталей компресора в процесі роботи. Якщо в неробочому стані поршень знаходиться впритул до кришки компресора, то при роботі виникають удари за рахунок різних коефіцієнтів лінійного розширення, що приводять до аварії.

У зв'язку з цим, між кришкою циліндра та поршнем, коли останній знаходиться в крайньому (ближньому до кришки) положенні, залишають деякий простір – зазор. Цей зазор носить назву лінійного шкідливого простору s'_0 і вимірюється в мм. Для відносної оцінки величини лінійного шкідливого простору користуються виразом:

$$\frac{s'_0}{S} = s_0, \quad (2.5)$$

де S – хід поршня.

Величина відносного лінійного шкідливого простору s_0 виражається в процентах від ходу поршня, в середньому вона дорівнює 2...5 %.

При крайньому положенні поршня між ним та кришкою і стінками циліндра залишається деякий об'єм. Цей об'єм не пропорційний величині s'_0 , тому що він залежить від зазору між поршнем (його боковою поверхнею) і стінками циліндра, а також від об'єму в каналах для переходу газів, які конструктивно необхідні для розташування клапанів. Тому введено поняття об'ємного шкідливого простору c'_0 . Величина c'_0 виражається в об'ємних одиницях.

Відношення $\frac{c'_0}{V_h} = c_0$ називається відносним шкідливим простором. У такому випадку:

$$V_h = FS, \quad (2.6)$$

де F – площа поршня.

Відносна величина об'ємного шкідливого простору c_0 більше величини s_0 і дорівнює 3...5 %.

Якщо в V - p координатах по осі абсцис відкласти значення c'_0 ; V_h , а по осі ординат тиск всмоктування $p_{вс}$ та тиск нагнітання $p_{нагн}$ і вважати, що процес всмоктування відбувається без втрат (при $p = \text{const}$; $T = \text{const}$), то робота компресора в V - p – координатах (рис. 2.4) характеризується наступними процесами: 1–2 – стискання; 2–3 – виштовхування або нагнітання; 3–4 – повторне розширення хладону, який залишається в шкідливому просторі; 4–1 – процес всмоктування.

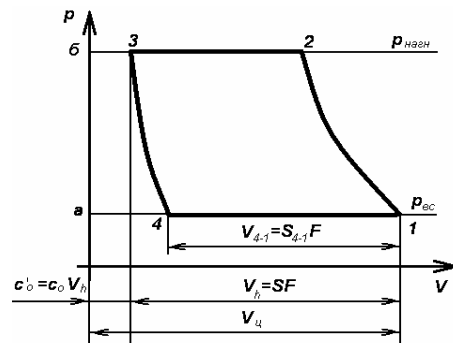


Рис. 2.4 – Процес роботи компресора з урахуванням шкідливого простору

У зв'язку з наявністю шкідливого простору процес всмоктування починається тільки тоді, коли тиск всередині циліндра дорівнює тиску біля вхідного патрубку компресора. Таким чином, процес всмоктування проходить не протягом всього ходу S , а тільки на ділянці S_{4-1} . При кожному ході об'ємна продуктивність зменшується на величину $V_h - V_{4-1}$.

Відношення $\frac{V_{4-1}}{V_h} = \lambda_c$ – називають об'ємним коефіцієнтом корисної дії (к.к.д.) компресора. Цю формулу можна переписати у вигляді:

$$\lambda_c = \frac{V_h + V_h \cdot c_0 - V_4}{V_h} = 1 + c_0 - \frac{V_4}{V_h}.$$

Тому, що $V_3^n \cdot p_{нагн} = V_4^n \cdot p_{вс}$, то:

$$V_4 = V_3 \left(\frac{p_{нагн}}{p_{вс}} \right)^{\frac{1}{n}},$$

де n – показник політропи лінії повторного розширення хладону в процесі 3–4.

Враховуючи, що $V_3 = c_0 V_h$, отримаємо:

$$\lambda_c = 1 - c_0 \left[\left(\frac{p_{нагн}}{p_{вс}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right].$$

На основі експерименту доведено, що для парових компресорів середнє значення $n \approx 1$. Тоді:

$$\lambda_c = 1 - c_0 \left(\frac{p_{нагн}}{p_{вс}} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (2.7)$$

Втрати тиску на всмоктування та нагнітання в компресорі. У зв'язку з наявністю опору тиск на початку процесу всмоктування може бути нижче (рис. 2.5) ніж тиск перед всмоктувальним патрубком компресора ($p_{поч} < p_{вс}$), а в кінці процесу виштовхування (нагнітання) вище, ніж тиск в кінці нагнітаючого патрубка ($p_{кін} > p_{нагн}$).

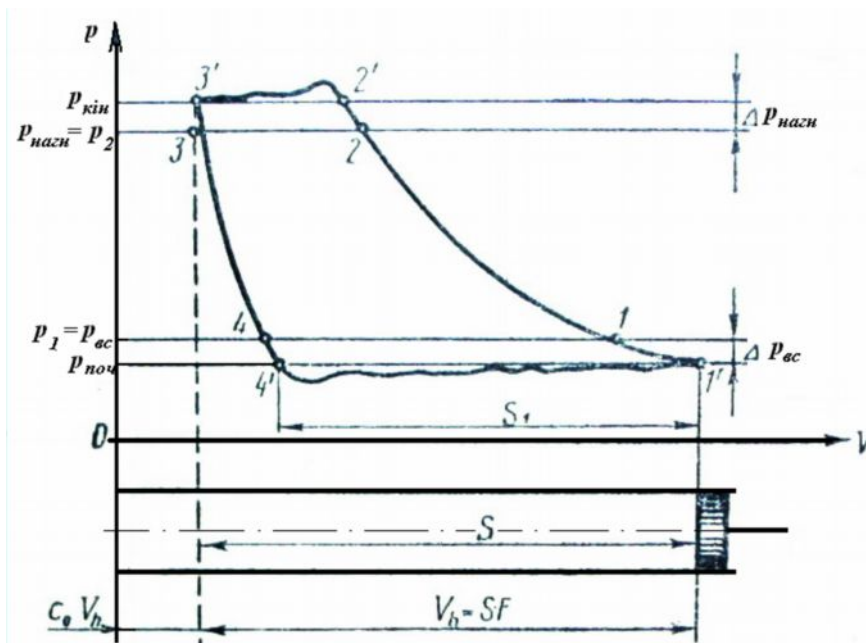


Рис. 2.5 – Реальний процес роботи компресора в p - V -координатах

Різниця тисків $p_{вс} - p_{поч} = \Delta p_{вс}$ називається депресією при всмоктуванні. Для хладонів середнього тиску приймають $\Delta p_{вс} \approx 0,05$ МПа.

Різниця тисків $p_{кін} - p_{нагн} = \Delta p_{нагн}$ називається депресією при нагнітанні. Для хладонів середнього тиску приймають $\Delta p_{нагн} \approx 0,1$ МПа.

Об'ємний к.к.д. з урахуванням депресій можна представити в наступній формулі:

$$\lambda_{c,\Delta p} = 1 - c_0 \left[\left(\frac{p_{нагн} + \Delta p_{нагн}}{p_{вс} - \Delta p_{вс}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]. \quad (2.8)$$

Якщо знехтувати втратами тиску від випарника до всмоктувального патрубка компресора і від нагнітаючого патрубка компресора до конденсатора, то можна прийняти тиск всмоктування однаковим з тиском кипіння $p_{вс} = p_0$, а також тиск нагнітання – з тиском в конденсаторі $p_{нагн} = p$. Тоді при $n = 1$ рівняння для об'ємного к.к.д. прийме вигляд:

$$\lambda_{c,\Delta p} = 1 - c_0 \left(\frac{p + \Delta p}{p - \Delta p} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (2.9)$$

У кінці процесу всмоктування циліндр заповнюється хладоном не при тиску $p_{вс}$, а при тиску $p_{поч}$, і, як результат, його об'ємна маса нижче, ніж перед всмоктувальним патрубком:

$$V_{поч} < V_{вс}.$$

Для того, щоб врахувати всі втрати тиску на подолання опору всмоктувальних і нагнітаючих патрубків та клапанів, необхідно внести поправку на зміну маси хладону у формулу об'ємного к.к.д.:

$$\lambda_i = \lambda_{c,\Delta p} \frac{v_{поч}}{v_{ес}}$$

При великих швидкостях руху хладону у всмоктувальному трубопроводі може виникнути резонанс, що призведе до підвищення тиску. Таким чином, депресія при всмоктуванні або зменшиться, або тиск перед всмоктувальним патрубком буде вище тиску перед компресором.

Це підвищення тиску (акустичний наддув) як при нагнітанні, так і при всмоктуванні приблизно можна розрахувати за формулою М.Є. Жуковського:

$$\Delta p > \rho a \omega,$$

де ρ – густина газу; a – швидкість звука в газі; ω – швидкість газу.

Підігрів хладону в процесах стискування і всмоктування компресора. Реальний процес роботи компресора побутового холодильника має значні особливості. Це обумовлено наступними причинами:

- наявністю вмонтованого електродвигуна в герметичних компресорах;
- сильним підігрівом пари у всмоктувальному каналі компресора (на шляху по всмоктувальному патрубку пара використовується для теплообміну з капілярною трубкою);
- значним впливом тепловіддачі від кожуха компресора в навколишнє середовище.

Втрати, які зумовлені підігрівом всмоктувальної пари в малих компресорах значно більші, ніж у великих.

Коефіцієнт підігріву при всмоктуванні пари визначається за формулою:

$$\lambda_{\omega} = \frac{T_{KM1}}{\alpha T_K + \epsilon \theta}, \quad (2.10)$$

де T_{KM1} – абсолютна температура пари, що всмоктується перед входом в компресор, K ; T_K – абсолютна температура конденсації, K ; θ – перегрів пари біля всмоктувального патрубка компресора, $^{\circ}C$; α , ϵ – постійні.

У малих герметичних компресорах $1 < \alpha \leq 1,1$ (при зменшенні розмірів компресора значення α наближається до більшого граничного розміру).

Постійна ϵ характеризує вплив зовнішнього теплообміну, і в компресорах побутових холодильників вона дорівнює 0,25 (при 0,8 в компресорах відкритого типу).

Випарники. Випарник – це апарат теплообміну, в якому випаровується хладон при низьких температурах за рахунок тепла з навколишнього середовища. Вони використовуються також для розмішування форм для льоду (з метою отримання харчового льоду) та утримання харчових продуктів в замороженому стані. За конструкцією випарники поділяють на листо- та ребристотрубні.

Ребротрубний випарник являє собою просторовий трубчастий змійовик з насадженими на трубку (перпендикулярно його поздовжній осі) пластинчастими ребрами. Такий випарник розміщується звичайно в горизонтальній перегородці між двома камерами холодильника, а повітря примусово за допомогою вентилятора циркулює з певною швидкістю в напрямі, перпендикулярному поздовжній осі трубки змійовика. Велика кількість пластинчастих ребер, які розташовані з певним кроком, в значній мірі збільшує поверхню теплообміну і відповідно інтенсивність віддачі тепла від повітря хладону.

Листотрубні випарники являють собою відповідним чином зігнуті листи, між якими всередині є канали для хладону. Розміри каналів випарника і конфігурації їх на листі повинні бути такими, щоб забезпечити необхідну швидкість циркуляції хладону і рівномірне його випаровування по всій поверхні. Щоб забезпечити випаровування хладону при постійному тиску

по мірі переміщення його до виходу, загальний переріз всіх каналів підвищується за рахунок збільшення їх числа. На виході випарника з ряду паралельних та перпендикулярних каналів, що перетинаються, утворюється парозбірник (колектор).

Листотрубні випарники виготовляються з алюмінієвих сплавів прокатно-зварювальним способом. Поверхні двох листів, що з'єднуються, очищуються від окислів плівки. На один з листів за трафаретом наносять спеціальний розчин, який запобігає зварюванню алюмінію і відповідає рисунку каналів. Потім накладені один на один листи прокатують за допомогою валків. Значний питомий тиск, який утворюється при цьому, забезпечує контактне зварювання листів по всій поверхні притискання за винятком місць, на яких є спеціальний розчин. Після зварювання канали роздуваються в спеціальних оправках за допомогою рідини під тиском до 10 МПа. Такий спосіб виготовлення алюмінієвих випарників забезпечує достатньо високу їх якість при високій продуктивності процесу. Висока теплопровідність алюмінію сприяє інтенсивному теплообміну між хладоном і повітрям в холодильній та морозильній камерах холодильника.

Завдяки низькій температурі випарника, він поглинає із повітря камер вологу, яка конденсується, замерзає і осідає на поверхні у вигляді снігової “шуби”, яка через деякий проміжок часу розморожується. Для автоматичного керування відтаненням випарника використовують спеціальні прилади (рис. 2.6).

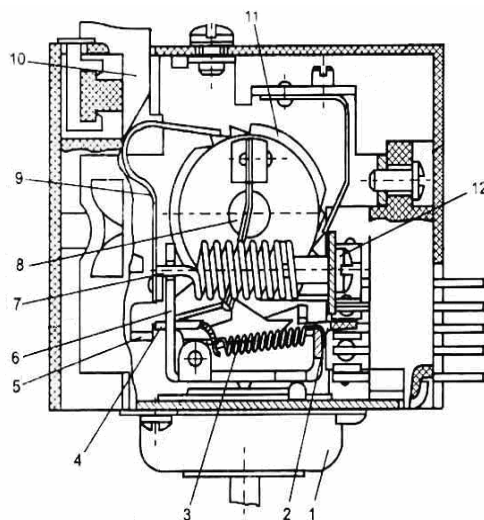


Рис. 2.6 – Схема конструкції приладу автоматичного керування відтаненням ТО-41

Вмикання режиму “Відтанення” приладу здійснюється за температурою кінця капіляра манометричного терморегулятора 1, встановленого на випарнику, не вище $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Прилад працює у такій спосіб. Зусилля з терморегулятора 1 через шток 10 діє на пружину 9, яка повертає храпове колесо 11 за годинниковою стрілкою. Складена з трьох плоских пружин ресора 8 рухається до упора 5 і з повертанням храпового колеса 11 накопичує енергію, а потім, різко перекидаючи важіль 4, переходить за виступ. В той же час пружиною 3 важіль розмикає контакти 3-1 (рис. 2.7) і замикає контакти 3-2. Вмикається коло активного підігрівання випарника і починається процес його відтанення.

З видаленням снігової “шуби” з поверхні випарника його температура підвищується до $4\text{...}8\text{ }^{\circ}\text{C}$, що призводить до підвищення тиску в манометричному терморегуляторі 1 (рис. 2.6). Важіль 6 повертається проти годинникової стрілки до тих пір, поки кінець важеля, на якому закріплений кінець пружини 3, не перейде силову нейтраль. Важіль 4 різко повертається за годинниковою стрілкою, розмикає контакти 3-2 (рис. 2.7) та замикає контакти 3-1. При цьому електричне коло підігрівання випарника розмикається і замикається електричне коло двигуна

компресора. Температуру розмикання контактів 3–2 (закінчення циклу відтанення) регулюють зміною жорсткості протидіючої пружини 7 (рис. 2.6) гвинтом 12. Для захисту випарників від корозії використовують гальванічні та лакові покриття.

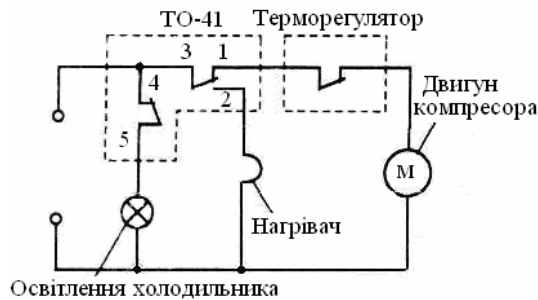


Рис. 2.7 – Схема вмикання приладу ТО-41

Конденсатори. Конденсатор в побутовому холодильнику призначений для передачі теплоти хладону в навколишнє середовище. Передача теплоти здійснюється за рахунок конденсації пари хладону при високому тиску.

Якість конденсаторів оцінюється перш за все інтенсивністю процесу теплопередачі від хладону до повітря. Інтенсивність процесу теплопередачі залежить від конструкції конденсаторів і швидкості циркуляції хладону та повітря, що охолоджується. При збільшенні швидкості відводу конденсату з теплопередаючої поверхні збільшується значення коефіцієнта тепловіддачі хладону і, відповідно, інтенсивність віддачі теплоти конденсатором.

Таким чином, інтенсивність тепловіддачі конденсатора залежить від швидкості циркуляції повітря. Необхідна швидкість відводу рідинного хладону з конденсатора забезпечується роботою компресора. Циркуляція повітря може бути природною або примусовою (за допомогою вентилятора). Примусова вентиляція повітря зі швидкістю 2...3 м/с значно збільшує інтенсивність теплопередачі, однак вартість холодильника з примусовою вентиляцією значно вища.

Конструктивно конденсатори, як і випарники, бувають листо- і ребристотрубні (рис. 2.8).

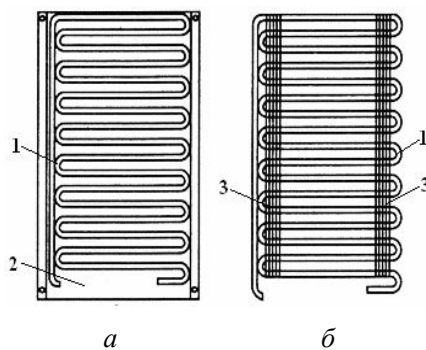


Рис. 2.8 – Схема конструкції конденсатора: а – листотрубного; б – ребристотрубного

Вони являють собою трубчастий змійовик, на поверхні якого з метою збільшення теплопередачі розміщені ребра. Змійовик конденсатора виготовляють зі сталеві або мідної трубки з внутрішнім діаметром 3...4 мм.

Листотрубні конденсатори (рис. 2.8, а) виготовляють методом щільного кріплення (точковим зварюванням металеві стрічки) змійовика 1 до металевих листа 2, якому надають П-подібну форму. Закріплення такого конденсатора на задній стінці корпусу холодильника створює простір, який сприяє збільшенню швидкості циркуляції повітря. Трубка змійовика, як правило, розташовується на листі горизонтально.

У тому випадку, коли нижня частина конденсатора розташована поряд з кожухом компресора, трубка може бути розташована вертикально, що виключить нагрівання інших витків від кожуха.

Ребристотрубні конденсатори (рис. 2.8, б) найбільш поширені тому, що вони потребують менших затрат металу, більш технологічні, а за своїми технічними характеристикам ідентичні листотрубним. Вони являють собою плоский змійовик l із сталюї трубки, до якого з двох боків приварені ребра z . Ці ребра у вигляді прямолинійних сталюих дротиків діаметром від 1 до 1,5 мм розташовують один проти одного, що дозволяє вести зварювання одночасно з обох боків. Така конструкція дозволяє автоматизувати процес зварювання.

Трубопроводи. Трубопроводи компресійного холодильного агрегату з'єднують апарати теплообміну і компресор в одну герметичну систему. Такими частинами, що з'єднують, є всмоктувальна, нагнітальна та капілярна трубки.

Всмоктувальна трубка з'єднує випарник з компресором. По ній з випарника холодні пари хладону потрапляють в компресор. Діаметр всмоктувальної трубки вибирають за умови забезпечення необхідної швидкості руху пари, яка обмежується теплообміном пари хладону у випарнику. При збільшенні швидкості руху пари перепад температур збільшується, що забезпечує більш інтенсивне переохолодження рідини. Швидкість руху всмоктувальної пари може бути визначена за формулою:

$$\omega = \frac{4V_q \lambda}{\pi \cdot d_{ec}^2}, \quad (2.11)$$

де V_q – часовий об'єм, який визначається рухом поршня компресора, m^3/c ; λ – коефіцієнт подачі компресора; d_{ec} – внутрішній діаметр всмоктувальної трубки, m^2 .

Як правило, в побутових холодильниках використовують мідну трубку діаметром 4...6 мм, що забезпечує необхідний тиск у випарнику.

Капілярна трубка з'єднує випарник з конденсатором. Вона є частиною переохолоджувача рідинного хладону під час його плину від конденсатора до випарника і забезпечує необхідне зниження тиску рідини від тиску конденсації до тиску кипіння у випарнику. Капілярна трубка виконує роль дроселя в зв'язку з її малою пропускною спроможністю. В побутових холодильниках використовують мідну капілярну трубку з внутрішнім діаметром 0,7–0,8 мм, довжиною до 3 м. Крім того, що капілярна трубка проста конструктивно і надійна в роботі, вона забезпечує вирівнювання тиску в системі агрегату при його зупинці (рис. 2.9).

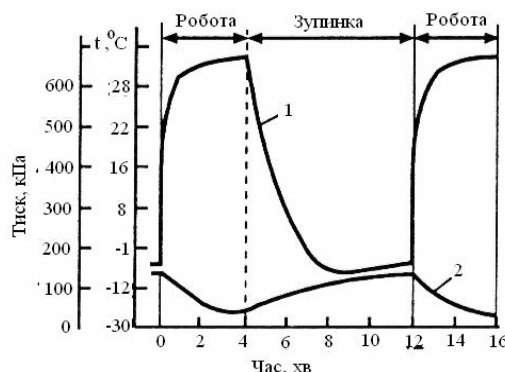


Рис. 2.9 – Графіки зміни тиску в холодильному агрегаті за цикл роботи: 1 – у капілярній трубці; 2 – у трубці всмоктування

Через те, що капілярна трубка з'єднує між собою зони нагнітання і всмоктування агрегату, то при зупинці компресора тиск в конденсаторі поступово знижується. Це дає можливість використовувати електродвигуни з відносно невеликим пусковим моментом.

Недоліком капілярної трубки є те, що вона не забезпечує регулювання подачі хладону у випарник при зміні температурного режиму холодильника. В зв'язку з цим в холодильниках однакового об'єму, які працюють в різних кліматичних умовах, довжина капілярної трубки для забезпечення нормальної роботи агрегату повинна бути різною. Довжина капілярної трубки вибирається такою, щоб забезпечити необхідний перепад тиску між конденсатором та випарником. Розрахунок капілярної трубки при відомому діаметрі зводиться до визначення необхідної довжини, яка забезпечить необхідний перепад тиску.

Відомо, що об'єм рідини, що перетікає в одиницю часу капілярною трубкою при різних тисках на кінцях, визначається за формулою:

$$V_k = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi R^2}{8L} (p - p_0), \quad (2.12)$$

де R – радіус капілярної трубки; L – довжина трубки; η – коефіцієнт внутрішнього тертя або в'язкість рідинного хладону; p – тиск в конденсаторі; p_0 – тиск у випарнику.

З іншого боку кількість хладону в холодильному агрегаті визначається продуктивністю компресора:

$$V_k = \frac{V_c \lambda v_p}{v_n}, \quad (2.13)$$

де λ – коефіцієнт подачі компресора; v_n – густина пари хладону при тиску кипіння у випарнику; v_p – густина рідинного хладону при тиску конденсації.

Якщо прирівняти праві частини виразів (2.12) і (2.13) при відомому діаметрі (радіусі) капілярної трубки, її необхідну довжину визначимо за виразом:

$$L = \frac{\pi R^4 v_n (p - p_0)}{8 V_c \lambda v_p \eta}. \quad (2.14)$$

У зв'язку з тим, що капілярна трубка визначає перепад тиску між конденсатором та випарником, її геометричні параметри суттєво впливають на температурний режим і економічність роботи холодильника.

Розрахунки показують, що при зменшенні діаметра капілярної трубки до 0,7 мм, її довжина, необхідна для забезпечення заданого температурного режиму роботи холодильника, значно зменшується. Крім того, при такому діаметрі довжина капілярної трубки менше впливає на температурний режим і економічність роботи холодильника. При контактуванні капілярної трубки з всмоктувальною утворюється теплообмінник або охолоджувач рідинного хладону. Конструкція охолоджувача повинна забезпечити максимально можливе переохолодження рідини в зв'язку з тим, що питома холодопродуктивність хладону у випарнику при цьому збільшується. Якщо довжина всмоктувальної трубки значна, то капілярна трубка може бути припаяною до всмоктувальної по всій її довжині. При незначній довжині всмоктувальної трубки з метою збільшення площі контакту для більш інтенсивного переохолодження рідини капілярну трубку обмотують навкруги всмоктувальної. Можлива та інша конструкція теплообмінника, коли капілярна трубка проходить поздовж всмоктувальної два або три рази у вигляді змійовика або заводиться всередину всмоктувальної трубки.

Ступінь переохолодження рідини в теплообміннику в значній мірі залежить від швидкості плинину рідини капілярною трубкою і руху холодної пари всмоктувальною трубкою. У зв'язку з незначним прохідним перерізом капілярної трубки швидкість плинину по ній рідини значна (до 2 м/с), а тому для збільшення інтенсивності теплообміну довжина її повинна бути великою.

Фільтри та осушні патрони. Фільтри використовують в якості запобіжника від можливого забиття капілярної трубки маленькими твердими частинками, що утворюються в результаті зношування при роботі компресора.

Фільтри розташовують між конденсатором і капілярною трубкою. Вони виготовляються з дрібних латунних сіток або з металокерамічних матеріалів, які спресовані в стовпчик конусоподібної форми з бронзових кульок діаметром 0,3 мм. Фільтри монтують в корпусах заодно з осушними патронами. Фільтр-осушувач являє собою мідний циліндр довжиною до 100 мм і діаметром 12...18 мм, в якому вальцьовані по діаметру сітки-фільтри та розташований осушувач для поглинання води, що попала в агрегат.

Сушіння системи агрегату від води – один з найважливіших факторів стабільності його роботи, тому що волога може привести до замерзання капілярної трубки і відмови компресора. Вода в систему попадає в складі хладону та мастила, а також з деталями агрегату та ізоляційними матеріалами. Поглинання води забезпечується спеціальною речовиною, яка називається адсорбентом. Як адсорбент використовують силікагель або синтетичний цеоліт.

Силікагель – це дрібнопористі тверді скловидні зерна розміром від 0,5 до 1,5 мм, які розміщують в сітчастому чохла. Синтетичний цеоліт використовують в останній час практично у всіх моделях холодильників, оскільки він є більш ефективним водопоглинаючим матеріалом. Висока водопоглинальна спроможність синтетичного цеоліту є результатом будови його кристалічної решітки, яка утворює велику кількість пор, розміри яких аналогічні молекулярному. В зв'язку з цим синтетичний цеоліт називають ще інколи молекулярним ситом. Розмір пор цеоліту вимірюється в ангстремах – Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$). У герметичних холодильних агрегатах використовують цеоліт, пори якого мають розмір 4 Å. Максимальний розмір молекули води дорівнює 3,2 Å, а молекули хладону і мастила мають розмір більший, ніж 4 Å, тому молекули води поглинаються молекулярним ситом цеоліту, а молекули хладону і мастила проходять далі.

Синтетичний цеоліт випускається у вигляді спресованих кульок або таблеток, які є сумішшю мільких гранул цеоліту (діаметром до 2 мм) зі зв'язувальною речовиною. Синтетичний цеоліт має високу температуру десорбції. Реактивацію цеоліту (видалення вологи) проводять при температурі 350 °С під вакуумом $26 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ (20 мм рт. ст.). Для поєднання з трубопроводом виводи трубки фільтра-осушувача повинні мати такий же діаметр, що і трубопроводу.

2.4.1. Тепловий баланс побутового холодильника

При розрахунку теплового балансу умовно приймаємо, що температура в приміщенні, де встановлений холодильник, незмінна, тому що коливання протягом доби незначні, а сезонні протікають дуже повільно.

До стінок холодильника і до холодних частин агрегату протягом години притікає з приміщення теплота в кількості Q_{np} , а від компресора, конденсатора та інших нагрітих частин агрегату теплота в кількості $Q_{від}$ відводиться в приміщення. Крім того холодильник споживає електроенергію N_e . Якщо не враховувати укладені в холодильник теплі продукти, то тепловий баланс становитиме:

$$Q_{np} + N_e = Q_{від}$$

або

$$Q_{від} - Q_{np} = \Sigma Q = N_e.$$

Таким чином, в приміщенні виділяється тепловий еквівалент електричної потужності.

Кількість відведеної від холодильника теплоти, яке відповідне одиниці затраченої холодильником електричної енергії, може бути названа холодильним коефіцієнтом:

$$\varepsilon_{заг} = \frac{Q_{від}}{N_e}.$$

Якщо в холодильник укладають теплі продукти масою $G_{прод}$ з початковою ентальпією $H_{пoch}$ і кінцевою $H_{кін}$, то різниця $H_{пoch} - H_{кін}$ також переходить в приміщення, і на 1 кг буде затрачена енергія:

$$W = \frac{H_{пoch} - H_{кін}}{\varepsilon_{заг}} = \frac{(H_{пoch} - H_{кін}) N_e}{Q_{від}}, \text{ Дж.}$$

Тепловий баланс холодильного агрегату. Розглянемо тепловий баланс холодильного агрегату, який працює протягом часу безперервно в усталеному тепловому режимі.

Енергія у вигляді теплоти підводиться до випарника та інших елементів агрегату, температура яких нижче температури навколишнього середовища. На стороні низького тиску теплота підводиться як всередині холодильної та морозильної камер (корисний теплоприплив, холодопродуктивність нетто Q_0^{nm}), так і зовні від повітря приміщення. Загальний тепловий потік, який сприймається холодильним агрегатом на стороні низького тиску на ділянці від холодного краю теплообмінника капілярної трубки до всмоктувального патрубка кожуха компресора, називається холодопродуктивністю брутто Q_0^{bp} . Потужність N_e , яка підводиться від електричної мережі до компресора холодильного агрегату, визначають на клеммах компресора в ватах.

Енергія у вигляді теплоти відводиться від кожуха компресора та систем охолодження мастила (якщо вони є), нагнітальної трубки, фільтра-осушувача та початкової частини капілярної трубки до теплообмінника. Загальний потік відданої теплоти називається Q_k^{bp} .

На теплому краю теплообмінника можлива віддача теплоти Q_{2mo} , яка є складовою частиною Q_k^{bp} ; на холодному його краю можливий теплоприплив Q_{1mo} , який є складовою частиною Q_0^{bp} .

Внутрішні потоки теплоти в теплообміннику від рідинного хладону до пари, що всмоктується, в тепловий баланс не входять, тому що вони скорочуються в правій і лівій частинах рівняння теплового балансу.

Рівняння теплового балансу в загальному вигляді:

$$Q_0^{bp} + N_e = Q_k^{bp}.$$

У розгорнутому вигляді рівняння буде мати такий вигляд:

$$Q_0^{nm} + Q_{вс} + Q_{1mo} + Q_{1км} + N_e = Q_k^{nm} + Q_{нч} + Q_p + Q_{2км} + Q_{2mo} + Q_{2кож},$$

де індекси при Q позначають: *nm* – значення нетто; *вс*, *нч*, та *p* – відповідно, всмоктувальний, нагнітаючий та рідинний трубопроводи; *км* – капілярна трубка; *мо* – теплообмінник; *кож* – кожух компресора.

Холодопродуктивність Q_0^{nm} дорівнює загальному теплоприпливу в охолоджуваній контур через теплову ізоляцію; від теплого повітря, яке поступає при відкриванні дверей холодильної та морозильної камер і через нещільність між корпусом і цими дверима; від захованої теплоти пари, яка осідає у вигляді інею і снігової шуби; від охолоджуваних та заморожуваних продуктів.

У лівій частині виразу тільки Q_0^{nm} є корисною, а інші складові ($Q_{вс} + Q_{1mo} + Q_{1км}$) є шкідливими, тому що їх присутність потребує збільшення холодопродуктивності холодильного агрегату та витрат енергії.

Таким чином, повністю матимемо:

$$Q_{вс} + Q_{1mo} + Q_{1км} = Q_0^{bp} + Q_0^{nm}.$$

2.4.2. Цикл компресійної холодильної машини

Теоретичний цикл одноступеневої парової компресійної машини в T - S -координатах (ентропія) та $\lg p$ - H (ентальпія), рис. 2.10 характеризується засмоктуванням з випарника в компресор перегрітої пари і його адіабатичним (1–2) одноступеневим стискуванням; охолодженням (2–2', ізобара); конденсацією пари в конденсаторі (2'–3, ізобара, ізотерма) при температурі T_k і тиску p_k ; переохолодженням хладону (3–3'', ізобара); дроселюванням його в капілярній трубці (3''–4, ізентальпія); кипінням у випарнику (4–1, ізобара) при температурі T_0 і тиску p_0 ; перегрівом пари (1'–1, ізобара).

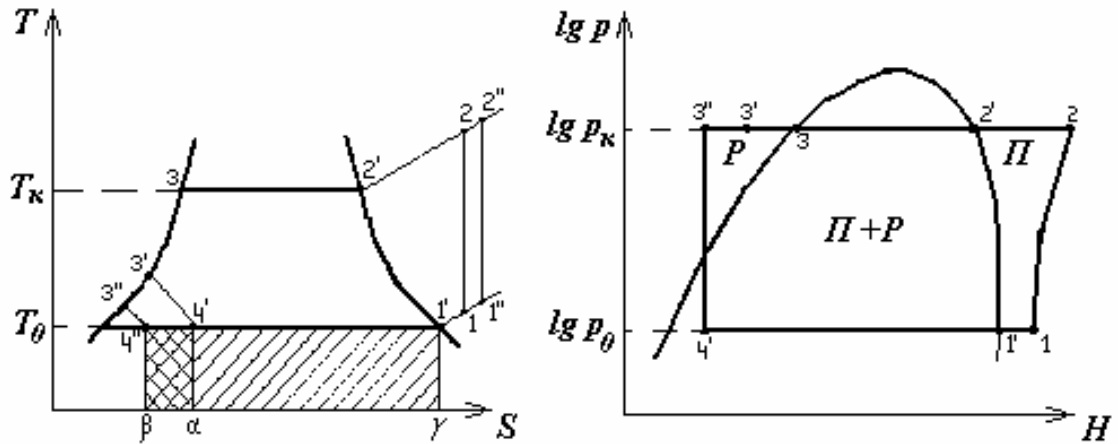


Рис. 2.10 – Діаграма теоретичного циклу компресійної машини (в T - S - та $\lg p$ - H -координатах)

У регенеративному теплообміннику переохолоджується рідина, що поступає з конденсатора, за рахунок перегріву пари, яка всмоктується з випарника. В конденсаторі пара переходить в рідину (лінія $2''-3$), переохолоджується ($3-3'$), попадає в теплообмінник і додатково охолоджується ($3'-3''$) за рахунок пари, яка поступає з випарника ($1'-1''$).

Як видно з діаграми, використання таких теплообмінників дозволяє збільшити холодопродуктивність (площа $1'-4'-\alpha-\gamma$) машини на Δq_0 (площа $\alpha-4'-4''-\beta$) та покращити її холодильний коефіцієнт. В той самий час стискання на діаграмі T - S зміщується в область перегрітої пари і робота, що витрачається на стискання, збільшується на Δl (дорівнює площі $1-1''-2''-2$).

Регенеративний теплообмінник доцільно використовувати для хладонів з невеликим відношенням захованої теплоти пароутворення і теплоємності рідини (R-134^a).

Параметри для фреону-12 та R-134^a в точках наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості холодоагентів у розрахункових точках

Холодоагент	Точка	T , К	p , МПа	ρ , кг/м ³	H , кДж/кг	S , кДж/кг·К
R-134 ^a	1'	246,00	0,093	4,94	579,41	4,747
	1	305,00	0,093	3,82	636,48	4,938
	2	405,49	1,489	50,15	721,36	4,938
	2'	328,00	1,489	76,71	629,72	4,707
	3	328,00	1,489	1081,37	486,05	4,269
	3'	305,00	1,489	1187,27	450,43	4,162
	4'	246,07	0,093	12,08	450,43	4,222
R-12	1'	247,00	0,113	7,01	539,63	4,581
	1	305,00	0,113	5,50	575,07	4,695
	2	416,51	1,356	52,09	640,93	4,695
	2'	328,00	1,356	78,43	573,35	4,529
	3	328,00	1,356	1188,62	454,87	4,167
	3'	305,00	1,356	1283,72	430,95	4,098
	4'	245,89	0,113	20,31	430,95	4,139

Треба відмітити, що стандартом нормується температура конденсації $t_k = 55$ °С, температура кипіння $t_0 = -27$ °С, температура перегріву ($1''$) і температура переохолодження хладону (точка $3''$) $t_3'' = 32$ °С; $t_1'' = 32$ °С.

Основними відмінностями дійсного циклу від теоретичного (який більш правильно було б назвати розрахунковим, тому що чисто теоретичний цикл не передбачає перегрів і переохолодження хладону) є такі:

– зниження тиску в конденсаторі і випарнику внаслідок гідравлічних втрат, в результаті чого для процесу стискання між точками 1 і 2 необхідно здійснювати більшу роботу, ніж в теоретичному (розрахунковому) циклі;

– стиснення пари хладону в компресорі відбувається не при сталій ентропії, тому є втрати на тертя та інші витрати.

У подальшому для розрахунків будемо базуватися на розрахунковому циклі.

2.4.3. Мінімально допустима товщина стінок камер холодильника

Мета розрахунку: визначити імовірність випадання роси на зовнішній поверхні шафи холодильника при експлуатації його в екстремальних умовах – температурі навколишнього середовища 32 °C і відносній вологості 80 %.

Відсутність роси на зовнішній поверхні шафи буде забезпечена, якщо товщина стінок камери δ_{cm} буде більше мінімально допустимих значень, тобто $\delta_{cm} > [\delta_{cm}]_{\min}$.

Для забезпечення невинпадання роси температура стінок шафи повинна бути мінімум на 1 °C вище температури точки роси екстремальних умов температури і вологості, за яких експлуатується холодильник. Кожна з стінок шафи може бути представлена як тришарова плита, що складається з зовнішньої обичайки товщиною δ_1 , внутрішньої обичайки товщиною δ_2 та шаром теплоізоляції між ними.

При конструюванні шафи матеріал обичайки і коефіцієнти теплопровідності їх відомі ($\delta_1 \rightarrow \lambda_1$ та $\delta_2 \rightarrow \lambda_2$). Відомий також матеріал і коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції λ_{is} . Таким чином, задача зводиться до визначення мінімально допустимої товщини ізоляційного шару $(\delta_{is})_{\min}$.

$$[\delta_{cm}]_{\min} = \delta_1 + (\delta_{is})_{\min} + \delta_2.$$

Розглянемо конвективний теплообмін поверхні шафи холодильника з навколишнім середовищем.

Процес конвективного теплообміну описується за допомогою безрозмірних комплексів-критеріїв подібності.

1) **критерій Нусельта** або критерій тепловіддачі, який характеризує теплообмін на границі “стінка–середовище”:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda},$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища до поверхні шафи холодильника, Вт/м²·К; l – геометричний розмір довжини, м; λ – коефіцієнт теплопровідності навколишнього середовища, Вт/м·К;

2) **критерій Грасгофа**, який характеризує силу підйому, що виникає внаслідок різниці густин потоків навколишнього середовища:

$$Gr = \frac{g\beta\Delta t^3}{\nu^2},$$

де g – прискорення вільного падіння; β – коефіцієнт об'ємного розширення, 1/К; $\beta = \frac{1}{T}$; T – абсолютне значення температури навколишнього середовища, К; ν – коефіцієнт кінематичної густини навколишнього середовища, м²/с; Δt – різниця температури на границі “стінка–середовище”;

3) **критерій Прандтля** складається з фізичних параметрів, а тому сам є фізичним параметром, який записується так:

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a},$$

де a – коефіцієнт температуропровідності навколишнього середовища, м²/с.

Співвідношення тепловіддачі при вільній конвекції в необмеженому просторі має вигляд:

а) при плівковому режимі теплообміну:

$$\text{Nu} = 0,5 \text{ для } (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 0,001;$$

б) при ламінарному режимі:

$$\text{Nu} = 1,18 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/3} \text{ для } 0,001 < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 500;$$

в) при перехідному режимі:

$$\text{Nu} = 0,54 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/4} \text{ для } 500 < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 2 \cdot 10^7;$$

г) при вихровому режимі теплообміну:

$$\text{Nu} = 0,135 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/3} \text{ для } 2 \cdot 10^7 < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 10^{13}.$$

В узагальненому вигляді критеріальне рівняння можна представити таким чином:

$$\text{Nu} = c (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^n, \quad (2.15)$$

де c і n залежать від величини добутку критеріїв $(\text{Gr} \cdot \text{Pr})$. В якості визначальної температури прийнята середня температура приграничного шару:

$$t_m = \frac{t_{cm} + t_{nc}}{2},$$

де t_{cm} – температура стінки; t_{nc} – температура навколишнього середовища.

Оскільки термічний опір обичайок стінки малий і на загальне значення опору практично не впливає, стінку шафи з цієї точки зору можна уявити як однорідну, товщину якої необхідно визначити. З рівняння теплового балансу теплопередачі відомо, що тепло q_1 , яке притікає до стінок холодильника з навколишнього середовища, дорівнює теплу q_2 , яке проходить через цю стінку, та дорівнює теплу q_3 , яке поступає в камеру холодильника, тобто:

$$q_1 = q_2 = q_3, \quad (2.16)$$

$$\text{де } q_1 = \alpha_1 (t_{nc} - t_{cm1}); \quad q_2 = \frac{\lambda_i}{\delta_1} (t_{cm1} - t_{cm2}); \quad q_3 = \alpha_2 (t_{cm2} - t_{кам}).$$

Після підстановки цих даних у рівняння (2.16) отримуємо таку залежність в узагальненому вигляді:

$$(\delta_{iz})_{\min} = \lambda_{iz} \left[\frac{t_{nc} - (t_{кам})_i}{(\alpha_1)_i \cdot (t_{nc} - t_{cm1})} - \frac{1}{(\alpha_1)_i} - \frac{1}{(\alpha_2)_i} \right]. \quad (2.17)$$

Коефіцієнти тепловіддачі з зовнішньої $(\alpha_1)_i$ та внутрішньої $(\alpha_2)_i$ сторін шафи складаються з двох складових – променистої α_{np} та конвективної α_k , тобто:

$$\begin{aligned} (\alpha_1)_i &= (\alpha_{1np})_i + (\alpha_{1k})_i; \\ (\alpha_2)_i &= (\alpha_{2np})_i + (\alpha_{2k})_i. \end{aligned}$$

Променисті складові $(\alpha_{1np})_i$ та $(\alpha_{2np})_i$ визначаються на основі закону Стефана–Больцмана за узагальненою формулою:

$$(\alpha_{np})_i = C_0 \varepsilon \cdot \varphi_0 \frac{(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4}{T_1 - T_2}, \quad (2.18)$$

де C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; ε – середній степінь чорноти середовища або тепловіддаючої поверхні; T_1 – абсолютне значення температури середовища або тепловіддаючої поверхні, К ; T_2 – абсолютне значення температури середовища або тепло сприймаючої поверхні, К ; φ_0 – коефіцієнт опромінювання, $\varphi_0 = 1$.

Конвективні складові $(\alpha_{1к})_i$ та $(\alpha_{2к})_i$ визначаються з безрозмірного критерію Нусельта:

$$(\alpha_{к})_i = \frac{\text{Nu}_i \cdot \lambda_i}{l_i},$$

де Nu_i визначається з рівняння (2.15).

2.4.4. Розрахунок теплоприпливів в холодильну та морозильну камери

Вихідні дані для розрахунків: температура навколишнього середовища $T_{nc} = +32 \text{ }^\circ\text{C}$; температура в морозильній камері $T_{м.к.} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$; вологість повітря $\gamma_n = (80 \pm 1,5) \%$; висота холодильника H ; глибина – A ; ширина – B ; висота компресійного відсіку $H_{кв}$; ширина компресійного відсіку – $B_{кв}$; товщини: задньої стінки – D_s ; бокової стінки – D_b ; нижньої стінки – D_n ; двері – D_d ; передньої стінки – D_p ; теплопровідність ізоляції $\lambda_{із} = 0,023 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ (пінополіуретан); товщина зовнішньої обичайки $D_1 = 0,6 \text{ мм}$ з теплопровідністю $\lambda_1 = 50,93 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$; товщина внутрішньої обичайки $D_2 = 0,8 \text{ мм}$ з теплопровідністю $\lambda_2 = 196 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$; товщина обичайки дверей $D_d = D_1$.

Загальний теплоприплив у шафу визначаємо за такою схемою.

Умовно розділяємо конструкцію холодильника на складові частини, для кожної з яких знаходимо величину теплоприплив:

$$Q_i = K_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i, \quad (2.19)$$

де K_i – коефіцієнт теплопередачі; F_i – площа теплообмінної поверхні; Δt_i – градієнт температур між температурою навколишнього середовища та температурою в камері.

Загальний теплоприплив в холодильник знаходимо як суму його складових частин:

$$Q = \sum Q_i.$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається з рівняння:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.20)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні:

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{D_1}{\lambda_1} + \frac{D_{із}}{\lambda_{із}} + \frac{D_2}{\lambda_2}. \quad (2.21)$$

Коефіцієнт тепловіддачі визначається за формулою:

$$\alpha = \alpha_{np} + \alpha_{к}.$$

Промениста складова коефіцієнта тепловіддачі:

$$\alpha_{np} = \varepsilon_{np} \cdot C_0 \cdot \varphi_0 \frac{\left(\frac{T_{cm}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{nc}}{100}\right)^4}{T_{cm} - T_{nc}}, \quad (2.22)$$

де ε_{np} – приведений степінь чорноти $\varepsilon_{np} = 0,90 \dots 0,92$; C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$, Вт/м²·К⁴.

Якщо геометричний розмір l плоскої поверхні та її температурний напір $(T_{cm} - T_{nc})$ відповідає нерівності:

$$T_{cm} - T_{nc} \leq (840/l)^4,$$

то рух газу підпорядковується закону 1/4 степеня. В іншому випадку має місце теплообмін за законом 1/3 степеня.

Для горизонтальних поверхонь визначальним розміром є найменша довжина, а для вертикальних – висота ділянки.

Якщо теплообмін підпорядковується закону 1/4 степеня, то використовують наступні формули для розрахунку конвективного коефіцієнта тепловіддачі:

1) для вертикально розташованої (орієнтованої) поверхні:

$$\alpha_{\kappa} = 0,98 A_2 \left(\frac{T_{cm} - T_{nc}}{l} \right)^{1/4},$$

де l – найменша сторона поверхні;

2) для горизонтальної поверхні, розташованої нагрітою стороною вверх:

$$\alpha_{\kappa} = 1,29 A_2 \left(\frac{T_{cm} - T_{nc}}{l} \right)^{1/4},$$

3) для горизонтальної поверхні, розташованої нагрітою стороною вниз:

$$\alpha_{\kappa} = 0,67 A_2 \left(\frac{T_{cm} - T_{nc}}{l} \right)^{1/4}.$$

В коефіцієнт A_2 входять всі фізичні параметри середовища:

$$A_2 = 0,54 (\beta q \text{Pr})_m^{1/4} \frac{\lambda_m}{\nu_m^{1/2}},$$

де $\beta = \frac{1}{T_{cm}}$ – коефіцієнт об'ємного розширення.

Індекс “ m ” вказує на те, що значення фізичних параметрів необхідно вибирати при середній температурі приграничного шару t_m .

Якщо теплообмінник підпорядкований закону 1/3 степеня, то формули розрахунку конвективної складової коефіцієнта тепловіддачі мають вигляд:

1) для вертикально орієнтованої плоскої поверхні:

$$\alpha_{\kappa} = 0,995 A_3 (T_{cm} - T_{nc})^{1/3},$$

2) для горизонтальної поверхні, розташованої нагрітою стороною верх:

$$\alpha_{\kappa} = 1,24 A_3 (T_{cm} - T_{nc})^{1/3},$$

3) для горизонтальної поверхні, розташованої нагрітою стороною вниз:

$$\alpha_{\kappa} = 0,68 A_3 (T_{cm} - T_{nc})^{1/3}.$$

Коефіцієнт $A_3 = 0,135 (\beta q \text{Pr})_m^{1/3} \frac{\lambda_m}{\nu_m^{2/3}}$.

Температуру зовнішньої стінки приймаємо однаковою з температурою навколишнього середовища.

Температури задньої стінки, за якою розташований конденсатор, і нижньої стінки, на якій розташований компресор, приймаємо $T_{nc} = +10$ °С.

Площі теплообміну холодильника розраховують на основі стандартних значень геометричних параметрів $A \times B \times H$ за винятком компресорного відсіку і площі, яку займає теплоізоляція. Розраховують тепловіддачу через двері, бокові, задню, верхню та нижню стінки.

2.4.5. Вибір компресора

Відповідно до отриманих даних теплоприпливів у холодильну та морозильну камери і циклу роботи холодильника вибираємо компресор.

Холодопродуктивність компресора Q_0 повинна компенсувати теплоприпливи в холодильник, теплоту продуктів, що охолоджуються та заморожуються, а також мати запас для циклічної роботи агрегату.

Це враховується коефіцієнтом робочого часу (КРЧ), який визначається відношенням тривалості робочої частини циклу $\Delta\tau_p$ (час роботи компресора) до тривалості всього циклу $\Delta\tau_u$ (час роботи і вистою):

$$КРЧ = \frac{\Delta\tau_p}{\Delta\tau_u}. \quad (2.23)$$

Для температури навколишнього середовища $t_{nc} = 32$ °С (найгірші умови роботи агрегату) значення КРЧ приймають $КРЧ \leq 0,8$ (найчастіше 0,5...0,6).

Тоді холодопродуктивність компресора (необхідна):

$$Q_0 = \frac{Q_{mn}}{КРЧ}, \text{ Вт},$$

де Q_{mn} – теплоприпливи, Вт.

Компресор вибирається за довідковими таблицями, при цьому його холодопродуктивність повинна компенсувати теплоприпливи в холодильник.

Для перевірки правильності вибору компресора та отримання даних для наступних розрахунків визначаємо масову холодопродуктивність компресора:

$$G = \frac{Q_0}{q_0}, \text{ кг/с}, \quad (2.24)$$

де $q_0 = H_1 - H_4$ – питома масова холодопродуктивність холодоагенту, Дж/кг; H_1, H_4 – ентальпії у відповідних точках холодильного циклу.

Знаючи масову холодопродуктивність, розраховуємо продуктивність роботи компресора за годину із співвідношення:

$$V_r = G \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.25)$$

де v_1 – питомий об'єм пари в точці 1 холодильного циклу (табл. 2.1).

$$v_1 = \frac{1}{\rho_1}.$$

Знаходимо об'єм V_n , який повинен здійснити поршень компресора для забезпечення потрібної холодопродуктивності:

$$v_n = \frac{V_r}{n}, \text{ см}^3,$$

де n – частота обертання в секунду вала двигуна компресора.

Отриманий результат порівнюємо з даними вибраного компресора, в назві якого після марки приводиться число, значення якого є величиною об'єму V_n , в см^3 , що описує його поршень. Якщо розрахункове значення V_n , менше ніж компресора, то останній вибрано правильно.

2.4.6. Математична модель та тепловий розрахунок випарника

Для розробки математичної моделі випарника приймаємо наступні припущення:

- в двофазовій області рідина і парова фаза знаходяться в термодинамічній рівновазі;
- коефіцієнт теплообміну холодоагенту зі стінками випарника приймається середнім по всій довжині каналу;
- температура стінок випарника однакова у всіх точках;
- масова швидкість руху холодоагенту випарником приймається рівною витратам, які компенсуються компресором холодильника.

Основні процеси, що відбуваються у випарнику, з урахуванням прийнятих припущень базуються на наступних співвідношеннях:

- 1) рівняння балансу маси холодоагенту в трубках випарника:

$$\frac{d(\rho'v' + \rho''v'')}{d\tau} = G_1 - G_2, \quad (2.26)$$

де ρ' , ρ'' – відповідно, густина пароподібного та рідинного холодоагенту в каналах випарника; v' , v'' – об'єм, який займає пароподібний та рідинний холодоагент; G_1 , G_2 – витрати холодоагенту, який поступає і витікає з випарника; τ – час плину холодоагенту;

- 2) рівняння балансу енергії холодоагенту в трубках випарника:

$$\frac{d(\rho'v'u' + \rho''v''u'')}{d\tau} = G_1H_1 - G_2H_2 + \alpha_1F(T_{cm} - T), \quad (2.27)$$

де u' , u'' – питома внутрішня енергія пароподібного та рідинного хладону відповідно; T – температура хладону у випарнику; T_{cm} – температура стінки випарника; H_1 , H_2 – ентальпія хладону на вході і виході випарника; α_1 – коефіцієнт теплообміну хладону з поверхнею випарника; F_1 – площа поверхні каналів випарника, що контактують з хладоном;

- 3) рівняння балансу енергії на стінках випарника:

$$\frac{d(m_{cm} \cdot G_{cm} \cdot T_{cm})}{d\tau} = \alpha_1 - F_1(T_{cm} - T) + \alpha_2 \cdot F_2(T_{кам} - T_{cm}), \quad (2.28)$$

де m_{cm} – маса трубки (металу) випарника; G_{cm} – теплоємність матеріалу, з якого виготовлений випарник; α_2 – коефіцієнт теплообміну поверхні випарника з повітрям камери; F_2 – площа контакту поверхні випарника з повітрям; $T_{кам}$ – температура в холодильній або морозильній камері (залежно від того, в якій камері розташований випарник);

- 4) рівняння балансу енергії повітря в камері:

$$\frac{d(\rho_{кам} \cdot V_{кам} \cdot C_{vкам} \cdot T_{кам})}{d\tau} = \alpha_2 \cdot F_2(T_{кам} - T_{cm}), \quad (2.29)$$

де $\rho_{кам}$, $C_{vкам}$ – відповідно густина та теплоємність повітря в морозильній (холодильній) камері; $V_{кам}$ – об'єм камери;

- 5) умова незмінності об'єму холодоагенту в каналах випарника:

$$V = V' + V''.$$

Розрахунок параметрів випарника проводиться в стаціонарному режимі. Основними параметрами, які необхідно визначити, є площа поверхонь, які передають теплоту, та довжина трубопроводів випарника.

Основне рівняння теплопередачі (2.19) у випарнику має вигляд:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t,$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К; F – площа поверхні передачі теплоти, м²; Δt – температурний напір між температурою в камері і середньою температурою на вході та виході випарника, К; Q – холодопродуктивність випарника, Вт.

З цього рівняння знаходимо площу випарника:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}.$$

Коефіцієнт теплопередачі K через стінку випарника визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}},$$

де α_1 – коефіцієнт теплообміну між хладоном і внутрішньою стінкою випарника, Вт/м²·К; δ – товщина стінки випарника, м; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу випарника, Вт/м·К.

Середній коефіцієнт тепловіддачі при кипінні хладону в горизонтальних трубках (в зв'язку з незначним нахилом трубки кипіння у випарнику в порівнянні з довжиною, приймаємо як кипіння в горизонтальних трубках) при невеликих потоках $q_{F_{\text{вн}}}$ визначається з рівняння:

$$\alpha_1 = C \cdot q_{F_{\text{вн}}}^{0,15} (\omega\rho)^n,$$

де $\omega\rho$ – масова швидкість хладону, що кипить, кг/м²·с; C та n – коефіцієнти, які залежать від властивостей хладону (для R-134^a, $C = 23,4$; $n = 0,47$).

При великих значеннях $q_{F_{\text{вн}}}$ середній коефіцієнт тепловіддачі α_1 описується рівнянням:

$$\alpha_1 = A \cdot q_{F_{\text{вн}}}^{0,6} (\omega\rho)^{0,2} d_{\text{вн}}^{-0,2},$$

де $\alpha_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр трубки випарника, м.

Коефіцієнт A залежить від температури кипіння хладону. Для температури кипіння R-134^a, A становить 0,85.

Коефіцієнт теплообміну між зовнішньою стінкою випарника та повітрям камери визначається за формулою:

$$\alpha_2 = \alpha_{\text{пр}} + \alpha_{\text{к}},$$

де $\alpha_{\text{пр}}$ – променева частка, Вт/м²·К; $\alpha_{\text{к}}$ – конвективна частка, Вт/м²·К;

$$\alpha_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot \varphi_0 \frac{\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^4}{T_{\text{ст}} - T_0},$$

де $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведений степінь чорноти; C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, Вт/м²·К⁴; φ_0 – коефіцієнт опромінення; $T_{\text{ст}}$ – абсолютна температура зовнішньої стінки випарника; T_0 – абсолютна температура повітря камери.

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d_{\text{зовн}}},$$

де Nu – значення критерію Нусельта; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м²·К; $d_{\text{зовн}}$ – зовнішній діаметр трубки, м.

Довжина трубопроводу випарника:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{зовн}} \cdot \varphi}, \quad (2.30)$$

де F – площа поверхні випарника, м^2 ; φ – коефіцієнт, що враховує наявність ребер у ребристотрубному випарнику (приймається $\varphi = 4,1$).

2.4.7. Математична модель та тепловий розрахунок конденсатора

Основною задачею при розрахунку конденсатора є визначення площі поверхні теплопередачі та основних геометричних розмірів.

За характером зміни температури хладону конденсатор можна поділити на три зони:

1) зону відводу теплоти перегріву, 2) зону конденсації та 3) зону охолодження конденсату.

При побудові математичної моделі приймаємо наступні припущення:

– у двофазовій області рідина та газ відокремлені і перебувають в термодинамічній рівновазі;

– тиск в конденсаторі незмінний по всій довжині;

– коефіцієнт теплообміну хладону зі стінкою приймається середнім по всій довжині каналів.

Оскільки основні параметри конденсатора визначаються при максимальному температурному навантаженні, приймаємо температуру навколишнього середовища $T_{\text{ис}} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ за відносної вологості 80 %.

При розрахунках зовнішній діаметр трубки конденсатора приймаємо 4,75 мм, внутрішній – 3,75 мм, $\varphi = 4,1$.

Розрахунок довжини зони відводу теплоти перегріву хладону (перша зона) виконується за формулою:

$$L_1 = \frac{G(H_2 - H'_2)}{\pi d_{\text{зовн}} \cdot \varphi \cdot K \left[\left(\frac{t_2 - t'_2}{2} \right) - t_{\text{ис}} \right]}, \quad (2.31)$$

де G – масові витрати хладону; H_2, H'_2 – значення ентальпії в початковій та кінцевій точках зони відповідно; t_2, t'_2 – значення температур в точках 2 та 2' (див. рис. 2.6); K_1 – коефіцієнт теплопередачі для зони відводу теплоти перегріву.

Коефіцієнт теплопередачі визначається з виразу:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні трубки конденсатора; δ – товщина стінки трубки; λ_m – коефіцієнт теплопровідності матеріалу трубки; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні трубки.

Коефіцієнт тепловіддачі α_1 становить:

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{l}.$$

У нашому випадку λ – теплопровідність перегрітої пари хладону при температурі $(t_2 + t'_2)/2$.

Середнє значення Nu визначається залежно від значень числа Рейнольдса:

$$\text{– при } Re < 4000, Nu = 1,55 \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{d_{\text{вн}}}{l} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_2}{\mu_{\text{ст}}}\right);$$

$$\text{– при } Re > 4000, Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Rr^{0,4};$$

де Pr – число Прандтля при середній температурі; l – орієнтовна мінімальна довжина трубки; μ_2 – коефіцієнт динамічної в'язкості при середній температурі (пауз – П, у системі СГС або Па·с – у системі СІ); $\mu_{\text{ст}}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості при температурі стінки:

$$t_{\text{ст}} = \frac{t_2 + t'_2}{2} - 2 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Число Рейнольдса визначається рівнянням:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}}}{\nu},$$

де ω – швидкість хладону при виході з компресора, м/с; ν – кінематична в'язкість, м²/с.

Швидкість хладону визначаємо за формулою:

$$\omega = \frac{4G}{\rho \pi d_{\text{вн}}^2},$$

де ρ – густина пари при $\frac{t_2 + t'_2}{2}$, кг/м³.

Для другої зони коефіцієнт теплообміну α_2 між зовнішньою стінкою трубки і повітрям становить:

$$\alpha_2 = \alpha_{K2} + \alpha_{np2},$$

де α_{K2} – конвективна складова; α_{np2} – промениста складова.

Конвективна складова обчислюється так:

$$\alpha_{K2} = \frac{Nu \lambda_{nc}}{l},$$

де Nu – критерій Нусельта, який визначається умовами навколишнього середовища; λ_{nc} – коефіцієнт теплопровідності навколишнього середовища при $t = (t_{\text{ст}} + t_{\text{nc}})/2$, Вт/м·К; l – орієнтовна мінімальна довжина трубки, м.

Промениста складова α_{np2} визначається з рівняння:

$$\alpha_{np2} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot \varphi_0 \frac{\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{nc}}}{100} \right)^4}{T_{\text{ст}} - T_{\text{nc}}},$$

де ε – степінь чорноти поверхні ($\varepsilon = 0,9$ – для зовнішніх; $\varepsilon = 0,92$ – для внутрішніх поверхонь); C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

Довжина зони конденсатора L :

$$L_2 = \frac{G \cdot r}{K_2 \cdot \pi \cdot d_{\text{зовн}} \cdot \varphi(t_3 - t_{\text{nc}})}, \quad (2.32)$$

де r – теплота пароутворення хладону; K_2 – коефіцієнт теплопередачі для зони відведення теплоти конденсації.

Розрахунок зони переохолодження конденсату проводиться за формулою:

$$L_3 = \frac{G \cdot (H_3 - H'_3)}{K_2 \pi d_{зовн} \cdot \varphi \left[(t_3 - t'_3) / 2 - t_{nc} \right]}$$

Коефіцієнти K_2 та K_3 визначаються згідно з методикою, наведеною раніше. Таким чином, загальна довжина трубопроводу конденсатора становить:

$$L = L_1 + L_2 + L_3.$$

2.4.8. Розрахунок гідравлічних втрат у випарнику

В теоретичному ідеальному процесі руху хладону по контуру сума гідравлічних втрат $\Delta p = 0$, і температура кипіння хладону у випарнику відповідає тиску всмоктування компресора.

У реальному процесі $\Delta p > 0$, t_0 не відповідає p_0 , а t'_0 – температура у випарнику, яка відповідає тиску $p - \Delta p$.

Для оцінки впливу гідравлічних втрат на енергетичні параметри холодильника запишемо загальну залежність, за якою визначається Δp :

$$\Delta p = \Delta p_{шв} + \Delta p_{тр} + \Delta p_{м.о.} \pm \Delta p_{нід},$$

де $\Delta p_{шв}$ – втрати тиску на створення швидкості потоку хладону, Па; $\Delta p_{тр}$ – втрати тиску на подолання опору тертя, Па; $\Delta p_{м.о.}$ – втрати тиску на подолання місцевого опору, Па; $\Delta p_{нід}$ – сума втрат тиску залежно від гідростатичного стовпа рідини, Па:

$$\Delta p_{шв} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2},$$

де ρ – густина газу хладону ($\rho = 4,94 \text{ кг/м}^3$); $\omega = \frac{4G}{\pi d_{вн}^2}$ – швидкість потоку хладону, м/с; G –

масова холодопродуктивність компресора, кг/с; $d_{вн}$ – внутрішній діаметр трубки випарника.

Втрати на тертя визначаються:

$$\Delta p_{тр} = \xi_{мп} \frac{L}{d_{вн}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2},$$

де L – довжина випарника; $\xi_{мп}$ – коефіцієнт тертя, який визначається залежно від числа Рейнольдса:

$$\xi_{мп} \begin{cases} = \frac{64}{\text{Re}}, & \text{при } \text{Re} < 2 \cdot 10^3; \\ = 2,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{\text{Re}}, & \text{при } 2 \cdot 10^3 < \text{Re} < 4 \cdot 10^3; \\ = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}, & \text{при } \text{Re} > 4 \cdot 10^3. \end{cases}$$

Втрати тиску на подолання місцевих опорів визначаються:

$$\Delta p_{м.о.} = \frac{\rho \omega^2}{2} \sum \xi_{м.о.},$$

де $\sum \xi_{м.о.}$ – сумарний коефіцієнт місцевих опорів. У нашому випадку:

$$\sum \xi_{м.о.} = \xi_{м.о.} \cdot n,$$

де $\xi_{м.о.}$ – коефіцієнт місцевого опору (при повороті на 90° $\xi_{м.о.} = 1$); n – число поворотів на 90° .

Втрати тиску на подолання гідростатичних стовпів рідини в загальному випадку:

$$\Delta p_{hid} = \rho \cdot q \cdot H,$$

де H – висота гідростатичного стовпа рідини, м.

У випадку, коли потік рухається вниз Δp_{hid} входить в формулу зі знаком “мінус”, а коли потік рухається вгору – зі знаком “плюс”.

Підставимо значення складових у загальну формулу:

$$\Delta p = \frac{\omega^2 \rho}{2} \left[1 + \frac{\xi_{mp}}{d_{en}} + \xi_{m.o.} \cdot n \right] + \rho \cdot q \cdot H.$$

Знаходимо p'_0 , відповідно до якого визначаємо температуру кипіння t'_0 та холодопродуктивність Q'_0 .

Отже питомі втрати холодопродуктивності:

$$\Delta Q = \frac{Q_0 - Q'_0}{Q},$$

а питоме збільшення витрат електроенергії:

$$E = \frac{E_0 - E'_0}{E_0}.$$

2.5. Термоелектричні холодильники

Сутність термоелектричного охолодження відкрита в XIX ст. вченими Зеебеком, Пельтьє та Томпсоном.

У 1821 р. німецьким вченим Зеебеком було відкрито, що в електричному колі, яке складається з послідовно з'єднаних різних металів, у випадку, коли місця контактів мають різну температуру, виникає термоелектрорушійна сила.

Якщо електричне коло складається з двох матеріалів A та B , які утворюють термопару, і спай має температуру t , яка більше температури вільних кінців t_0 ($t > t_0$), то гальванометр покаже наявність термоелектрорушійної сили (терс):

$$E = \alpha_{1,2}(t - t_0), \text{ мкВ},$$

де $\alpha_{1,2}$ – коефіцієнт терс, який залежить від властивостей матеріалу та інтервалу температур $(t - t_0)$, мкВ/°С; t – температура гарячого спаю, °С; t_0 – температура вільних кінців (холодного спаю), °С.

У 1834 р. французьким вченим Пельтьє відкритий закон, сутність якого полягає в тому, що при протіканні постійного електричного струму через термобатарею з двох матеріалів, одні спаї цієї батареї охолоджуються, а інші – нагріваються.

Таким чином, роль робочого теплоносія тут виконує постійний електричний струм. Якщо розмістити холодні спаї термобатареї в середовище, яке охолоджується, то є можливість забезпечити передачу теплоти з холодної камери в більш тепле середовище навкруги гарячих спаїв. Кількість теплоти, яка відводиться від холодного спаю термобатареї, прямопропорційна силі струму I :

$$Q = P \cdot I,$$

де P – коефіцієнт Пельтьє, який залежить від властивостей матеріалу.

В 1856 році англійським вченим Томпсоном відкрите явище, яке полягає в наступному: якщо вздовж будь-якого провідника (або напівпровідника) є перепад температур, то при про-

тіканні через нього постійного струму в його об'ємі додатково до теплоти Джоуля виділяється або поглинається (залежно від напрямку струму) деяка кількість теплоти.

Ця кількість теплоти називається теплою Томпсона (Q_τ); вона пропорційна силі струму I та перепаду температур $(t - t_0)$:

$$Q_\tau = \tau (t - t_0)I,$$

де τ – коефіцієнт Томпсона, який залежить від властивостей матеріалу провідника.

2.5.1. Основи теорії термоелектричних явищ

Як відомо, енергія вільних електронів різних провідників змінюється по різному при зміні температури. Якщо взяти який-небудь провідник і нагріти один з кінців, то вільні електрони нагрітого кінця отримають додаткову енергію та будуть зміщуватися до холодного кінця, де енергетичний рівень нижчий. Цей процес буде до тих пір, поки не буде рівноваги між негативним зарядом холодного кінця провідника та енергією теплового руху електронів. У результаті переходу електронів на більш низький енергетичний рівень на кінцях провідника виникають заряди: на холодному – негативний, а на гарячому – позитивний.

Таким чином, на краях провідника створюється електричний потенціал – термоелектро-рушійна сила, яка врівноважена енергією теплового руху електронів. Якщо до такого провідника підвести електричний потенціал зовнішнього джерела постійного струму, то внутрішній тепловий потенціал буде або заважати, або сприяти протіканню електричного струму. При збігу напрямку зовнішнього електричного струму з напрямом внутрішнього теплового потенціалу загальна температура провідника буде знижуватись, тобто теплота Томпсона буде поглинатись його масою.

При зворотному напрямі енергія зовнішнього електричного поля витрачається додатково на зміну напрямку вільних електронів провідника, що призводить до нагріву загальної його маси, тобто додатково до теплоти Джоуля провідник виділяє теплоту Томпсона.

Якщо ми маємо два провідника, вільні електрони яких мають різну енергію, то при одному і тому ж температурному перепаді на їх кінцях різниця внутрішніх потенціалів, які створені тепловим рухом електронів, буде різною. Якщо з'єднати гарячі кінці цих двох різних провідників, то на холодних вільних кінцях негативні заряди за величиною будуть також різними.

У напівпровідниках, які використовуються в термоелектричних холодильниках, при проходженні електричного струму теж рухаються електрони, але умови проходження суттєво відрізняються. Справа полягає в тому, що кількість вільних електронів в металах складає $10^{22} \dots 10^{23}$ на 1 см^3 (приблизно на кожний атом припадає один вільний електрон), а у напівпровідників концентрація вільних електронів в сотні тисяч, і, навіть, в мільйони раз менше.

Така відмінність є причиною того, що при підвищенні температури опір металів збільшується в зв'язку зі збільшенням енергії атомів та іонів, підвищення активності коливання яких заважає руху вільних електронів і, відповідно, електропровідність зменшується. В напівпровідниках за тих самих умов електропровідність значно збільшується за рахунок появи більшої кількості вільних електронів, які, отримавши додаткову енергію, виходять з орбіти атомів. Так, при підвищенні температури до 200°C число вільних електронів збільшується в 20 тисяч раз, а підвищення температури до 800°C – в 500 мільйонів раз.

Таким чином, основна і принципова відмінність металів і напівпровідників полягає в тому, що в напівпровідниках для того, щоб вивести електрон зі зв'язаного стану і збільшити електропровідність, необхідно ззовні надати йому певну додаткову енергію.

У напівпровідниках весь час відбувається обмін вільних електронів, одні з яких виходять з орбіти атомів, які таким чином стають іонами, а інші попадають на орбіту іона, переводячи його в нейтральний стан. Такий обмін електронами приводить до того, що місце знаходження позитивного іона постійно змінюється, а це виглядає таким чином, ніби перемістився позитивний заряд. Тобто, одночасно з переміщенням вільних електронів в напівпровідниках відбувається процес, який має характер переміщення позитивних зарядів.

Доки в напівпровідниках не діє зовнішнє електричне поле, обидва ці процеси мають хаотичний характер, так що в середньому кожному електрону, переміщеному в одному напрямі, відповідає переміщення електрона в протилежному напрямі. Цей процес відбувається і при переміщенні позитивних зарядів. Але при наявності електричного поля обидва ці процеси отримують свої напрями: вільні електрони рухаються проти поля, а позитивні іони – за полем. Обидва ці переміщення дають струм одного напрямлення – за полем. Схематично цей процес показано на рис. 2.11.

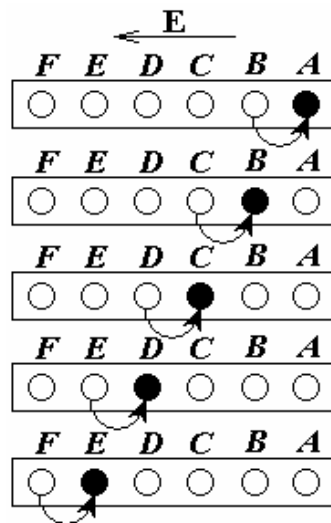


Рис. 2.11 – Схема діркової провідності у напівпровідниках:
○ – нейтральні атоми; ● – позитивний іон

Якщо уявити собі групу атомів напівпровідника, в одному місці якого з’явився позитивний іон A , то під дією сил електричного поля буде відбуватися перенесення електрона від B до A , потім від C до B , від D до C і т.п. (показано стрілками), а результатом цього буде переміщення позитивно заряджених іонів в зворотному напрямі – за полем.

Таким чином, у напівпровідникові має місце як рух вільних електронів проти електричного поля, так і перехід їх від нейтральних атомів до іонів, що виглядає як рух позитивних зарядів за напрямленням електричного поля.

Дуже часто, але не зовсім правильно, те місце напівпровідника, де замість нейтрального атома є позитивний іон, називають “діркою” і стверджують, що електричний струм відбувається частково в результаті руху вільних електронів проти напрямку поля, а частково – рухом “дірок” за полем. Необхідно тільки при цьому усвідомлювати, що практично завжди має місце тільки рух електронів. Переміщення зв’язаних електронів від атомів до іонів приводить до такого враження немов би рухаються позитивно зарядженні “дірки”.

Присутність навіть незначної кількості домішок значною мірою змінює властивості напівпровідників. В одних випадках вплив домішок призводить до того, що “дірковий” механізм електропровідності стає практично неможливим, і струм визначається тільки рухом вільних електронів. Такі напівпровідники називаються електронними або напівпровідниками n -типу (від слова негативний). В інших випадках неможливим стає рух вільних електронів, а струм забезпечується тільки рухом “дірок”. Ці напівпровідники називаються “дірковими” або напівпровідниками p -типу (від слова позитивний).

Розглянемо електричний стан провідника з домішками або напівпровідника при різних температурах на кінцях. Уявимо, що вільні електрони основного матеріалу поглинуті атомами домішки. Електрони гарячого кінця, які вийшли з валентної зони, теж поглинаються домішками.

За рахунок цього в атомах кінця провідника з'являться вільні від електронів місця – “дірки”, в які спрямовуються електрони сусідніх атомів.

Як результат, позитивно заряджені “дірки” зміщуються до холодного краю матеріалу. Це переміщення буде, доки позитивний заряд холодного кінця не врівноважить енергію теплового руху “дірок”.

Таким чином, на відміну від матеріалів з електронною провідністю, в матеріалах з дірковою провідністю холодний кінець отримує не негативний, а позитивний заряд. Величину цього заряду можна регулювати введенням в основний матеріал відповідних домішок.

Тепер розглянемо термопару, яка складається з матеріалів з електронною та дірковою провідністю при одному і тому самому перепаді температур на їх кінцях (рис. 2.12).

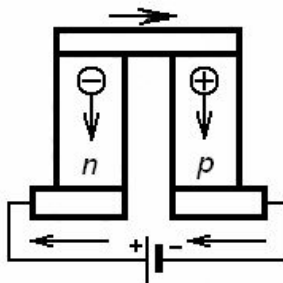


Рис. 2.12 – Схема термоелектричного холодильника

Матеріали n -типу мають електронну провідність, а p -типу – діркову. При нагріванні спаю температури ($t > t_0$) на холодному кінці матеріалу n -типу будуть накопичуватися негативні заряди, а типу p -типу – позитивні.

Тепер, якщо ми з'єднаємо холодні кінці термопари з гальванометром, електрони попрямують в дірки, і в електричному колі створиться терс.

Якщо ж, навпаки, при однаковій температурі спаю та вільних кінців ($t = t_0$), до останніх підвести джерело постійного струму з напрямом руху від напівпровідника n -типу до напівпровідника p -типу, то вільні електрони в напівпровіднику n -типу будуть зміщуватись від спаю до плюса зовнішнього електричного поля.

Валентні електрони напівпровідника p -типу, які не поглинуті атомами домішки, будуть зміщуватися через комутаційну пластину 1 до напівпровідника n -типу, а утворені позитивні заряди (дірки) будуть зміщуватися в напрямі зовнішнього електричного поля до мінуса джерела струму, тобто до нижніх комутаційних пластин.

Температура верхньої комутаційної пластини в зв'язку з відведенням від неї енергії буде знижуватися (ефект Пельтьє) і поглинати температуру з навколишнього середовища. Чим більше за одиницю часу відійде від верхньої комутаційної пластини зарядів і чим більша їх рухомість, тим нижче буде температура зовнішньої поверхні пластини і відповідно більша продуктивність термопари.

При зміні полярності підведеного джерела постійного струму електрони n -типу напівпровідника зміщуються вгору до комутаційної пластини, намагаючись перейти до плюса зовнішнього електричного поля. Назустріч їм від напівпровідника p -типу будуть рухатися позитивні заряди. На комутаційній пластині ці різнойменні заряди будуть зіштовхуватись, що буде супроводжуватися виділенням теплової енергії Пельтьє.

2.5.2. Термоелектричні холодильні машини

Термоелемент (рис. 2.13) можна розглядати як ідеальну холодильну машину, якщо не враховувати незворотні процеси переходу теплоти від гарячих спаїв до холодних і виділення теплоти Джоуля. Прямокутні бруски 2 з напівпровідників з електронною ($-$) та дірковою ($+$) провідністю називають гілками, а комутаційні пластини $1, 3$ – спаями термоелемента (рис. 2.13, а).

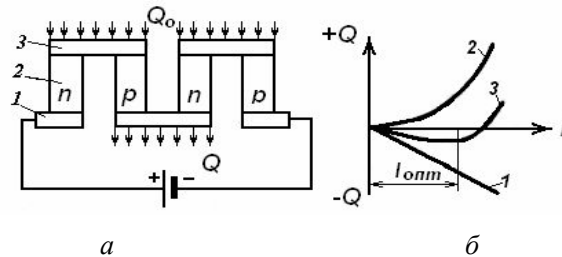


Рис. 2.13 – Схема термобатареї (а) і залежність теплоти Q від струму I (б)

Холодоагентом такої холодильної машини є електронний газ. Стан електричного газу в різних ділянках електричного кола термоелемента різний. На спаях термоелемента поглинається та виділяється теплота Пельтьє, а в гілках – теплота Томпсона.

На холодному спаї термоелемента кількість теплоти Пельтьє, яке поглинається, буде:

$$Q_n^0 = eT_x I,$$

а теплота, яка виділяється на гарячому:

$$Q_n^z = eT_z I,$$

де e – коефіцієнт термоелемента; T_x , T_z – абсолютна температурна холодного та гарячого спаїв, K ; I – сила струму, A .

Якщо уявити, що гілки термоелемента адіабатично ізольовані і теплообмін з навколишнім середовищем відбувається тільки на спаях, то відповідно до першого закону термодинаміки різниця:

$$Q_n^r - Q_n^0 = L,$$

дорівнює роботі L , яку виконує струм (потужність, яку споживає термоелемент).

В реальному термоелементі частина теплоти Q_T , яка виділялась на гарячому спаї, повертається до холодного за рахунок теплопровідності. Крім того, в гілках термоелемента виділяється теплота Джоуля $Q_{ДЖ}$, половина якого поступає на гарячий спай, а друга – на холодний.

З врахуванням незворотності процесів, кількість теплоти Пельтьє для холодного спаю термоелемента (холодопродуктивність):

$$Q_0 = Q_n^0 - Q_m - 0,5Q_{ДЖ},$$

а для гарячого:

$$Q_r = Q_n^z - Q_m + 0,5Q_{ДЖ}.$$

Робота, яку виконує струм $E = e(T_r - T_x)$, з урахуванням теплоти Джоуля, що виділяється на гілках термоелемента:

$$L = Q_n^z - Q_n^0 + Q_{ДЖ} = e \cdot I(T_z - T_x) + I^2 \cdot R.$$

Кількість теплоти, яку необхідно відвести від гарячого спаю (в будь-якому режимі роботи): $Q_r = Q_0 + L$.

Енергетичним показником термоелемента є його холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{L}.$$

Таким чином, при протіканні постійного струму через термобатарею між комутаційними пластинами виникає перепад температур $(t - t_0)$, який обумовлений поглинанням в спаї 3 та виділенням в спаї 1 теплоти Пельтьє. Оскільки теплота Пельтьє пропорційна струму живлення в першому степені, то на графіку Q_n – пряма лінія 1 (див. рис. 2.13, б).

При протіканні постійного струму через холодні спаї буде виділятися теплота Джоуля $Q_{дж} = I^2 \cdot RT$. Як показали досліди, на долю холодних спаїв приходить приблизно половина загальної теплоти Джоуля, тобто:

$$Q_{дж} = \frac{1}{2} Q'_{дж}.$$

Оскільки $Q_{дж}$ пропорційна струму в другій степені, то функція $Q_{дж} = f(I)$ буде виражена параболою другого порядку (крива 2, див. рис. 2.13, б).

Сумарні дії на холодному спаї Q_n та $Q_{дж}$ відображаються лінією 3, тобто алгебраїчною сумою $Q_n + Q_{дж}$ відповідних ординат. Отримана крива $\Sigma Q = f(I)$ має точку максимуму ΣQ_{max} при оптимальному значенні струму живлення I_{opt} . Це значення можна визначити, якщо взяти похідну $\frac{d\Sigma Q}{dI}$ та прирівняти її до нуля:

$$\Sigma Q = \Pi I - \frac{1}{2} I^2 R, \quad (2.33)$$

$$\frac{d\Sigma Q}{dI} = \Pi - IR = 0.$$

$$\text{Тоді } I_{opt} = \frac{\Pi}{R}.$$

$$Q_{max} = \Pi \frac{\Pi}{R} - \frac{1}{2} \left(\frac{\Pi}{R} \right)^2 \cdot R = \frac{\Pi^2}{R} - \frac{1}{2} \frac{\Pi^2}{R} = \frac{1}{2} \frac{\Pi^2}{R}. \quad (2.34)$$

Тут R – загальний омичний опір термоелемента $R = l \left(\frac{\rho_1}{s_1} + \frac{\rho_2}{s_2} \right)$; l – сумарна довжина

термоелемента; s_1, s_2 – площі поперечних перерізів термоелементів n - та p -типів; ρ_1, ρ_2 – питомий опір матеріалів відповідних термоелементів.

Оскільки комутаційні пластини виготовлені з матеріалів, які мають незначний опір електричному струму, то його можна не враховувати.

З отриманого виразу для I_{opt} зрозуміло, що для збільшення значень $(Q_n + Q_{дж})_{max}$ загальний омичний опір термобатареї необхідно зменшувати.

При відомих матеріалах термобатареї омичний опір може бути зменшеним за рахунок збільшення перерізів s_1 і s_2 та зменшення сумарної довжини термоелементів, тобто за рахунок збільшення поверхні теплопередачі. Однак, це призведе до збільшення теплоприпливу від гарячих до холодних спаїв, і, як результат, до зменшення холодильного коефіцієнта. Тому зменшення омичного опору доцільно тільки до певної межі.

Загальне рівняння теплового балансу холодних спаїв термобатареї можна записати в наступному вигляді:

$$Q_0 + Q_T + Q_{дж} = Q_n, \quad (2.35)$$

де Q_0 – кількість теплоти, яка забрана холодними спаями з камери протягом часу, тобто холодопродуктивність батареї; $Q_T = \chi (t - t_0)$ – кількість теплоти, яка підведена до холодних спаїв

за рахунок природного теплоприпливу від гарячих спаїв; $\chi = \frac{1}{l} (\chi_1 \cdot s_1 + \chi_2 \cdot s_2)$ – узагальнений

коефіцієнт теплопровідності термоелемента; χ_1, χ_2 – коефіцієнти теплопровідності n - і p -елементів.

У рівнянні теплового балансу не врахована теплота Томпсона, тому що вона відносно мала. З рівняння (2.35):

$$Q_0 = \Pi I - \frac{1}{2} I^2 R - \chi(t - t_0). \quad (2.36)$$

Підставимо замість I значення I_{opt} і отримаємо:

$$Q_{max} = \frac{I \Pi^2}{2 R} - \chi(t - t_0). \quad (2.37)$$

З отриманого рівняння видно, що холодопродуктивність значною мірою залежить від коефіцієнта Пельтьє.

2.6. Абсорбційні холодильники

Абсорбційні холодильні агрегати розраховуються на роботу при температурі навколишнього середовища $+32$ °С. Деякі закордонні фірми (“Snaige”, “Electrolux”) випускають побутові абсорбційні холодильники для роботи в умовах тропіків при температурі навколишнього середовища $40 \dots 45$ °С.

Основними елементами абсорбційного агрегату (рис. 2.14) є генератор 2, який містить в собі жарову трубу 4 та термосифонну трубу 3, що виконує роль насоса; дефлегматор 1; конденсатор пари аміаку 12; попередній охолоджувач рідинного аміаку 11; випарник морозильного відділення 10; газовий теплообмінник 9, який складається з верхньої та нижньої частин; випарник основної холодильної камери 8; абсорбер 7; резервуар для збагачення розчину 6; рідинний теплообмінник 5, а також не позначені на схемі лінії байпаса від попереднього охолоджувача до нижньої частин газового теплообмінника та лінії охолодження водню з лінією очистки від пари води.

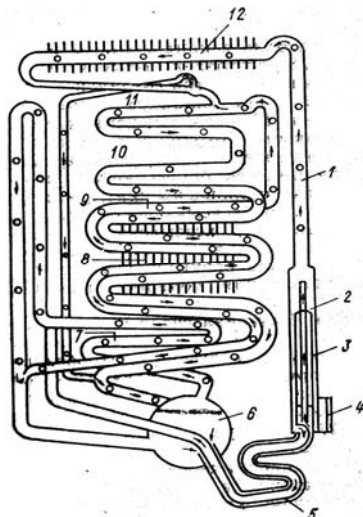


Рис. 2.14 – Схема абсорбційного агрегату

Розглянемо основні процеси, які протікають в холодильному агрегаті.

Робота абсорбційного холодильника основана на властивості води поглинати значні кількості аміаку, який знаходиться при низьких температурі і тиску, та віддавати аміак при високих температурі і тиску, а також можливості конденсації пари аміаку в замкненій системі

при тиску 2,5 МПа і зниженні температури до 45...50 °С та подальшому випаровуванні його за допомогою інертного газу для отримання низьких температур з поглинанням необхідної кількості теплоти з морозильної та холодильної камер.

Циркуляція рідини. Резервуар 6 агрегату заповнюється приблизно одним літром 35-відсоткового розчину аміаку. Розчин є бінарною сумішшю. Він поступає з резервуара 6 через рідинний теплообмінник 5 до генератора 2 (див. рис. 2.14).

За рахунок теплоти, що підводиться до жарової труби 4 від електронагрівача, температура розчину підвищується. Аміак википає з бінарного розчину в першу чергу, як компонент, який має меншу температуру кипіння. В термосифонній трубці 3 виникає рух бінарного розчину. Парові бульбашки, що піднімаються вгору, проштовхують поперед себе невеличкі порції розчину. Збіднілий аміаком розчин стікає в генератор 2, де при температурі 180 °С збіднюється до такого стану, що кількість аміаку в ньому зменшується до 10 %. З генератора 2 цей розчин внутрішньою трубкою рідинного теплообмінника 5 попадає в абсорбер 7, яким рідина стікає в резервуар 6.

Кругообіг аміаку. Пари аміаку, що виділились в генераторі з температурою 150...170 °С, мають в собі деяку кількість водяної пари, яка при зниженні температури відокремлюється в дефлегматорі 1, звідтіля стікає у внутрішню трубку генератора. Практично чиста пара аміаку з температурою біля 70 °С попадає в конденсатор 12 з розвинутою зовнішньою поверхнею теплообміну, де при зниженні температури до 45...50 °С починається процес конденсації. Після конденсації рідинний аміак продовжує охолоджуватися за рахунок теплообміну, і на виході з конденсатора 12 його температура незначно перевищує температуру навколишнього середовища.

Потім рідинний аміак через попередній охолоджувач 11 поступає в змійовик морозильного відділення 10. Діаметр трубки попереднього охолоджувача менше за діаметр випарника морозильника, тепловіддача в ньому проходить доволі інтенсивно, а тому температура аміаку на вході у випарник не перевищує температуру навколишнього середовища.

Циркуляція водню та аміаку. Як інертний газу, який сприяє інтенсивному випаровуванню аміаку, використовують водень. У випарнику морозильного відділення 10 водень знаходиться над поверхнею випаровування. Температура при цьому знижується до -30 °С (температура кипіння аміаку -33,6 °С). При загальному тиску в системі 2,5 МПа парціальний тиск аміаку дорівнює 0,1 МПа, а тиск водню - 2,4 МПа.

Протягом всієї довжини випарника парціальний тиск аміаку та температура випаровування підвищується дуже повільно. Після верхньої частини газового теплообмінника перед випарником холодильної камери парціальний тиск аміаку дорівнює 0,3 МПа. У випарнику холодильної камери 8 аміак повністю випаровується. Питома маса суміші пари аміаку та водню більше питомої маси чистого водню, в зв'язку з чим газова суміш опускається в нижню гілку газового теплообмінника, проходить в резервуарі 6 над поверхнею збагаченого розчину та попадає в абсорбер 7, де рухається назустріч збідненому розчину, який перетікає в резервуар. Абсорбер має розвинуту поверхню теплообміну, його температура незначно перевищує температуру навколишнього середовища. Збіднений розчин залишається відносно холодним, що забезпечує активну абсорбцію ним пари аміаку та збагачення нею до 30...35 %. З верхньої частини абсорбера практично чистий та незначно підігрітий водень попадає в охолоджувач, в нижній частині якого додатково очищується від пари води, потім рухається в газовий теплообмінник 9, де додатково охолоджується та, нарешті, повертається на вхід випарника морозильного відділення. В подальшому процес повторюється знову.

Для підвищення енергетичних показників (холодильного коефіцієнта) трубки газового теплообмінника мають внутрішню насічку, що забезпечує інтенсифікацію випаровування за рахунок капілярного ефекту. Крім того, трубки мають в перерізі овальну форму, за рахунок чого теплопередача між ними проходить по площині, тим самим значно підвищується коефіцієнт теплопередачі (з одиниці до десяти).

Загальним для всіх абсорбційно-дифузійних агрегатів є постійний вихід флегми з випарника в абсорбер.

Розташування апарата по висоті повинно забезпечувати постійний рух робочих речовин (паро-рідинних агентів). На самому високому рівні розташований конденсатор, нижче під ним – випарник, а потім – абсорбер. При такому розташуванні забезпечується постійний вихід холодоагенту і флегми.

Для забезпечення постійної циркуляції “бідного” розчину кип’ятильник встановлюється таким чином, щоб його робочий рівень був вище верхньої точки абсорбера. Теплообмінник розташовують під абсорбером і кип’ятильником. Подача “багатого” розчину з абсорбера в кип’ятильник забезпечується термосифоном за рахунок різниць питомої маси холодного багатого розчину і емульсії, що утворюється при кипінні в кип’ятильнику.

Газовий теплообмінник розташований між випарником і абсорбером, що забезпечує постійний рух холодного насиченого аміаком аміачно-водневого розчину в абсорбер. Акумулятор водню, як правило, розташовують у верхній частині агрегату.

Таким чином, в абсорбційних холодильниках теплота відбирається від середовища, яке охолоджується при кипінні холодоагенту, та передається за межі камери. Як холодоагент в абсорбційних холодильниках використовують аміак, пару якого абсорбують водою з створенням аміачно-водневого розчину.

2.7. Побутові морозильники

Побутові морозильники призначені для швидкого заморожування продуктів при температурі від $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ та тривалого зберігання заморожених продуктів при температурі $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Морозильники слід використовувати в приміщеннях з температурою не вище $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ та розташовувати на віддаленні від гарячих джерел.

Морозильники виготовляють у вигляді морозильної шафи, в якій розташована камера з висувними корзинами. Холод для заморожування та зберігання продуктів в морозильнику забезпечується за рахунок герметичного холодильного агрегату. Теплоізоляцію шафи та дверей забезпечує пінополіуретан. Двері в закритому стані щільно прилягають до шафи за рахунок магнітної вставки, яка розташована в еластичному ущільнювачі.

На передній панелі морозильника розташований блок керування та сигналізації, перемикач, який має стани: “заморожування” або “1” та “зберігання” або “2”. Морозильник має світлову сигналізацію: зелене світло горить постійно і є підтвердженням включення в електромережу, синій (оранжевий) починає горіти при переключенні морозильника на режим заморожування, червоний (аварійний) починає горіти автоматично при температурі в морозильній камері $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ та вище.

Холодильний агрегат морозильника (рис. 2.15) складається з кулісного мотор-компресора 1, конденсатора 4, капілярної трубки 8, випарника 5 та докипателя 6. Холодоагентом є R-134^a або суміш R-134^a та R-600. Випарник 5 морозильника трубчастий, багатосекційний (за числом корзин в камері), розташований по всій висоті морозильної камери.

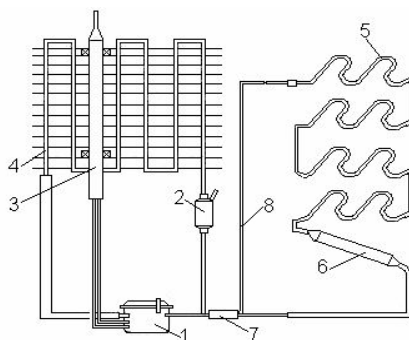


Рис. 2.15 – Схема холодильного агрегату морозильника

Кожна секція випарника складається з певним чином вигнутих алюмінієвих трубок (змійовик), які прикріплені затискачами до металевого листа. Конденсатор 4 холодильного агрегату – ребристотрубний. Холодильний агрегат морозильника має цеолітовий патрон-осушувач 2 зі спеціальним патрубком для двостороннього вакуумування агрегату перед заправкою хладоном.

У докипателі 6 докипає хладон, який не встиг випаруватись у випарнику. Повне википання хладону в докипателі перед компресором сприяє підвищенню к.к.д. агрегату. Для охолодження мастила та хладону в компресорі 1 передбачена система охолодження 3, в якій суміш виходить за межі компресора, охолоджується та повертається знову в компресор за допомогою трубок (див. рис. 2.15), при цьому система залишається герметичною.

В режимі “заморожування” мотор-компресор працює безперервно протягом 12...24 год, потім робота його повторюється з коефіцієнтом робочого часу 0,6...0,7 для підтримання температури $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Порядок роботи морозильника такий: його включають в роботу в режимі “заморожування”, при цьому на світловому табло одночасно світяться всі три індикатори. Червоне світло автоматично вимикається при досягненні температури в камері $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Морозильник завантажують продуктами через 12 год після включення в електромережу. Тривалість заморожування залежить від кількості продуктів, фасування та пакування (від 6 до 65 год). Перше завантаження до 25 кг на добу, всі наступні – до 5 кг на добу.

Після закінчення заморожування (коли вмикається червоне світло), встановлюють перемикач на режим “збереження”, при цьому вмикається синє світло (у багатьох моделях процес перемикання відбувається автоматично).

2.8. Багатокамерні холодильники

Дво- та трикамерні холодильники поєднують в собі функції холодильника і морозильника, тому що одна (дві) камера призначена для короткочасного збереження свіжих продуктів, а друга – для тривалого збереження заморожених продуктів. Ці холодильники об’ємом зазвичай від 200 до 400 дм³. Конструктивно такі холодильники виконують у вигляді шафи з двома або трьома самостійними камерами, які охолоджуються від холодильного агрегату. Холодильну камеру зазвичай виготовляють з міцного полістиролу, а морозильну – з алюмінієвого сплаву. У холодильній камері встановлюють регульовані за висотою полиці, а в морозильній камері – висувні ґратчасті металеві корзини.

Обидві камери мають окремі двері, які ущільнені з корпусом за допомогою магнітних ущільнювачів. Агрегат двокамерного холодильника є герметичною двокамерною системою з двома випарниками. Принципова схема системи охолодження зображена на рис. 2.16.

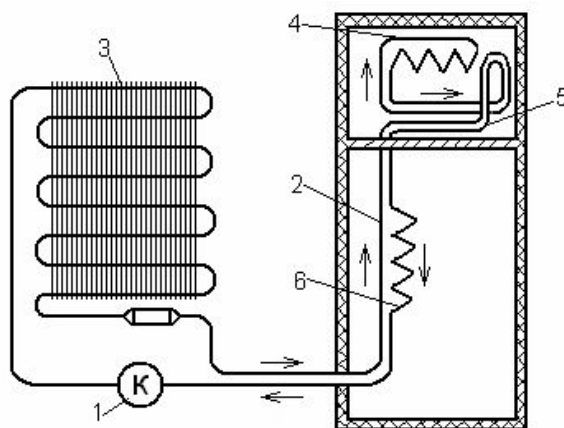


Рис. 2.16 – Схема двокамерного холодильника з верхнім розташуванням морозильної камери

Від компресора 1 газоподібний хладон подається в конденсатор 3, де відбувається його конденсація. Потім рідинний хладон проходить капілярну трубку 2 і під тиском 0,1 МПа поступає у випарник 4 морозильної камери. Випарники морозильної 4 та холодильної 6 камер з'єднанні переливною трубкою 5, виконаною у вигляді сифона з гідрозатвором, яка утворює з капілярною трубкою регенеративний теплообмінник. Конструкція теплообмінника забезпечує охолодження випарника морозильної камери переважно рідинним холодоагентом, а випарника холодильної камери – паром, що призводить до відтанення (без нагрівачів) випарника холодильної камери. Регенеративний теплообмінник переохолоджує холодоагент, що поступає по капілярній трубці у випарник морозильної камери, та збільшує його питому холодопродуктивність.

Температурний режим в морозильній камері забезпечує об'ємний випарник, а в холодильній камері – плоский. В обох випадках холодоагент підводять зверху, а рух його вниз здійснюється самопливом та супроводжується проміжним відбором пари.

В двокамерних холодильниках ефективно застосування багатокомпонентного холодоагенту з суміші декількох однорідних холодоагентів, в якому фракція з меншою температурою кипіння “випає” у випарнику морозильної камери. Застосування багатокомпонентного холодоагенту в одноагрегатних двокамерних холодильниках забезпечує збільшення холодопродуктивності холодильного агрегату і нормальну роботу холодильної та морозильної камер при різних теплових навантаженнях.

Конструкція таких двокамерних холодильників має нижнє розташування морозильної камери (рис. 2.17). При цьому, з одного боку, задовольняються ергономічні вимоги (продукти, що рідше використовуються, розташовуються в незручному місці) і, з іншої сторони, зменшується теплоприплив через стінку морозильної камери холодильника, що розташована в нижній, найхолоднішій частині приміщення.

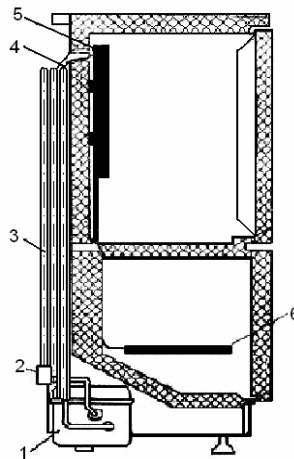


Рис. 2.17 – Схема двокамерного холодильника з нижнім розташуванням морозильної камери

При роботі компресора 1 холодоагент нагнітаючим трубопроводом через конденсатор 3, фільтр-осушувач 2, капілярну трубку 4 і регенеративний теплообмінник-випарник холодильної камери 5 подається у випарник морозильної камери 6, де частково “кипить”, компенсуючи теплоприпливи через стінку низькотемпературної камери. Випаровування холодоагенту закінчується в регенеративному теплообміннику-випарнику камери 5, звідки холодоагент, який відбирає теплоту від прямого потоку, поступає в компресор 1 для повторного стискування.

Температурний режим в камері холодильника підтримує терморегулятор, чутливий елемент якого встановлений на випарнику холодильної камери. При збільшенні теплового навантаження на випарник морозильної камери, що пов'язано з завантаженням холодильника теплими продуктами, в каналах випарника відбувається більш повне “випарання” холодоагенту. Це зменшує кількість скрапленого холодоагенту, який поступає у випарник холодильної камери.

Температура в холодильній камері не підвищується, тому що зменшення кількості рідинного холодоагенту компенсується безперервною роботою компресора. По мірі охолодження та заморожування продуктів температура випарника і холодильної камери знижується. Терморегулятор вимикає холодильний агрегат, що виключає можливість зниження температури в холодильній камері нижче 0 °С.

Багатокамерні холодильники складніше однокамерних, тому що вони поєднують в собі одночасно і холодильник, і морозильник, що потребує ускладнення системи сигналізації та керування. При включенні холодильника в мережу загоряється зелена лампочка на панелі світлової сигналізації, яка свідчить про включення холодильника в мережу. Червона лампочка загоряється автоматично при температурі в морозильній камері –15 °С.

Температурний режим в камерах холодильника встановлюють шляхом повороту ручки терморегулятора до суміщення відмітки з обраною рисою на шкалі температурних режимів. При розташуванні ручки терморегулятора на першій рисці встановлюється найбільша температура в камерах, а на останній рисці – найнижча (максимальний холод). Оптимальний температурний режим збереження продуктів підбирається залежно від завантаження холодильника і температури навколишнього середовища. Зазвичай установка починається з середньої риси, потім при надмірному охолодженні ручка переводиться в діапазон перших рисок, а при недостатньому охолодженні – в діапазон останніх. При середньому завантаженні холодильника та температурі навколишнього середовища 25 °С оптимальному режиму збереження продуктів відповідає установка відмітки ручки терморегулятора в діапазоні середньої риси.

Для якісного заморожування продуктів, призначених для довготривалого збереження, їх завантажують у морозильну камеру частинами не більш 4,5 кг на добу, потім ручку терморегулятора повертають на дві риси за годинниковою стрілкою від установки її в режимі збереження. Натисканням на перемикач режимів включають режим заморожування (загоряється індикаторна лампочка, вмонтована в перемикач). Через 24 год після останнього завантаження продуктів холодильник виводять з режиму заморожування натиском на перемикач режимів. При цьому індикаторна лампочка, що вмонтована в перемикач, гасне. Ручку терморегулятора повертають у первісне положення поворотом на дві риси проти годинникової стрілки.

Танення снігового покриву з випарника холодильної камери відбувається автоматично в період зупинки компресора за допомогою нагрівача, що встановлений на поверхні випарника. В процесі танення випарник покривається краплями води, які каналом водовідвідної системи стікають у бак для талої води, що змонтований біля компресора за межами холодильної камери.

Розділ 3

МАШИНИ ДЛЯ ПРИБИРАННЯ ПРИМІЩЕНЬ

3.1. Фізико-механічні основи вакуумного збирання пилу

Під час дослідження процесу вакуумного збирання пилу доречно розглянути взаємодію частинки пилу, поверхні та повітряного потоку, що транспортує частинку.

На частинку, що знаходиться на поверхні, діють сила адгезії F_{ad} і сила тяжіння частинки G . Адгезію у даному випадку потрібно розглядати як взаємодію мікрочастинки з твердою поверхнею, обумовлену силами, що залежать від властивостей тіл, що контактують. Крім того, необхідно враховувати також властивості навколишнього середовища. Адгезія у повітряному (газовому) середовищі суттєво залежить від його параметрів, особливо вологості.

У загальному випадку силами, що складають адгезію, є молекулярні сили F_m , електричні F_e , кулонівські F_3 і капілярні F_k :

$$F_{ad} = F_m + F_e + F_3 + F_k. \quad (3.1)$$

Молекулярна складова характеризується силами Ван-дер-Ваальса, дія яких визначається до безпосереднього контакту частинки з поверхнею. Ця сила обумовлена властивостями частинки і поверхні, що контактують, і залежить від розмірів частинки, жорсткості поверхні та площі контакту.

Вважаючи, що частинка має форму кулі, а поверхня – площини, молекулярні сили можна визначити за формулою:

$$F_m = \frac{A \cdot r_1}{6 \cdot H^2}, \quad (3.2)$$

де A – сила Ван-дер-Ваальса, що є функцією числа молекул в 1 см^3 речовини; r_1 – радіус частинки; H – відстань між частинкою і поверхнею.

Очевидно, що сила молекулярної взаємодії суттєво залежить від величини зазору, що розділяє частинку і поверхню.

Електричні сили F_e виникають при контакті частинки з поверхнею і залежать від властивостей тіл, що контактують. Величина їх тим більша, чим більша контактна різниця потенціалів. Ці сили пропорційні також площі контакту і розраховуються з виразу:

$$F_e = 4 \cdot \pi \cdot S \cdot q^2, \quad (3.3)$$

де S – площа контакту частинки з поверхнею; q – заряд частинки під час відривання її від поверхні.

Кулонівські сили F_3 проявляються в тих випадках, коли частинки попередньо заряджаються під дією поля високої напруги. Вони обумовлюють взаємодію заряджених частинок з поверхнею, коли є деякий зазор між поверхнею і частинкою. Силу адгезії за рахунок кулонівської взаємодії визначають за формулою:

$$F_3 = \frac{Q^2}{l^2}, \quad (3.4)$$

де Q – заряд частинки; l – відстань між центрами зарядів

або

$$F_3 = \frac{Q^2}{(12 \cdot r_1 \cdot H)}. \quad (3.5)$$

Коли осадження частинок пилу відбувається на ворсовану поверхню, наприклад, килим з розрізним V-подібним ворсом, можна розглядати взаємодію між наелектризованою ворсиною з діелектричною проникністю ϵ_2 і частинкою з діелектричною проникністю ϵ_1 (рис. 3.1).

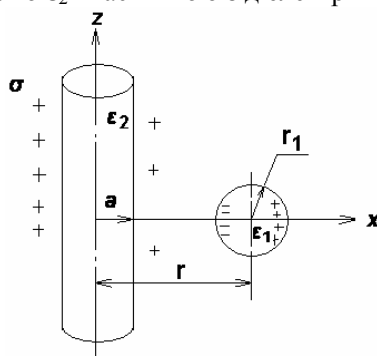


Рис. 3.1 – Схема взаємодії між наелектризованою ворсинкою і частинкою

Вважаючи електричну ворсинку циліндром, зарядженим до деякого потенціалу ϕ з поверхневою густиною σ , визначасмо напруженість поля, що створюється ним:

$$E_0 = -\text{grad}\phi. \quad (3.6)$$

Потенціал поля у будь-якій точці поза зарядженим циліндром буде визначатись рівнянням:

$$\phi = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \sigma}{\epsilon} \cdot \ln \frac{r}{a} + C, \quad (3.7)$$

де ϵ – діелектрична проникність повітря; r – відстань між центрами циліндра і частинки; a – радіус циліндра; C – стала.

Знаходячись у такому полі, діелектрик буде поляризованим. У результаті поляризації частинки виникає дипольний момент P_d , що визначається формулою:

$$P_d = r_1^3 \cdot \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_2 + 2} \cdot E_0. \quad (3.8)$$

Сила взаємодії між зарядженим циліндром і поляризованою частинкою у неоднорідному полі буде дорівнювати:

$$F_3 = r_1^3 \cdot \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_2 + 2} \cdot \frac{d}{dr} \left(\frac{E_0^2}{2} \right). \quad (3.9)$$

Для випадку, коли частинка і циліндр перебувають у безпосередньому контакті, сила взаємодії становитиме:

$$F_3 = \frac{4 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot \sigma^2}{\epsilon} \cdot \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_2 + 2} \cdot \frac{r_1^3}{(a + r_1)^3}. \quad (3.10)$$

Капілярні сили F_k виникають при наявності капілярно конденсованої рідини в зазорі між частинкою і поверхнею. Дія капілярних сил проявляється тільки після осадження частинки і при відносній вологості повітря більше 65 %. У місці контакту частинки з поверхнею відбувається конденсація водяної пари.

При контакті частинки і елементарної ворсинки (рис. 3.2) водяний “манжет”, що утворився, характеризується відстанню x та подвійною кривизною R та r_m .

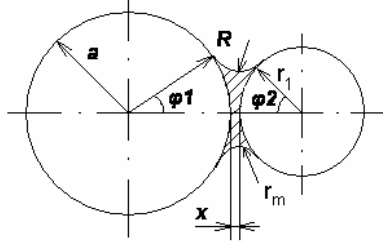


Рис. 3.2 – Схема взаємодії елементарної ворсинки з частинкою при наявності між ними капілярно конденсованої рідини

Тоді, згідно з формулою Лапласа, виникає статичний тиск, який викликає притягування частинки та ворсинки. Сила взаємодії визначається виразом:

$$F_k = \pi \cdot R^2 \cdot \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_m} \right). \quad (3.11)$$

При контакті частинки і пласкої площини сила взаємодії становить:

$$F_k = 4 \cdot \pi \cdot \delta \cdot r_1, \quad (3.12)$$

де δ – поверхневий натяг.

Цей вираз справедливий за умови повного змочування гладкої поверхні частинок відносно великого розміру.

Співвідношення складових сил адгезії з радіусом частинок r_1 наступні:

$$F_m \sim r_1; F_e \sim r_1^{2/3}; F_s \sim 1/r_1; F_k \sim r_1(1-r_1^{x-1}).$$

Окремі складові сил адгезії можуть переважати у деяких випадках. Так, у випадку, коли частинки попередньо заряджуються (в електрофільтрах, при електросепарації, під час розпилення у полі високої напруги і т. п.), електричні сили, що виникають за рахунок заряду частинок, здійснюють найбільш значний вплив на адгезійну взаємодію. Незначний прошарок між частинкою і поверхнею виключає, або у значній мірі послаблює дію електричних сил. Спільна дія капілярних і електричних сил практично виключена.

У повітряному середовищі при вологості більше 65 % капілярні сили переважають над іншими складовими сил адгезії. Якщо частинки сильно заряджені, величина кулонівських сил переважає інші сили, що складають адгезію. Під час вакуумного прибирання відривання частинок пилу забезпечується тиском потоку повітря, механічним впливом конструктивних елементів насадки або сумісною дією обох факторів.

Відрив частинки пилу залежить від величини і напрямку дії сили, прикладеної до частинки. Під час дії повітряного потоку на горизонтальну: запилену поверхню на частинку діють сили адгезії $F_{ад}$, сила тяжіння частинки G , що утримують її на поверхні, а також сила підйому $F_{під}$ і лобова сила взаємодії потоку – лобовий тиск $F_{лоб}$ (рис. 3.3).

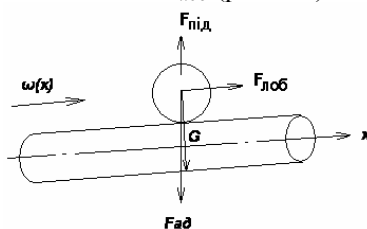


Рис. 3.3 – Схема взаємодії повітряного потоку і елементарної частинки

Умови відривання частинки можна виразити нерівністю:

$$F_{\text{лоб}} + F_{\text{нид}} \geq \mu(F_{\text{ад}} + G), \quad (3.13)$$

де μ – коефіцієнт тертя.

Лобовий тиск при обтіканні частинки повітряним потоком визначається за формулою:

$$F_{\text{лоб}} = C_x \cdot \gamma \cdot S \cdot \frac{V^2}{2}, \quad (3.14)$$

де C_x – коефіцієнт опору частинки; γ – густина повітря; S – переріз частинки; V – швидкість повітряного потоку.

При прикладенні сили до запиленої поверхні для відривання частинки необхідно, щоб $F_{\text{відр}} \geq F_{\text{ад}}$. При тангенціально направленій силі діє момент сили, тобто $M_{\text{відр}} = F_{\text{тан}} \cdot r_1$. Перед відриванням частинка буде котитися або ковзатися на поверхні, при цьому будуть долатися сили тертя. У реальних умовах ця сила може бути направлена під кутом до поверхні.

У загальному вигляді умови, за яких можливе відривання частинки від поверхні, виражаються наступною нерівністю:

$$F_{\text{відр}} \geq \beta \cdot F_{\text{ад}} + (1 - \beta) \cdot F_{\text{мп}}, \quad (3.15)$$

де $F_{\text{відр}}$, $F_{\text{ад}}$, $F_{\text{мп}}$ – відповідно сили відривання, адгезії і тертя; β – частина сил відривання, що йде на подолання сил адгезії.

При силі відривання, направленій перпендикулярно до поверхні, $\beta = 1$ і $F_{\text{відр}} \geq F_{\text{ад}}$. Якщо ж сила направлена тангенціально, то $\beta = 0$ і $F_{\text{відр}} \geq F_{\text{мп}}$.

Тертя частинок, що прилипли, при відсутності зовнішнього навантаження викликане адгезією:

$$F_{\text{мп}} = \mu \cdot F_{\text{ад}}, \quad (3.16)$$

тоді при $\beta = 0$ $F_{\text{відр}} \geq \mu \cdot F_{\text{ад}}$.

Співвідношення між нормальною і тангенціальною силами відривання можна пов'язати з розмірами частинок і площею їх контакту з поверхнею $S = \pi \cdot r_k^2$.

Виразимо силу відривання у вигляді добутку сили f , що припадає на одиницю площі контакту, на площу контакту частинки з поверхнею S для випадку нормального прикладення сил.

$$F_{\text{відр}} = \pi \cdot r_k^2 \cdot f. \quad (3.17)$$

Якщо уявити силу f як момент $F_{\text{тан}} \cdot r_1$, віднесений до зони контакту $\pi \cdot r_k^2 / 4$, то отримаємо:

$$f = \frac{4 \cdot F_{\text{тан}} r_1}{\pi \cdot r_k^2} \quad (3.18)$$

або

$$\frac{F_{\text{відр}}}{F_{\text{тан}}} = 4r_1.$$

3.2. Побутові електропилососи

Побутові електропилососи призначені як для прибирання приміщень, чищення одягу, килимів та м'яких меблів, так і для інших робіт, які можуть бути виконані з використанням розрідження або тиску повітря.

Конструктивно пилососи підрозділяють на прямоточні та вихрові.

Прямоточні пилососи мають горизонтально розташований корпус 4 (див. рис. 3.4, а), який закритий з двох сторін кришками 1 та 5, одна з яких знімна або відкидна, а друга – неру-

хома. В знімній кришці є вхідний отвір, а в нерухомій – вихідний. У корпусі розташовані фільтр-пилосбірник 2 та повітровсмоктувальний агрегат 3, які розділені захисною сіткою. Фільтр має форму мішка, через який проходить потік всмоктувального повітря. При роботі повітровсмоктувального агрегату пилоповітряна суміш втягується через вхідний отвір, проходить через фільтр-пилосбірник, де очищується від пилу, далі проходить через агрегат і виходить через відкритий отвір. Очищене від пилу повітря під час проходження поздовж агрегату охолоджує останній.

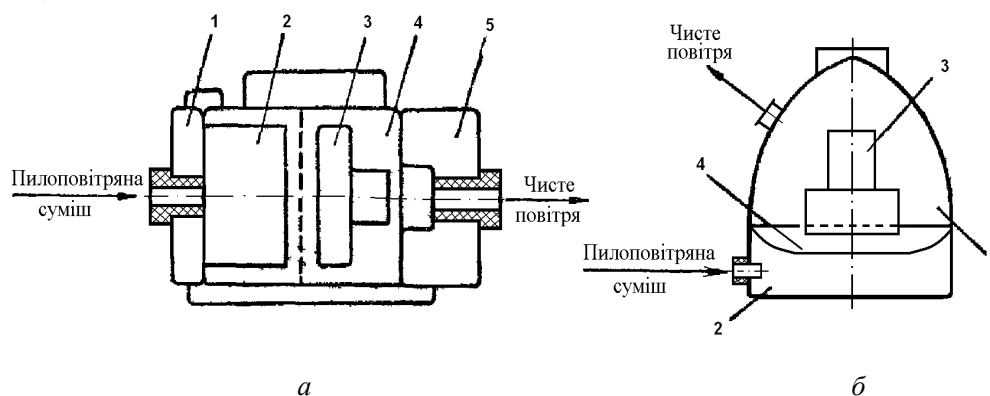


Рис. 3.4 – Схеми пилососів: а – прямоточний; б – вихровий

Вихровий пилосос (рис. 3.4, б) складається з корпусу, який має верхню 1 та нижню 2 частини, між якими розташоване ущільнююче гумове кільце. В нижній частині розташований фільтр 4, а у верхній – повітровсмоктувальний агрегат 3. Верхня і нижня частини герметично з'єднуються за допомогою спеціального замка. В нижній частині корпусу є всмоктувальний патрубок, конструкція якого забезпечує пилоповітряній суміші вихороподібний рух і очищення її від значних за розміром і масою частинок пилу та сміття, які осідають на дні пилосбірника. Далі пилоповітряна суміш проходить через фільтр поздовж агрегату і виходить через отвір у верхній частині корпусу.

Пилососи можуть бути ручними, або встановлюватися і переміщуватися на підлозі. Фільтри пилососів виготовляються з матеріалів, які мають мінімальний опір повітряному потоку, але мають ефективність затримання пилу не менше 97 %.

Повітровсмоктувальний агрегат складається з колекторного двигуна, який встановлений на гумових амортизаторах. На валу двигуна закріплені відцентровий вентилятор. У більшості пилососів застосовується двохступінчастий вентилятор, який складається з двох рухомих і однієї нерухокої турбін. Кожна турбіна має два металеві диски, які з'єднані між собою.

Двигун, що розвиває великі обороти, за допомогою вентилятора створює розрідження усередині корпусу пилососа і зі швидкістю 20...40 м/с всмоктує повітря через порожнисту щітку або насадку у вхідному отворі пилососа. Разом з повітрям всмоктується пил і дрібне сміття, які осідають в пилосбірнику.

У пилососах застосовують колекторні двигуни потужністю від 40 до 1500 Вт з частотою обертання до 20000 об/хв. У колекторних двигунах струм подається як в обмотки статора, так і в обмотку якоря. У якорі струм проходить через графітові електрощітки і колектор. Колектор являє собою барабан, що закріплені на валу якоря, і складається з мідних пластин, ізольованих одна від одної. До пластин припаюються кінці проводів обмоток якоря. Графітові щітки з пружинками встановлюються в спеціальні пази, де утримуються пластмасовими ковпачками, які регулюють притиснення щіток до поверхні колектора.

Для зменшення обгорання пластин колектора і зниження електричних перешкод, які є результатом іскріння на колекторі, до двигуна підключені конденсатори, схема з'єднання яких утворює пристрій для заглушення електричних перешкод.

Режим роботи двигуна короткочасний. Допустимий максимальний час роботи двигуна без перерви 30...50 хв, перерва – не менше 10 хв.

Аеродинамічні характеристики повітровсмоктувальних агрегатів пирососів можуть бути представлені графіком залежності величин статичного тиску $H_{ст}$, споживаної потужності P і статичного к.к.д. η від продуктивності Q для фактичних режимів роботи агрегатів (див. рис. 3.6).

Основні параметри повітровсмоктувальних агрегатів пирососів обчислюють за наступними формулами:

1) продуктивність:

$$Q = a \frac{\pi d^2}{4} K \sqrt{\eta_k \Delta}, \text{ м/с,}$$

де $K = 4,04$; $a = 0,985 \pm 0,005$ – коефіцієнт вимірювального колектора; d – діаметр вимірювального колектора, мм; η – виміряний в колекторі статичний тиск потоку, Па; Δ – поправковий коефіцієнт на нормальні атмосферні умови.

Нормальними атмосферними умовами вважаються атмосферний тиск $p_o = 760$ мм рт. ст. ($1,05 \cdot 10^6$ Па), температура $T_o = 293$ К (20 °С), відносна вологість $\phi = 50$ %;

2) величина середнього напрацювання відмов T_{cp} всмоктувального агрегату пирососа за тривалим режимом роботи:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

де n – кількість випробовуваних агрегатів; t_i – час випробування до моменту відмови i -го агрегату, у год.

При цьому тривалим режимом роботи агрегату вважається режим роботи з продуктивністю не меншій, ніж 70 % оптимального значення, який продовжується до тих пір, поки підвищення температури всіх частин агрегату досягне практично сталих значень за незмінною температурою охолоджуючого повітря. Оптимальними параметрами називаються значення продуктивності та статичного тиску, які відповідні максимальному значенню к.к.д. агрегату.

До основних техніко-економічних і експлуатаційних показників відносяться продуктивність, розрідження, яке забезпечується пирососом, пилоочисна спроможність, потужність.

Продуктивність роботи пирососів оцінюється кількістю відсмоктувальної пилоповітряної суміші. При визначенні технічних характеристик пирососів пилоповітряна суміш замінюється повітрям. Під терміном витрат повітря прийнято розуміти виражену у вагових або об'ємних одиницях кількість повітря, що протікає через певний переріз каналу за одиницю часу. Для визначення витрат повітря необхідно знати середню швидкість його потоку, яка, помножена на площу перерізу трубопроводу, і дає ту кількість, що протікає через трубопровід за одиницю часу.

Витрати повітря в об'ємних одиницях:

$$Q = F \cdot V, \text{ м}^3/\text{с,}$$

де F – переріз каналу, м^2 ; V – середня швидкість газу, м/с .

Витрати повітря у вагових одиницях:

$$Q = F \cdot \gamma \cdot V, \text{ кг/с,}$$

де γ – густина газу, кг/м^3 .

Найпростіше величину швидкості потоку можна знайти за наявності даних виміряного тиску за формулою:

$$v = \alpha \sqrt{2gH_o} = \alpha \sqrt{\frac{p - p_1}{\gamma}},$$

де α – коефіцієнт аеродинамічного опору; H_d – динамічний тиск, м; $p - p_1$ – перепад тиску до і після дросельного пристрою відповідно, Н/м².

Для визначення динамічного тиску необхідно виміряти різницю повного і статичного тиску. Повний тиск p_n може бути виміряний трубкою Піто, встановленою за напрямом руху потоку, а статичний тиск p_c – через отвір в стінці труби (рис. 3.5). Приєднавши обидві трубки до мікроманометра, можна виміряти динамічний тиск.

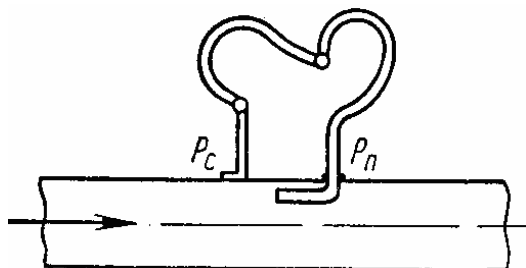


Рис. 3.5 – Схема вимірювання динамічного тиску трубкою Піто

Розрідженням, яке забезпечується пиლოსосом, вважається зменшення густини і, відповідно, тиску, які утворилися в результаті того, що в системі вентиляції під час роботи безперервно утворюється перепад тиску, при цьому повітря постійно викидається на зовні, а на його місце поступають нові порції.

Розрідження, яке утворюється в пиლოსосі, є одним з основних технічних показників функціонального призначення. Під час оцінювання якості побутових пиლოსосів їх порівняння проводять за максимальним розрідженням, яке може бути досягнуте в цій конструкції при закритому всмоктувальному отворі.

Пилоочисною спроможністю пиლოსосів називають їх ефективність очищення від пилу певної поверхні протягом заданого числа циклів. Виражається ефективність очищення у вигляді відсоткового відношення кількості внесеного і зібраного пилу.

За цикл приймається один подвійний рух насадки (щітки) – вперед і назад. Пилоочисну спроможність визначають на різних поверхнях (килими з різною висотою ворсу, тверді гладенькі підлоги, оббивка меблів, тверді підлоги з вибоїнами та тріщинками). При цьому використовуються спеціальний зернистий пил певного розміру та складу.

Для визначення витрат повітря і розрідження використовують спеціальну камеру всмоктування, яка має дросельний пристрій для регулювання витрат повітря. Пиლოსос герметично з'єднаний з камерою всмоктування: при визначенні витрат повітря – без шланга при повністю відкритому дроселі, а при визначенні розрідження – зі шлангом при повністю перекритому дроселі.

Пилоочисна спроможність пиლოსоса визначається виразом:

$$П = m_1/m \cdot 100, \%$$

де m_1 – маса зібраного пилу; m – маса нанесеного пилу певної дисперсії на заздалегідь оброблену ділянку підлоги або килима.

Пилоочисна спроможність є однією з основних експлуатаційних характеристик. Для її оцінювання вводять два показники: пилоочисну спроможність при обробці підлоги і при обробці килимів. За стандартом пилоочисна спроможність при обробці підлоги повинна бути не менше 85 %, а для килимів – не менше 70 %.

Під **продуктивністю пиლოსоса** розуміється кількість пилоповітряної суміші в літрах, що проходить за одиницю часу (хвилину) через фільтруючі пристрої пиლოსосів. Продуктивність залежить від геометричних розмірів пиლოსоса, швидкості обертання електродвигуна і величини запиленості повітря.

Ефективність використання енергії оцінюється коефіцієнтом корисної дії, який визначається відношенням потужності повітряного потоку до потужності на валу пилососа у відсотках. Ефективна номінальна потужність пилососа – це споживана потужність, що розрахована як середньоарифметична величина потужності, споживаних пилососом при закритому і відкритому всмоктувальному отворі.

Стандарт на електричні пилососи рекомендує основні визначення і розрахункові формули для побудови характеристик при перевірці пилососів:

1) ефективним навантаженням вважається тривале навантаження на пилосос з чистим тканим фільтром і приєднувальною шлангом. При номінальній напрузі пилосос повинен споживати середню потужність, яка дорівнює півсумі потужностей при повністю закритому і повністю відкритому вхідному отворі;

2) потужність визначають при номінальній напрузі і частоті мережі або при верхній напрузі, якщо пилосос розрахований для різних номінальних напруг;

3) коефіцієнт корисної дії розраховують за формулою:

$$\eta = \frac{H \cdot Q}{60P} \cdot 100, \%$$

де H – розрідження в точці, відповідній ефективному навантаженню, мм вод. ст.; Q – витрата повітря в точці, відповідній ефективному навантаженню, л/хв; P – потужність двигуна, Вт;

4) швидкість повітря V визначають за формулою:

$$V = 4,04\sqrt{H_0}, \text{ м/с};$$

5) витрату повітря Q (продуктивність) обчислюють так:

$$Q = 0,06 \cdot V \cdot F, \text{ л/хв},$$

де V – швидкість повітря, м/с; F – активний переріз вимірювальної трубки, мм².

Характеристики роботи пилососів визначаються за допомогою контрольно-вимірювальних приладів. На рис. 3.6 наведені результати аеродинамічних випробувань пилососа потужністю 600 Вт, де показане створюване пилососом розрідження H , коефіцієнт корисної дії η та втрати енергії P .

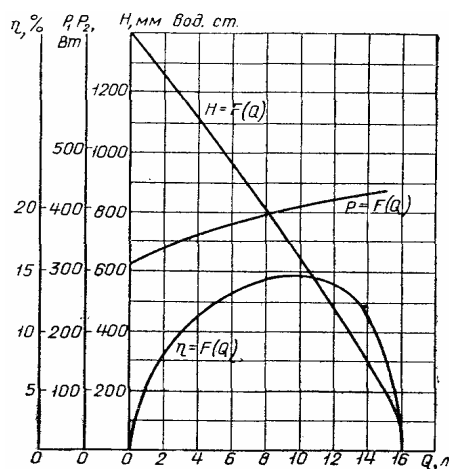


Рис. 3.6 – Графік аеродинамічних характеристик пилососа ПН-600

Пиломісткість пилососів оцінюють кількістю пилу, яка може зібратися в фільтрі (пилосбірнику), тому що по мірі накопичення пилу продуктивність пилососа поступово зменшується, і настає такий момент, коли його функціональна спроможність зменшується прак-

тично до нуля. Для подальшої експлуатації пилозбірник потрібно очищувати. Пиломісткість залежить від виду пилу, площі фільтра, швидкості повітря при фільтрації, матеріалу фільтра тощо.

Для фільтрів використовуються спеціальні тканини, які ефективно затримують пил і мають незначний опір повітряному потоку: молескін, вельветон, фільтроване полотно тощо. Недоліком фільтрів пилозбірників, які виготовляються з фільтрувальних тканин, є їх негігієнічність. Більш гігієнічними є фільтри-пилозбірники одноразового використання зі спеціального фільтрувального паперу. Вони мають форму мішка, який вкладається в основний пилозбірник пиłosоса. Після заповнення пилом одноразовий пилозбірник викидається. Для підвищення гігієнічності і збільшення часу безперервної експлуатації пиłosоса без очистки пилозбірника, розроблені спеціальні конструкції пиłosосів з пресуванням пилу, які комплектуються двома фільтрами: первинної та тонкої очистки.

Фільтр тонкої очистки з фільтрованої тканини встановлений в первинному фільтрі, який має форму зрізаного конуса і на його бічній поверхні є сітчастий сектор, що розташований під кутом 180° до вхідного отвору пиłosоса. Кут розкриття сектора дорівнює $90 \dots 100^\circ$. Вся інша поверхня фільтра пилонепроникна. При експлуатації пиłosоса довгі волокна великого розміру, які є в пилоповітряній суміші, затримуються на сітчастому секторі первинного фільтра, а маленькі пилинки попадають в фільтр тонкої очистки. В зв'язку з перепадом тиску пил відкладається на зовнішній поверхні первинного фільтра у вигляді спресованого шару, щільність якого приблизно в 1,5 рази вище щільності пилу в пилозбірнику пиłosосів звичайної конструкції. Операція видалення такого спресованого шару проста і гігієнічна. У фільтр-пилозбірник попадає лише незначна кількість зібраного пилу, що дозволяє збільшити час безперервної експлуатації пиłosоса. Для виконання різних операцій пиłosоси мають наступні комплектуючі: шланг, подовжувальні труби, набір насадок. Шланг призначений для з'єднання насадок з пиłosосом і складається з гнучкої частини та незнімного патрубку. Шланги виготовляють двох типів: гнучкі з поліхлорвінілу, які армовані пружиною, або гумові в капроновому чи бавовняному обплетенні, які теж армовані пружиною. На незнімному патрубку є спеціальне пристосування, яке дозволяє регулювати витрати і розрідження повітря, що необхідно при чищенні деяких видів матеріалів (тюлеві занавіски, килими зі слабким ворсом).

Для подовження шланга використовують подовжувальні трубки, які виготовляються з алюмінієвих сплавів або пластмас. Трубки з алюмінієвих сплавів мають внутрішній діаметр 28 мм і зовнішній – 30 мм. Поєднання їх з насадками або з іншими подовжувачами здійснюється за допомогою нормального конуса 1:30 або фіксатора, який забезпечує щільність з'єднання.

Насадки конструктивно виконуються різних конфігурацій. За функціональним призначенням насадки можна розділити на п'ять груп.

До першої групи відносяться насадки, які призначені для чищення м'яких меблів, одягу, занавісок та являють собою пласкі розтруби. Площа вхідного отвору становить $6 \dots 14 \text{ см}^2$, кут нахилу патрубка до оброблюваної поверхні – $45 \dots 90^\circ$, діаметр вихідного патрубка – 32 мм.

До другої групи відносять насадки для чищення предметів у важкодоступних місцях. Вони є відрізком труби з витягнутим вхідним отвором. Площа вхідного отвору $2 \dots 2,5 \text{ см}^2$, довжина насадок 210...260 мм, кут зрізу $15 \dots 30^\circ$. Матеріал насадки – алюмінієвий сплав АЛ-2 або поліетилен високого тиску.

До третьої групи відносять насадки для чищення гардин, одягу, порт'єр, м'яких меблів, а також зняття пилу з підлоги та стін. Конструктивно вони виконані у вигляді пласкої широкої щітки. Вхідний отвір насадок має форму, яка близька до овальної, з перерізом $24 \dots 35 \text{ см}^2$. Насадки виготовлені з поліетилену високого тиску або полістиролу.

До четвертої групи відносять насадки для чищення від пилу книг, гардин і таке інше. Вони являють собою щітки малих розмірів з вхідним отвором круглої або прямокутної форми. Довжина щітки становить $15 \dots 65 \text{ мм}$.

До п'ятої групи відносять комбіновані насадки для прибирання пилу з килимів і підлоги. Це насадки шарнірного типу, в них можна регулювати продуктивність, якщо частково перекрити шарнірним патрубком щілину, якою проходить повітря.

Деякі пирососи комплектують додатковими насадками і пульверизаторами-розприскувачами та розпилювачами. Пульверизатор-розприскувач використовують для фарбування різних предметів, зволоження повітря, оббризування рослин. Розпилювач використовують для отримання розчинів різних речовин, наприклад, нафталіну. Він являє собою пластмасовий корпус, до якого приєднаний розпилювач. Корпус завантажується кристалами нафталіну. Повітря, яке проходить через ці кристали, розчиняє їх і викидає пару нафталіну через розпилювач. При попаданні на одяг пара проникає в матеріал і насичує його.

Пирососи, як правило, мають також і додаткові елементи комфортності: індикатор (сигналізатор) заповнення контейнера пилом; пристрій для автоматичного намотування шнура. Індикатор заповнення контейнера пилом своєчасно інформує оператора про необхідність очищення фільтра, що підвищує ефективність використання пирососа.

Індикатори мають різні конструкції, але всі вони побудовані за принципом вимірювання зменшення пропускної спроможності фільтра при його заповненні пилом. Найбільш простими є пневматичні індикатори. Вони являють собою циліндр, який виготовлений з прозорого матеріалу, в якому розміщений підпружинений поршень. Один кінець циліндра має вихід в атмосферу, а другий з'єднаний з областю високого тиску пирососа. На поверхні циліндра є шкала з рискою, яка вказує допустимий рівень заповнення контейнера з пилом. При чистому фільтрі тиск повітря протидіє пружині, і шток поршня зміщений на певну відстань від контрольної риски. По мірі заповнення контейнера пилом тиск на поршень зменшується, і під дією пружини він переміщується в бік контрольної риски, а при досягненні допустимої норми пилу в контейнері виходить на один рівень з контрольною рискою. Індикатор проектується таким чином, щоб цей момент настав при швидкості всмоктування пилу, за якої сила всмоктування буде менше сили, яка утримує пил на оброблюваній поверхні. Ця швидкість дорівнює приблизно 11 м/с.

Пристрій для автоматичної намотки шнура скорочує час, який необхідний для обслуговування пирососа, і підвищує зручність експлуатації. Конструктивно такий пристрій має вид барабана, що обертається, рух якому при відключенні гальмового пристрою передає спіральна пружина. В якості гальмового пристрою використовується, як правило, храповий механізм. Спіральна пружина отримує потенціальну енергію при витягуванні шнура живлення, тому що цей процес супроводжується її стисканням.

3.3. Вибір вимог до повітровсмоктувального агрегату і пристрою регулювання витрат повітря

Якість функціонування побутової машини для прибирання оцінюється за ступенем очищення від забруднення поверхонь різних типів (дерев'яні підлоги і лінолеум, килими, ткани і неткані поверхні меблів, тощо). Ступінь очищення визначається у значній мірі організацією газового потоку при його взаємодії з забруднювачем (створення аеродинамічних умов відривопідйомної сили) і транспортуванням окремих твердих частинок по аеродинамічному тракту з наступним відділенням газової фази від твердої фази забруднювача.

Якщо задача видалення забруднювача від поверхонь вирішується в основному насадками різних типів, то транспортування відокремленого забруднювача здійснюється у газопроводі, до складу якого входять гнучкий шланг, подовжувачі, елементи приєднання шланга до насадки для прибирання і фільтр.

Збудником аеродинамічного потоку є повітровсмоктувальний агрегат (ПВА), параметри якого визначаються з урахуванням основних етапів роботи машини для прибирання: відривання забруднення від поверхні, що очищується, транспортування його по аеродинамічному тракту тощо.

Якщо теорія насадок різного типу досліджена недостатньо, то теорія взаємодії твердого забруднювача з газовим потоком розроблена більш повно, і вона дозволяє намітити основні вимоги до ПВА. Очевидно, що швидкість газового потоку для організації відриву забруднювача повинна перевищувати швидкість його у транспортному тракту, тому що енергія, що витрачається на відрив забруднювача, повинна перевищувати енергію його транспортування. Зупинимося на питаннях взаємодії газового потоку у газопроводі з твердою частинкою.

Основною вимогою транспортування твердої частинки в трубопроводі є відсутність можливості прилипання її до внутрішньої поверхні. Як відомо, таке прилипання буде неможливим при деяких швидкостях, величина яких може бути розрахована за формулою:

$$V_o = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot \gamma_m}{k \cdot \gamma}}, \quad (3.19)$$

де d – ефективний діаметр частинки; γ_m – густина речовини частинки; k – коефіцієнт опору; γ – густина повітря.

Коефіцієнт опору у першому наближенні може бути розрахований за формулою:

$$K = C \cdot \mu = 24/Re. \quad (3.20)$$

Як відомо, частинка у потоці рухається по гвинтоподібній лінії. Формули (3.19), (3.20) дозволяють визначити швидкість потоку через гнучкий шланг, а звідки, знаючи основні геометричні розміри газопроводу, можна визначити як швидкість повітря у ньому, так і втрати тиску у шлангу.

Для визначення швидкості повітря використовується рівняння нерозривності. Таким чином можна розрахувати Q_1 – кількість повітря, що входить у тракт. Внаслідок того, що стискання повітря у тракті відсутнє, Q_1 є не що інше, як продуктивність ПВА, що працює у заданому режимі.

Відомо, що втрати тиску ΔH у шлангу складають, як показали численні досліди, деяку частину загального тиску H , що створює ПВА.

Таким чином, аналіз руху без прилипання твердих частинок у газовому тракті дозволяє визначити сукупність параметрів Q_1 і ΔH , які потрібно пред'являти до ПВА при його конструюванні.

Експериментально встановлено, що максимальний к.к.д. агрегату досягається при витратах повітря Q_o , що дорівнюють 0,6 максимального значення витрат агрегату Q_{max} . Крім того, відомо, що витрати при транспортуванні газопилового потоку без прилипання до стінки газопроводу дорівнюють 0,7 максимальних витрат агрегату.

Враховуючи згадане, знаходимо Q_o :

$$Q_o = (0,6/0,7) \cdot Q_1 = 0,87 \cdot Q_1. \quad (3.21)$$

Використовуючи розраховану лінійну характеристику агрегату, визначаємо втрати тиску і продуктивність Q , що створює ПВА, який працює з максимальним к.к.д. і забезпечує витрату Q_o .

Універсальні колекторні електродвигуни, що застосовуються у ПВА, працюють в умовах інтенсивного охолодження, що дозволяє збільшити лінійне навантаження якоря з метою більш ефективного використання матеріалів. У цьому випадку при правильному розрахунку електродвигуна реально підвищується корисна потужність всмоктування P_2 :

$$P_2 = \frac{H \cdot Q}{0,102}. \quad (3.22)$$

Розраховані вказаним способом Q , H , P_2 є вихідними вимогами, які пред'являються під час конструювання ПВА, а також при розрахунку і розробці аеродинамічного тракту.

Вдосконалення пилоосів у наш час направлене на підвищення продуктивності, пилоочисної здатності, багатофункціональності призначення. Враховуючи вимоги багатофункціонального призначення, виникла необхідність у регулюванні основних параметрів агрегату: витрати повітря і розрідження.

Пристрої регулювання витрат повітря, що застосовуються у наш час, не задовольняють споживача. Ефективність такого регулятора, як отвір шлангу, що перекривається за допо-

могою обертального кільця, дуже мала, і практично для пирососів потужністю 600 Вт і вище регулювання не відчувається. Тому очищення таких предметів домашнього побуту, як фіранка, штори, одяг та ін. практично неможливе внаслідок присмокування їх до отвору насадки. Крім того електроенергія витрачається неефективно. У цих умовах найбільш вигідно використовувати електронний регулятор, як найбільш економічний і зручний у роботі.

З метою визначення діапазону регулювання та отримання вихідних вимог до електронного пристрою, що розробляється, необхідно провести дослідження властивостей ПВА. Найбільш прийнятний спосіб – зняття аеродинамічних характеристик при різних значеннях напруги живлення, згідно з якими визначаються діапазони регулювання потужності, струму, частоти обертання, витрат і розрідження.

Вимоги до режиму роботи, масогабаритних показників, надійності регулятора, конструктивних особливостей з урахуванням нормативних діючих документів на пиросос в цілому призначаються як за технічними вимогами, так і за вимогами безпечної експлуатації.

3.4. Розрахунок втрат тиску в аеродинамічному тракту пирососа

Загальні втрати тиску в аеродинамічному тракту визначаються сумою втрат на тертя і у місцевих опорах на окремих елементах та ділянках тракту ΔH_i :

$$\Delta H = \sum \Delta H_i, \quad (3.23)$$

де ΔH_i – втрати тиску в i -му елементі тракту.

Втрати тиску на тертя визначаються розмірами каналу та швидкістю потоку і враховуються лише для ділянок порівняно великої довжини (подовжувальні трубки, шланг). Втрати тиску на місцевих опорах визначаються видом місцевого опору, його характеристиками і швидкістю потоку (витратою повітря). На рис. 3.7 наведено схему аеродинамічного тракту з типовими ділянками.

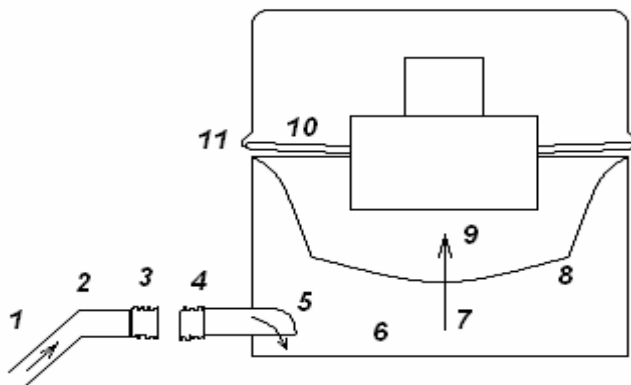


Рис. 3.7 – Розрахункова схема аеродинамічного тракту пирососа ПНВ-1000:
 1, 4 – прямолінійний відрізок; 2 – відрізок з поворотом; 3 – відрізок з гофрованою стінкою;
 5, 7 – поворот потоку; 6 – розширення; 8 – фільтр; 9 – звуження;
 10 – кільцевий канал-дифузор; 11 – звуження, вихід у атмосферу

Розглянемо розрахункові формули, значення коефіцієнтів тертя, місцевих опорів для кожної елементарної ділянки.

Втрати тиску на тертя для ділянок 1–4 розраховуються за виразом:

$$\Delta H_i = \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \gamma \frac{V_i^2}{2},$$

де $i = 1-4$ – номери ділянки на рис. 3.7; λ_i – коефіцієнт тертя на i -й ділянці; l_i, d_i – довжина та діаметр трубопроводу, відповідно; γ – густина повітря; V_i – швидкість повітря.

За даними експериментальних досліджень $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_4 = 0,02$, а для гофрованих стінок $\lambda_3 = 0,098$. Густина повітря у аеродинамічному тракті пирососа становить $1,21 \text{ кг/м}^3$.

На ділянках 2, 5, 7 та 10 тиск витрачається на подолання місцевого опору при повороті потоку повітря:

$$\Delta H_i = \xi_i \gamma \frac{V_i^2}{2},$$

де $\xi_i = \alpha_i/90^\circ$ – коефіцієнт опору; α – кут повороту. У цьому випадку $\alpha_2 = 30^\circ$, $\alpha_5 = \alpha_7 = 90^\circ$. Для ділянки 10, яка є кільцем канал-дифузора, коефіцієнт опору дорівнює $\xi_{10} = 0,133$.

Для ділянок, на яких відбувається раптове розширення потоку повітря (ділянка б), втрати тиску розраховуються за формулою:

$$\Delta H_i = \left(1 - \frac{f}{F}\right) \gamma \frac{V_f^2}{2},$$

де f, F – площі меншого та більшого каналів; V_f – швидкість повітря у каналі меншої площі.

Якщо на ділянках відбувається раптове звуження потоку повітря (ділянки 9 і 11), втрати тиску визначаються як:

$$\Delta H_i = 0,5 \left(1 - \frac{f}{F}\right) \gamma \frac{V_f^2}{2}.$$

На фільтрі (ділянка 8) втрати тиску становитимуть:

$$\Delta H_i = \frac{\Delta H}{V_e} V_\phi,$$

де V_ϕ – швидкість потоку повітря через фільтр; ΔH – ефективний опір фільтра (рекомендується $800 \dots 1000 \text{ Па}$); V_e – ефективна швидкість повітря при проходженні через фільтр ($0,2 \dots 0,3 \text{ м/с}$).

Для наведеної схеми (рис. 3.7) втрати тиску розраховані для значень витрат повітря $Q_1 = 0,035 \text{ м}^3/\text{с}$ (початкового) і $Q_2 = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ (кінцевого). Отримані наступні результати:

$$\Delta H_{Q_1} = \sum_{i=1}^{11} \Delta H_i = 9,2 \text{ кПа}; \quad \Delta H_{Q_2} = 1,5 \text{ кПа}.$$

3.5. Розрахунок геометричних розмірів вхідної щілини насадки та втрати тиску в ній

Ефективність і економічність роботи пирососних насадок визначаються величиною втрат: чим менший коефіцієнт місцевого опору і втрати повітря за умовою забезпечення відповідної якості прибирання, тим ефективніша насадка. Тому профіль насадки повинен відповідати двом основним вимогам. По-перше, забезпечувати рівномірну швидкість всмоктування по всій довжині щілини, що необхідна для прибирання з мінімальними витратами повітря, і, по-друге, забезпечувати мінімальний аеродинамічний опір для руху повітря всередині насадки.

Насадка пирососа може бути представлена у вигляді трійника, що має два канали, в яких переміщуються два зустрічних потоки, і загальний канал (конфузор), площу якого необхідно визначити, виходячи з умов мінімальних аеродинамічних втрат при змішуванні потоків (рис. 3.8).

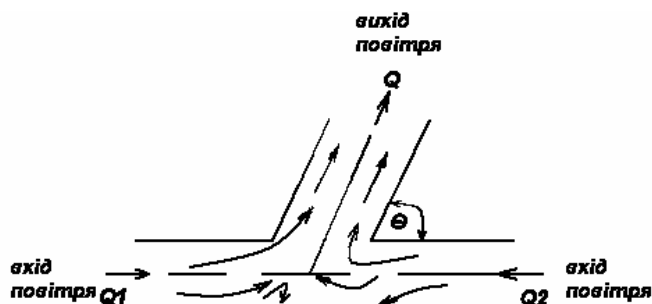


Рис. 3.8 – Схема насадки пылесоса

Загальні втрати енергії і, відповідно, статичний тиск у кінці змішування двох потоків будуть залежати від розмірів конфузора і від швидкості повітря у ньому. Вплив твердих часток на динаміку потоку не враховується.

Оптимальна швидкість у конфузорові визначається залежністю:

$$V_{onm} = \frac{Q_1 \cdot V_1 + Q_2 \cdot V_2}{Q} \cdot \cos\theta, \quad (3.24)$$

де Q_1, Q_2 – витрати повітря за секунду у першому і другому каналах, відповідно; Q – секундна витрата повітря у загальному каналі; V_1, V_2 – швидкість у першому і другому каналах, відповідно.

Мінімальні втрати тиску від змішування потоків становитимуть:

$$\Delta P = [Q_1 \cdot V_1^2 + Q_2 \cdot V_2^2 - (Q_1 \cdot V_1 - Q_2 \cdot V_2)^2 \cdot \cos^2\theta] \frac{\gamma}{2}; \quad (3.25)$$

де γ – густина повітря.

Із цього випливає, що для забезпечення мінімальних аеродинамічних втрат на вході в насадку розмір щілини потрібно приймати, виходячи з необхідності створення в ній оптимальної швидкості повітря. Тобто, варіюючи площею всмоктувальної щілини, можна встановити режим, за яким втрати будуть найменшими. Площу всмоктувальної щілини можна визначити як:

$$F_{onm} = L_{щ} \cdot b_{onm} = Q/V_{onm}, \quad (3.26)$$

де $L_{щ}$ – довжина всмоктувальної щілини насадки; b_{onm} – ширина щілини насадки.

Підставивши у вираз (3.26) значення V_{onm} , (3.24), отримаємо значення F_{onm} :

$$F_{onm} = \frac{Q^2}{\frac{Q_1^2}{f_1} - \frac{(Q - Q_1)^2}{f_2}} \cdot \frac{1}{\cos\theta}, \quad (3.27)$$

де $f_1 = h_1 \cdot L_{щ}$; $f_2 = h_2 \cdot L_{щ}$; f_1, f_2 – площа перетину першого та другого каналів.

Тоді ширина щілини дорівнюватиме:

$$b_{onm} = \frac{Q_2}{\frac{Q_1^2}{h_1} - \frac{1 - Q_1}{h_2}} \cdot \frac{1}{\cos\theta}. \quad (3.28)$$

$$\text{Якщо } h_1 = h_2 = h, \text{ то } b_{onm} = \frac{Q^2}{2Q_1^2 - 1} \cdot \frac{h}{\cos\theta}.$$

Розподілення витрат повітря Q залежить від кута θ .

Якщо $30^\circ \leq \theta \leq 150^\circ$, то $Q = 0,5 + 0,06 \bar{\theta}$, де $\bar{\theta} = \frac{90 - \theta}{90}$.

$$b_{onn} = \frac{h}{0,2 \cdot \bar{\theta} \cdot \cos \theta}. \quad (3.29)$$

Значення параметра h рекомендується вибирати в межах від 2 мм до 5 мм.

Якщо $h_1 = h_2 = 0,002$ м, а $\theta = 30^\circ$, то $b_{onn} = 0,02$ м.

Як було зазначено раніше, пирососні насадки у більшості випадків представляють трійник у поєднанні з прямолінійним конфузуром. Розглянемо аеродинамічний опір у конфузурі насадки.

Коефіцієнт місцевого опору насадки залежить від геометричних розмірів останньої і виражається наступною формулою:

$$\xi = \left(0,74 \cdot \frac{L_{uc} - d}{H} + 0,38 \right) \cdot \Psi,$$

де L_{uc} – довжина всмоктувальної щілини насадки; d – діаметр патрубку; H – висота насадки (конфузора); Ψ – відносний коефіцієнт місцевого опору.

$$\Psi = 0,0163 + 2,34 \cdot \bar{f} - 6,95 \cdot \bar{f}^2 + 8,627 \cdot \bar{f}^3 - 3,02 \cdot \bar{f}^4, \quad (3.30)$$

де $\bar{f} = \frac{F_0}{F_{uc}}$; $F_0 = \frac{\pi d^2}{4}$ – кінцева площа конфузора; $F_{uc} = L_{uc} \cdot b$ – початкова площа конфузора.

фузора.

Втрати тиску в конфузурі визначаються формулою:

$$\Delta P = \xi \cdot \sigma \cdot \frac{V_0}{2} \cdot \gamma,$$

де σ – коефіцієнт якості внутрішньої поверхні насадки (для пластмас $\sigma = 0,75$); V_0 – середня швидкість потоку в перерізі F_0 конфузора.

Встановлена функціональна залежність згідно з умовою задачі справедлива при наступних обмеженнях на незалежні змінні:

$$15 \leq \left(\frac{L_{uc}}{b} \right) \leq 70;$$

$$0,15 \leq \left(\frac{F_0}{L_{uc}} \right) \leq 0,7.$$

Як відомо, профіль конфузора насадки (фронтальні твірні) рекомендується виконувати за оптимальною кривою, що є дугою кола радіусом R , при цьому:

$$R_{onn} = 0,65 \cdot (L_{uc} - d). \quad (3.31)$$

В цьому випадку коефіцієнт місцевого опору визначається за формулою:

$$\xi_{onn} = 0,75 \xi = \left(0,555 \cdot \left(\frac{L_{uc} - d}{H} \right) + 0,285 \right) \cdot \Psi. \quad (3.32)$$

ПРИЛАДИ МІКРОКЛІМАТУ

4.1. Параметри комфорту повітряного середовища

Почуття комфорту повітряного середовища, яке є в певній мірі суб'єктивним, має об'єктивні складові, основними з яких є температура, вологість, хімічний склад, напрям та швидкість руху повітря, рівень шуму та освітленості в приміщенні.

Комфортні умови повітряного середовища залежать від інтенсивності праці, яку виконує людина, та від її одягу. Вважається, що при невеликому фізичному навантаженні комфортна температура в приміщенні в зимовий час складає близько +21 °С, а в літній – близько +24 °С. Оптимальним діапазоном вологості повітря вважається 30...60 %. Рухомість повітря в приміщенні також впливає на почуття комфорту. Причиною поганого почуття є те, що в недостатньо вентильованому приміщенні при відсутності руху повітря навколо людини утворюється тонка нерухома повітряна оболонка, що швидко насичується паром води, приймає її температуру та зменшує тепловіддачу.

Сучасні системи мікроклімату дозволяють забезпечити контроль практично всіх параметрів.

Кондиціонуванням повітря називається підтримання його стану всередині приміщення відповідно до певного набору параметрів (температура, вологість, склад забруднюючих домішок та ін.) для створення найбільш сприятливих (комфортних) умов праці або для покращення стану людей, які знаходяться в приміщенні.

4.2. Кондиціонери

4.2.1. Основні типи кондиціонерів

Кондиціонери поділяють на побутові, транспортні та промислові. Для позначення основних класів кондиціонерів використовуються англійські аббревіатури:

– *RAC* (Room Air Condition) – побутові кондиціонери. До цього класу відносять всі віконні та мобільні кондиціонери, а також спліт-системи настінного та стельового типів потужністю до 6 кВт;

– *PAC* (Package Air Condition) – промислові кондиціонери. До цього класу відносять всі спліт-системи каналного, касетного, стельового та настінного типів потужністю більше 6 кВт.

Транспортні кондиціонери знаходять застосування на автомобілях, автобусах, літаках і окремо як клас не позначаються.

За конструктивним виконанням кондиціонери поділяють на два великі класи:

– моноблочні; складаються з одного блока (віконні, мобільні);

– спліт-системи; складаються з двох та більше блоків (настінні, каналні, касетні).

Віконний кондиціонер – моноблочний кондиціонер, що монтується у віконний отвір або тонку стіну. До цього класу відносять азербайджанські кондиціонери БК–1500, БК–2000, БК–2500, українські “Донбас” та “Норд”. Перевагами таких кондиціонерів є низька ціна, нескладний монтаж, простота обслуговування та ремонту. Недоліками їх є високий рівень шуму, відсутність можливості вибору місця встановлення, погіршення освітлення приміщення.

Спліт-системи складаються з одного зовнішнього блоку, винесеного на вулицю, та одного або декількох внутрішніх блоків, встановлених всередині приміщення. Зовнішній і внутрішній блоки з'єднані між собою трубками циркуляції холодоагенту та електричними проводами, що забезпечують подачу живлення та команд керування.

4.2.2. Принцип дії та конструкції кондиціонерів

Для отримання низьких температур в кондиціонерах використовують фізичні процеси, що супроводжуються поглинанням теплоти. До основних таких процесів відносять:

- фазовий перехід речовини, що супроводжується поглинанням теплоти із зовні: плавлення, кипіння (випаровування), сублімація;
- адіабатичне дроселювання газу з початковою температурою, що менша за температуру зовнішньої точки інверсії (ефект Джоуля–Томпсона);
- адіабатичне розширення газу з віддачею корисної зовнішньої роботи;
- вихровий ефект (ефект Ранка);
- термоелектричний ефект (ефект Пельтьє).

Сукупність технічних пристроїв, що необхідні для створення холодильного циклу, називається в загальному випадку **холодильною машиною**. В основі принципу дії холодильних машин лежить зворотний цикл Карно.

Залежно від використаного холодоагенту кондиціонери поділяють на дві групи: парові та газові. В парових кондиціонерах як холодоагент застосовують холодоагенти R-134^a, R-407^a. В газових кондиціонерах використовується повітря.

За способом подачі холодоагенту до конденсатора розрізняють парокompресійні, абсорбційні та пароежекторні парові кондиціонери. В парових та газових (парокompресійних) кондиціонерах робочий цикл здійснюється за рахунок механічної роботи компресора. В абсорбційних та пароежекторних кондиціонерах робочий цикл здійснюється за рахунок підведення теплоти.

За принципом дії кондиціонери можна поділити на такі:

- з повітряною холодильною машиною (турбодетандер);
- термоелектричні;
- випарникові;
- парокompресійні;
- пароежекторні.

Кондиціонери з повітряною холодильною машиною. В цих кондиціонерах в якості холодоагенту використовується звичайне повітря. Використовуються дві основні конструкції таких кондиціонерів: з турбохолодильником (турбодетандером) та з вихровою трубкою. Для роботи обох типів кондиціонерів необхідно джерело стисненого повітря. Кондиціонери з турбохолодильником набули поширення на літаках з газотурбінними двигунами, від яких відбирається стиснене повітря для роботи турбохолодильника.

Термоелектричні кондиціонери. Термоелектричні кондиціонери застосовуються на транспортних засобах. Вони працюють на основі ефекту Пельтьє. Суть ефекту полягає у виділенні або поглинанні теплоти на спаях двох провідників з різних металів. Послідовно з'єднані термоелементи утворюють термоелектричну батарею (див. підрозд. 2.5).

Гарячі та холодні спай термоелектричної батареї омиваються або безпосередньо повітрям, або для покращання інтенсивності теплообміну застосовуються охолоджувальні контури з рідинними теплоносіями окремо на гарячому та холодному спаях. Повітря, охолоджене на холодних спаях або на теплообміннику холодного контуру, подається в салон, а повітря, що охолоджує гарячі спай або гарячий контур циркуляції рідини, видаляється в атмосферу.

Термоелектричні кондиціонери легко керуються, переведення їх з режиму охолодження до режиму нагрівання здійснюється простою зміною полярності напруги живлення. З однотипних термоелементів можна компонувати кондиціонери різної теплопродуктивності. Недоліками їх є те, що коефіцієнт термодинамічного циклу в значній мірі залежить від різниці температур гарячого та холодного спай і швидко зменшується із збільшенням перепаду температур на

спаях. Термоелектричні кондиціонери вимагають встановлення на автомобілі генератора високої потужності (2...2,5 кВт) внаслідок споживання ними великого струму, крім того, вартість термоелектричних батарей висока.

Випарникові кондиціонери. Кондиціонери, в яких використовується ефект зниження температури повітря в результаті випаровування води, отримали широке поширення в країнах з сухим та жарким кліматом (Ірак, Сирія, деякі штати США). Кондиціонери такого типу використовують на потужних тракторах. Вони мають просту конструкцію, надійні в роботі за умов підвищеної вібрації, їх обслуговування та ремонт може бути виконаний некваліфікованим персоналом.

Парокомпресійні кондиціонери. Кондиціонери цього типу застосовуються як в побуті, так і на транспорті. Для безперервного охолодження потрібно як мінімум три тіла: тіло, яке потрібно охолодити, приймач теплоти, і третє, що переносить теплоту від першого до другого, яке називається холодоагентом. Таким чином, холодоагент, який проходить ряд змін, необхідно повернути до початкового стану і безперервно здійснювати круговий цикл. На одній із ділянок циклу холодоагент в результаті теплообміну отримує теплоту від охолодженого повітря, яку потрібно передати приймачу теплоти (навколишньому середовищу). Температура навколишнього середовища вища, ніж температура холодоагенту, тому вільно такий перехід теплоти відбутися не може. Для цього на другій ділянці циклу до холодоагенту необхідно підвести енергію у вигляді роботи або теплоти для підвищення температури настільки, щоб холодоагент міг передати отриману в попередніх процесах теплоту до навколишнього середовища.

У випарнику парокомпресійного кондиціонера відбувається випаровування (кипіння) при підведенні теплоти від охолоджуваного повітря, а в конденсаторі при відведенні теплоти від холодоагенту до оточуючого середовища – його конденсація.

Забезпечення встановлених параметрів кипіння та конденсації хладону в циклі компресійного кондиціонера здійснюється за рахунок механічної роботи компресора.

Холодильний коефіцієнт парокомпресійного циклу становить:

$$E = Q_0/N_e,$$

де Q_0 – питома масова холодопродуктивність холодоагенту; N_e – споживана енергія.

Процес роботи парокомпресійної холодильної машини кондиціонера описується таким чином (рис. 4.1). Газоподібний холодоагент стискується в компресорі 3 (процес 1–2 на діаграмі), при цьому він нагрівається та подається в конденсатор 2, де охолоджується при інтенсивному обдуванні зовнішнім повітрям до температури, близької до зовнішнього повітря.

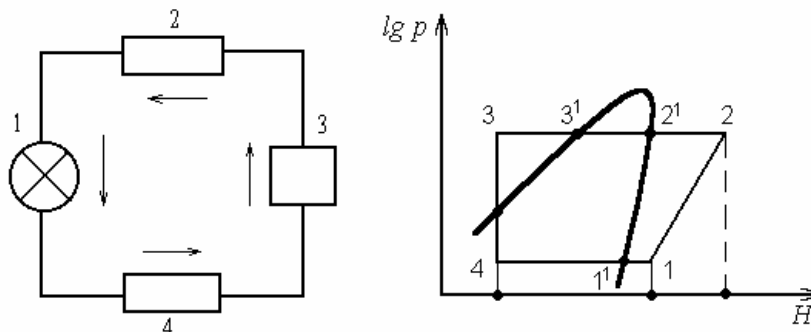


Рис. 4.1 – Функціональна схема парокомпресійного кондиціонера та його цикл (lg pH-діаграма)

При високому тиску в конденсаторі 2 та інтенсивному тепловідведенні (процес 2–2') холодоагент із газоподібного стану переходить в рідинний стан (процес 2'–3') та потім додатково охолоджується (процес 3–3'), поступає у випарник 4 з пониженим тиском через дросельний терморегулюючий вентиль 1 (або капілярну трубку) процес 3–4, де розширюється і випаровується з поглинанням при цьому великої кількості теплоти, що надходить з повітря.

4.2.3. Основні конструктивні елементи кондиціонера

Ротаційні компресори. В кондиціонерах, як правило, використовуються ротаційні компресори, які в порівнянні з поршневыми мають ряд переваг: меншу вагу та габарити; можливість повністю зрівноважити маси (за винятком лопаті, що має малу масу та незначну величину поздовжнього руху); незначну кількість частин, що рухаються; відсутність всмоктувальних клапанів.

Використовують компресори двох типів: ротаційні пластинчасті та з ротором, що перекочується.

Принцип дії і теоретичний процес роботи пластинчастого ротаційного компресора.

Робота компресора цього типу відбувається таким чином: всмоктування починається в точці a (рис. 4.2), коли пластина збігається зі всмоктувальною порожниною, і закінчується в точці l при виході пластини зі всмоктувальної порожнини, далі починається процес стискання при досягненні пластиною положення 2 і з'єднанні її з порожниною нагнітання.

У ротаційних компресорах, на відміну від поршневих, “шкідливий” простір значно менший. Крім того, в пластинчастих ротаційних компресорах здійснюється перепуск пари, тому впливом “шкідливого” простору на продуктивність компресора можна знехтувати.

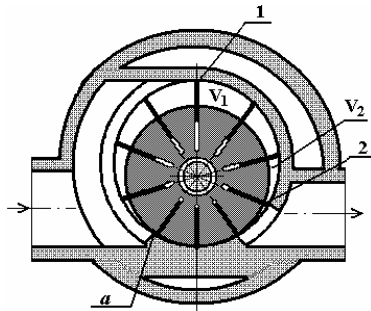


Рис. 4.2 – Схема поперечного перерізу пластинчастого ротаційного компресора

Геометрична ступінь стискання π_r ротаційного компресора є величиною сталою і визначається відношенням максимального об'єму V_1 на початку стискання до об'єму V_2 в кінці стискання:

$$\pi_r = \frac{V_1}{V_2}.$$

Внутрішня ступінь стискання:

$$\pi_{en} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}},$$

де n – показник політропи стискання.

У ротаційних компресорах на величину показника політропи, крім теплообміну, впливає також величина перегікання пари. Внаслідок цього показник політропи називається уявним показником.

Щоб визначити об'єм V_h , що описується ротором компресора, розглянемо об'єм V_x , що розташований між двома пластинами (рис. 4.3). З достатньою точністю його можна представити у вигляді:

$$V_x = \pi(r_A^2 - R_p^2)H \frac{\alpha}{360^\circ},$$

де r_A – змінний радіус; R_p – радіус ротора; H – довжина ротора; α – кут між осями пластин.

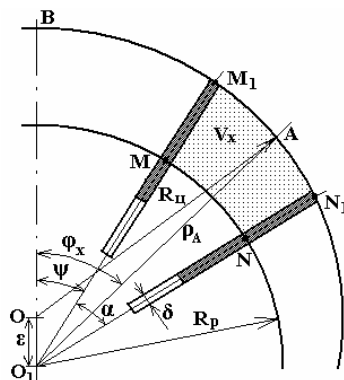


Рис. 4.3 – Розрахункова схема комірки стискання

Тому що $\alpha = \frac{360^\circ}{z}$, де z – число пластин, отримаємо:

$$V_x = \frac{\pi}{z} (\rho_A^2 - R_p^2) H.$$

Змінний радіус можна визначити наступним чином:

$$\rho_A^2 = R_y^2 + e^2 + 2R_y \cdot e \cdot \cos \angle AO_1O,$$

де R_y – внутрішній радіус циліндра; e – ексцентриситет.

При малих відношеннях $\frac{e}{R_y}$ маємо:

$$\angle AO_1O \approx \angle AOB \approx \varphi_x,$$

де φ_x – кут стискання, тоді:

$$\rho_A^2 = R_y^2 + e^2 + 2R_y \cdot e \cdot \cos \varphi_x$$

і, відповідно,

$$V_x = \frac{2\pi H}{z} R_y \cdot e \cdot (1 + \cos \varphi_x).$$

В момент початку стискання кут $\varphi_x = 0$, і максимальний об'єм дорівнює:

$$V_1 = \frac{4\pi \cdot R_y \cdot H \cdot e}{z}.$$

За один оберт ротора зі всмоктувальним патрубком з'єднуються z пластин з об'ємом V_1 . Тоді об'єм, описаний ротором ($\text{м}^3/\text{с}$), становить:

$$V_h = z \cdot V_1 \cdot n$$

або

$$V_h = 4\pi \cdot R_y \cdot H \cdot e \cdot n.$$

З урахуванням товщини пластин:

$$V_h = 2H \cdot e \cdot n \cdot (2\pi \cdot R_y - \delta \cdot z),$$

де δ – товщина пластини.

Об'єм, що описується ротором, з більш точним урахуванням товщини пластин при їх великій кількості можна виразити наступним рівнянням:

$$V_h = R_y \cdot e \cdot H \cdot n \cdot \left[4\pi - \frac{\pi^3}{3} \left(1 + 2 \frac{e}{R_y} \right) \frac{1}{z^2} - 2 \frac{\delta \cdot z}{R_y} \right].$$

Принцип дії і теоретичний процес роботи компресора з ротором, що перекочується.

При обертанні ексцентрикового вала навколо осі O (рис. 4.4) ротор 2, що насаджений на ексцентриковий вал 3, перекочується внутрішньою поверхнею циліндра 1.

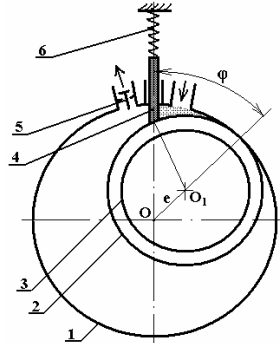


Рис. 4.4 – Схема ротаційного компресора з ротором, що перекочується

При цьому між циліндром і ротором утворюється серповидна порожнина, що змінюється залежно від кута повороту ротора. Лопатка 4 щільно притискається до ротора пружиною 6, розділяючи при цьому серповидну порожнину на дві частини, які ізолювані одна від одної. Одна з частин з'єднується зі всмоктувальною порожниною компресора, інша за допомогою нагнітального клапана 5 – з нагнітальною. Процеси всмоктування і нагнітання в ротаційному компресорі відбуваються одночасно в двох порожнинах, розділених ротором і лопаттю. Максимальний об'єм порожнини всмоктування тоді, коли вісь ексцентрика збігається з віссю лопаті яка повністю ввійшла в паз циліндра ($\varphi = 0$), визначається виразом:

$$V_h = \frac{\pi H}{4} (D_y^2 - D_p^2),$$

де H – висота ротора; D_y – діаметр циліндра; D_p – діаметр ротора.

При повороті ексцентрикового вала порожнина стиснення зменшується від V_h до 0, а порожнина всмоктування збільшується від 0 до V_h . Розглянемо залежність об'єму порожнини стиснення від кута повороту ексцентрикового вала. Порожнина стиснення під час повороту ексцентрикового вала зменшується як в зв'язку з поворотом ротора, так і входом в робочу зону циліндра частини лопаті (рис. 4.5).

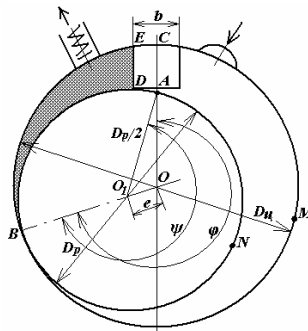


Рис. 4.5 – Схема порожнини стиснення ротаційного компресора з ротором, що перекочується

При куті повороту φ порожнина зменшується порівняно з $\varphi = 0$ на величину серповидної порожнини $ACMBNA$ і половини виступаючої частини лопаті $ADEC$.

Площу $ACMBNA$ можна розглядати як різницю двох величин – сектора $OCMBO$ і площі $OANBO$. У цьому випадку площу сектора $OCMBO$ можна визначити як:

$$S_{\varphi} = \frac{\pi D_u^2}{4} \cdot \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{D_u^2}{8} \varphi.$$

Площу $OANBO$ можна представити як різницю між площею сектора ротора $S_p = O_1ANBO_1$ і площею трикутника $S_{\Delta} = O_1AO$:

$$S_p = \frac{\pi D_p^2}{4} \cdot \frac{\psi}{2\pi} = \frac{D_p^2}{8} \psi,$$

$$\text{де } \psi = \varphi + \arcsin\left(\frac{2e}{D_p} \sin \varphi\right), \quad S_{\Delta} = \frac{1}{4} D_p e \cdot \sin \psi.$$

Площа трикутника віднімається від площі $OANBO$ при $\varphi > \pi$ і $\psi > 0$ або додається до неї при $\varphi < \pi$ і $\psi < 0$. Таким чином, отримаємо:

$$S_{O_1ANBO_1} = \frac{D_p^2}{8} \varphi + \frac{1}{4} D_p e \sin \psi.$$

Площа половини лопаті S_n , що виступає, дорівнює:

$$S_n = \frac{1}{2} b \cdot e (1 - \cos \varphi).$$

У цьому випадку об'єм порожнини стискання при куті повороту ексцентрикового вала φ , буде дорівнювати:

$$V_{\varphi} = V_p - \frac{H}{4} \left[\frac{D_u^2}{2} \varphi - \frac{D_p^2}{2} \Psi - D_p e \cdot \sin \Psi + 2b \cdot e \cdot (1 - \cos \varphi) \right].$$

Наведена формула є не зовсім точною, однак її точність достатня для практичних розрахунків.

Деякі фірми ("Panasonic", "Sanyo") застосовують в своїх мультиспліт-системах ротаційні компресори з двома роторами. На валу компресора ексцентрично обертаються два ротора, кожний з яких здійснює стискання холодоагенту в своєму циліндрі. Ексцентрики розташовані на валу протифазно, завдяки чому зменшується сумарна вібрація під час роботи.

Конденсатор – теплообмінний апарат, в якому відбувається конденсація пари холодоагенту з виділенням теплоти. Кількість теплоти, що виділяється холодоагентом в конденсаторі, визначається кількістю поглиненої випарником теплоти з приміщення, що кондиціонується, та роботою компресора, яка необхідна для стискання газоподібного холодоагенту. Ефективність охолодження конденсатора залежить від тепловіддачі конденсатора. До основних типів конденсаторів для холодоагенту R-134^a, що використовуються в кондиціонерах, відносяться:

- 1) трубчасті з дорнованими пластинчастими ребрами (мідні або алюмінієві з просічками або без них трубки та алюмінієві пластини);
- 2) з плоскоовальними алюмінієвими трубками та листовим оребренням;
- 3) з плоскоовальними алюмінієвими трубками та паяним гофрованим оребренням.

Конденсатор з багатоканальними плоскоовальними алюмінієвими трубками має надійну конструкцію. Перегородки, які містяться всередині плоскоовальної трубки, збільшують її теплопередачу та підвищують механічну міцність. Застосування плоскоовальних трубок з паяним гофрованим оребренням дозволяє забезпечити конденсатору високу ефективність, компактність та малу масу.

Випарник – це теплообмінник, в якому відбувається випаровування рідинного холодоагенту з відбором теплоти.

У холодоагенту, який пройшов через дросельний пристрій (терморегулюючий вентиль або капілярну трубку) і далі через порожнину випарника, різко падає тиск, і він з рідинного стану переходить в туманоподібний. Під дією потоку теплого повітря, що подається вентилятором на випарник, холодоагент закипає і переходить в газоподібний стан, при цьому відбувається інтенсивний відбір теплоти з повітря, що продувається. Повітря приміщення стає прохолодним, крім того, волога, що є в повітрі, від охолодження конденсується на ребрах випарника, стікає вниз і разом з пилом виводиться з приміщення.

Раніше як випарник застосовувався міднопаяний трубчастий теплообмінник з дорнованим пластинчастим оребренням. Потім, як альтернативу їм, було розроблено більш ефективний випарник з плоскоовальної трубки з гофрованим оребренням. В системах з R-134^a як випарники переважають алюмінієві пластинчасті теплообмінники з гофрованим оребренням, які мають більш високу питому ефективність, малу масу та габарити.

Ресивер-осушувач – елемент, що забезпечує очищення та осушування холодоагенту. Він встановлюється на лінії високого тиску між впускним патрубком в терморегулюючий вентиль на випарнику і впускним патрубком конденсатора. На ньому частіше всього розташовують реле тиску та вікно для контролю наявності холодоагенту.

За конструкцію ресивер-осушувач являє собою зварний балон 1 із сталі або з алюмінію, всередині якого встановлено сітку 2 та трубку 4 з адсорбентом 3 (рис. 4.6).

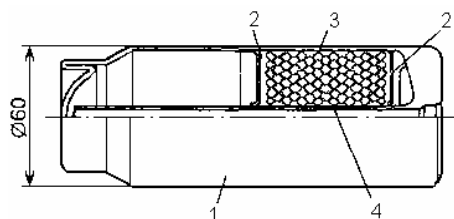


Рис. 4.6 – Схема ресивера-осушувача

З метою забезпечення безпеки деякі фірми випускають ресивери-осушувачі з плавкими запобіжниками, що спрацьовують при досягненні в системі критичного тиску.

Датчик-реле тиску. Для автоматичного захисту компресорів від зниження тиску всмоктування, що вказує на витікання холодоагенту та підвищення тиску нагнітання, використовують датчик тиску. За конструкцією ці прилади поділяються на наступні типи:

- 1) датчик тиску одинарної дії – датчик низького тиску і датчик високого тиску, які мають один чутливий елемент, що діє на контактний пристрій;
- 2) датчик подвійної дії (рис. 4.7) дозволяє контролювати одночасно низький та високий тиски в системі; має два чутливих елементи, що діють на один контактний пристрій;
- 3) датчик тиску потрібної дії на додачу до функцій датчика подвійної дії має ще функцію вмикання та вимикання електровентилятора для обдування конденсатора.

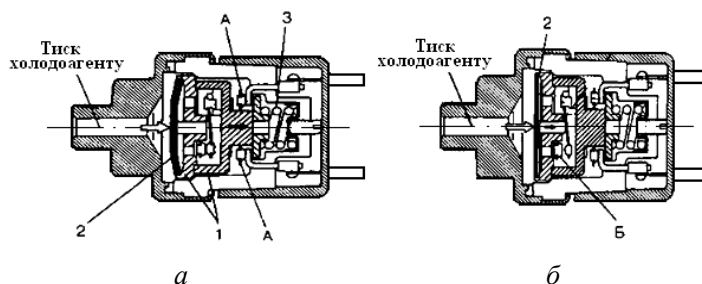


Рис. 4.7 – Схема датчика тиску подвійної дії

При тиску в герметичному контурі нижче 0,2 МПа (рис. 4.7, *a*), який характеризує відсутність холодоагенту в контурі, контакти *A* розмикаються під дією пружини *3*, яка переміщує напрямну *1*. При цьому розмикається коло живлення компресора. З метою забезпечення безпеки при досягненні в системі тиску 3,2 МПа, що характеризує несправну роботу кондиціонера, діафрагма *2* під тиском холодоагенту вигинається і розмикає контакти *B*. За нормальним тиском в герметичному контурі (рис. 4.7, *б*) обидва контакти *A* і *B*, що послідовно з'єднані між собою, замкнені.

Терморегулюючий вентиль (ТРВ) є як і капілярна трубка, регулятором подачі холодоагенту до випарника. ТРВ-дросельний пристрій, що забезпечує подачу оптимальний об'єм холодоагенту до випарника та його ефективну роботу залежно від перегріву пари холодоагенту, що виходять із випарника. Під перегрівом пари розуміють різницю між температурою кипіння холодоагенту у випарнику та температурою перегрітої пари на виході з нього.

Процес регулювання супроводжується дроселюванням холодоагенту від тиску конденсації до тиску кипіння. Підтримуючи у певних межах заданий перегрів пари хладону, ТРВ дозволяє більш ефективно використовувати поверхню випарника. Принцип дії ТРВ ґрунтується на використанні залежності зміни різниці температури кипіння холодоагенту у випарнику і температури перегрітої пари, що виходить з нього, від теплового навантаження на випарник.

Для систем кондиціонування застосовують ТРВ двох типів: з лінією внутрішнього вирівнювання і з лінією зовнішнього вирівнювання (рис. 4.8). ТРВ з лінією зовнішнього вирівнювання рекомендується застосовувати з випарником, який має низький перепад тисків.

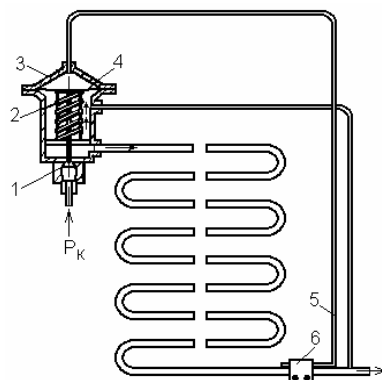


Рис. 4.8 – Схема терморегулюючого вентиля

Силowym елементом ТРВ є герметична термочутлива система, яка складається з термобалона *б*, капіляра *5*, мембрани *4*, корпусу *3* мембрани та холодоагенту, що використовується в системі кондиціонування. Термобалон *б*, що встановлений на виході з випарника, сприймає температуру перегрітої пари. При цьому в термочутливій системі створюється тиск, що діє на мембрану *4* ТРВ з одного боку (зверху), а з другого боку (знизу) на неї діє тиск кипіння хладону у випарнику, зусилля пружини *2* і зусилля, що діє на клапан *1* вентиля, яке визначається тиском конденсації P_k . При відсутності перегріву пари сили, що діють на мембрану, врівноважені, і під дією пружини *2* клапан *1* вентиля закритий. При збільшенні перегріву пари тиск в термочутливій системі зростає, збільшується сила, що діє на мембрану зверху. При цьому змінюються співвідношення сил, що діють на мембрану. Мембрана *4* деформується і відкриває клапан *1*, збільшуючи кількість холодоагенту, який поступає у випарник.

У сучасних системах кондиціонування повітря, широко застосовують терморегулюючий вентиль блочного типу. В такій конструкції поєднані в одному корпусі впускні та впускні тракти для ліній рідинної фази холодоагенту та його перегрітої пари. Всі чутливі елементи температури та тиску вмонтовані в цей вентиль, що зменшує імовірність пошкоджень ТРВ і відпадає необхідність у зовнішньому термобалоні.

4.2.4. Кондиціонери типу “спліт-система”

Робота кондиціонера ґрунтується на переміщенні теплоти скрапленим газом, який називають холодоагентом, в процесі переходу його з рідини в пару та навпаки. В кондиціонерах сучасного типу використовують холодоагент R-407^a. На рис. 4.9 наведена гідравлічна схема найпростішого спліт-кондиціонера.

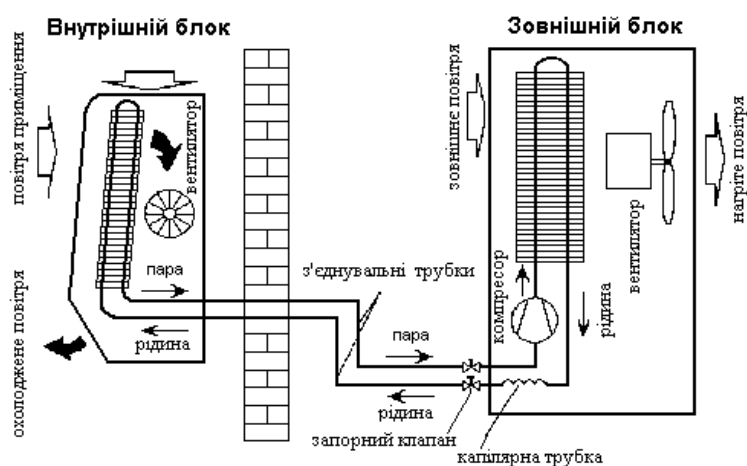


Рис. 4.9 – Гідравлічна схема спліт-кондиціонера, що працює тільки на охолодження

В зовнішньому блоці, що знаходиться зовні приміщення, встановлено компресор, завдяки якому в контурі циркулює холодоагент. В тій частині контуру, що знаходиться у внутрішньому блоці, холодоагент має низький тиск, оскільки на виході із зовнішнього блока він дроселюється у капілярній трубці або в ТРВ залежно від конструкції кондиціонера.

Холодоагент, температура якого після дроселювання становить 10...15 °С, закипає і переходить в пару. Необхідна для цього енергія поступає з теплого повітря приміщення, яке віддає частину своєї теплоти холодоагенту в теплообміннику-випарнику внутрішнього блоку. Охоложене таким чином повітря повертається тангенціальним вентилятором внутрішнього блока знову в приміщення. Водночас, пароподібний холодоагент, що проходить через компресор зовнішнього блоку, стискається в компресорі, при цьому температура його підвищується до 50...60 °С. Далі пара охолоджується в конденсаторі зовнішнього блока і знову перетворюється в рідину, віддаючи при цьому теплоту повітрю, що оточує конденсатор зовнішнього блока.

Після конденсатора рідинний холодоагент пропускається через капілярну трубку чи ТРВ (дроселюється). Тиск при цьому падає, температура знову знижується до 10...15 °С, в результаті чого рідина знову закипає у випарнику внутрішнього блока і поглинає теплоту із приміщення, що охолоджується.

Контур спліт-кондиціонера, що працює не тільки в режимі охолодження, але й обігріву, влаштований складніше (див. рис. 4.10). Оскільки при переключенні режиму роботи кондиціонера зовнішній та внутрішній блоки нібито змінюють місця (внутрішній теплообмінник стає конденсатором, а зовнішній – випарником), в складі контуру встановлено чотириходовий клапан, призначений для зміни напрямку руху холодоагента.

Після того, як кондиціонер переведений в режим обігріву, і чотириходовий клапан змінив напрям руху холодоагента, компресор починає всмоктувати холодоагент із зовнішнього блока і нагнати його у внутрішню частину контуру. Пара з високою температурою та тиском поступає у внутрішній теплообмінник, де конденсується до рідини і виділяє теплоту в кімнату. Конденсована рідина дроселюється на виході капілярної трубки і потім у зовнішньому блоці перетворюється в пару. Пароподібний холодоагент всмоктується компресором, починається новий цикл.

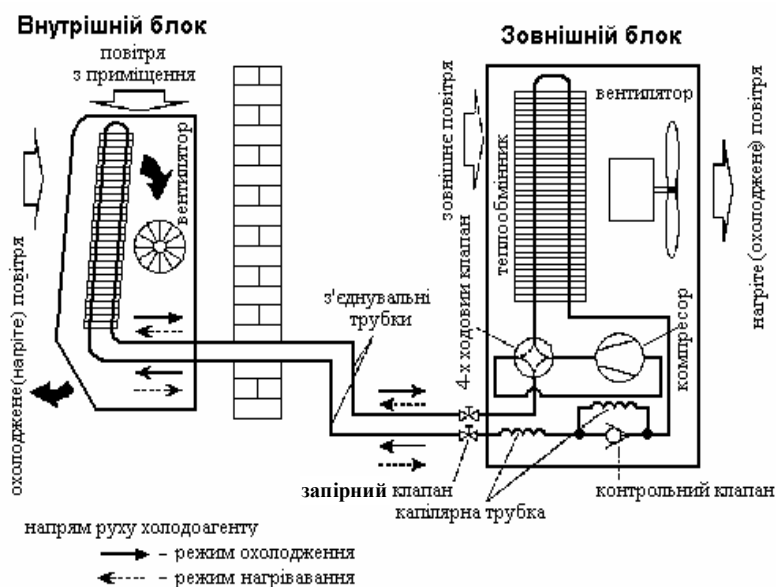


Рис. 4.10 – Гідравлічна система дворежимного спліт-кондиціонера

Кондиціонер, що працює в режимі обігрівання, називається *тепловим насосом*. Це означає, що нагрівання повітря в приміщенні відбувається за рахунок теплоти, що забирається з зовнішнього повітря (перекачка теплоти з вулиці в приміщення). Проте, чим нижча температура на вулиці, тим складніше відбирати теплоту у зовнішнього повітря. Іншими словами, потужність обігрівання падає по мірі зниження температури на вулиці.

Іноколи в технічній літературі можна зустрітися з некоректним висловлюванням, що коефіцієнт корисної дії кондиціонера перевищує 100 %. Насправді у цьому випадку слід говорити не про к.к.д., а про коефіцієнт ефективності E теплового насоса.

Якщо гаряче середовище має температуру T_1 , а холодне середовище має температуру T_0 , тобто $T_1 > T_0$, то в прямому теплосиловому циклі перетворення високотемпературної теплоти Q_1 в роботу L завжди буде відбуватися перехід частини теплоти на більш низький температурний рівень T_0 (у нагрівача, що має температуру T_1 , відбирається теплота Q_1 , а у холодильнику, що має температуру T_0 , віддається теплота Q_0). За законом збереження енергії:

$$Q_1 = L + Q_0,$$

а к.к.д. прямого теплосилового циклу дорівнює:

$$K = L/Q_1.$$

В циклі теплового насоса низькотемпературна теплота Q_0 перетворюється в високотемпературну теплоту Q_1 за рахунок роботи L , яку виконує насос. Закон збереження енергії при цьому виконується, а коефіцієнт ефективності становить:

$$E = Q_1/L.$$

Для теоретичного циклу Карно без втрат енергії коефіцієнт ефективності дорівнює:

$$E = T_1/(T_1 - T_0).$$

Чим ближче значення температур T_1 і T_0 , тим вищий коефіцієнт ефективності циклу теплового насоса. Тому зі зниженням температури повітря на вулиці ефективність кондиціонера, що працює на обігрів, падає.

Практично досягнуте значення коефіцієнта ефективності за рахунок втрат енергії становить 0,55...0,70 від теоретичного.

4.3. Зволожувачі повітря

У квартирах вологість повітря коливається у широкому діапазоні залежно від пори року, опалення, зовнішніх умов та інших факторів. Оптимальною відносною вологістю вважається 45 %, допускаються коливання від 30 до 70 %. Побутові зволожувачі повітря призначені для підвищення відносної вологості повітря в приміщеннях до 60...70 %.

Зволоження повітря в побутових умовах може бути здійсненим наступними основними способами:

1) обтікання повітрям багатоструменевого фонтана води, який подається з розпилювача. При цьому складова крапель води малої дисперсності зволожує повітря, а більші частинки повертаються в збірник, звідкіля знову подаються за допомогою відцентрового насоса в розпилювач. На цьому способі базується принцип роботи зволожувачів, продуктивність яких (до 0,2 л/год) обмежена максимально допустимими габаритними розмірами побутових приладів;

2) обтікання повітрям нерухокої пористої поверхні, нижня частина якої знаходиться у воді. Під дією капілярних сил вода підіймається та розтікається на всій пористій поверхні, з якої видувається повітряним потоком. Для забезпечення необхідної продуктивності потрібна велика площа поверхні обдування, що значно збільшує габарити приладу. Крім того ця поверхня забруднюється, що знижує продуктивність процесу. Цього недоліку можна уникнути, якщо зробити пористу поверхню рухомою та промивати її постійно в ємності з водою. Цей спосіб використовується в кліматизерах, габаритні розміри яких значно більші розмірів зволожувачів;

3) випарювання за допомогою підігріву, при цьому процес зволоження забезпечується за рахунок неоднаковості парціальних тисків парів на поверхні води та в повітрі кімнати. Цей метод потребує значних витрат енергії, тому його доцільно використовувати в приміщеннях, де вартість електроенергії менше (в квартирах з електроплитами);

4) відцентрове розпилення води за допомогою вентилятора. Цей спосіб найбільш прийнятний для зволоження повітря в умовах побутових приміщень. Крім того при зволоженні подрібненими краплями води одночасно відбувається і іонізація повітря за рахунок електроіонізації дрібнодисперсних частинок рідини.

Повітря завжди містить в собі певну кількість іонів. В гірських місцевостях, на березі моря, біля водопадів кількість іонів в атмосферному повітрі досягає 2...3 тисячі в см^3 при переважачому числі негативних. В той самий час в звичайних умовах кількість іонів в повітрі біля однієї тисячі в см^3 . Після іонізації при відцентровому розпиленні кількість негативних іонів збільшується в 2–3 рази. Відцентрові розпилювачі повітря випускаються з плавним або ступінчастим регулюванням продуктивності. Залежно від ємності бачка для води розпилювачі можуть бути від 1,5 до 5 л, продуктивність розпилення коливається від 0,25 до 1 л/год, маса – від 2,0 до 2,5 кг, а потужність двигуна – від 30 до 50 Вт.

Конструктивна схема електрзволожувача наведена на рис. 4.11.

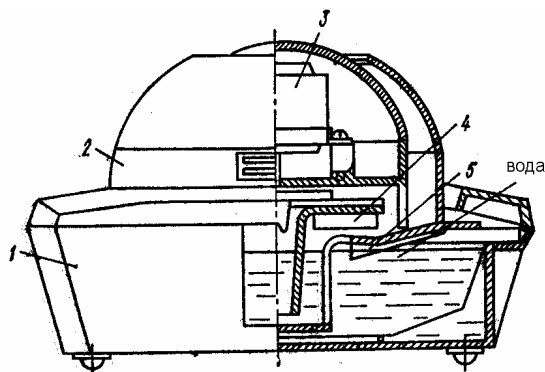


Рис. 4.11 – Конструктивна схема електрзволожувача

Електрозволожувач являє собою корпус 2, в якому розміщений резервуар 1 для води та пристрій для підйому та розпилення води.

У корпусі закріплений асинхронний електродвигун 3, на валу якого змонтована крильчатка 4 з конусом для підйому води. До нижньої частини корпусу прикріплена пластина 5, яка визначає напрямок зволоженого повітря та є запобіжником від механічного пошкодження крильчатки 4 та конуса. Вода з резервуара 1 конусом підіймається на тарілчасту частину крильчатки 4, з якої відцентровою силою направляється на решітку, де розбивається на дуже маленькі частинки. Крильчатка 4 подає зволожене повітря напрямним каналом в приміщення. Великі частинки води, які не попали в повітря, повертаються знову в резервуар. На резервуарі нанесені позначки, які показують рівень води.

У конструкціях є можливість регулювання продуктивності процесу за рахунок збільшення або зменшення величини отвору для зволоженого повітря при виході з направленного каналу. Це регулювання забезпечується обертанням верхнього шарового кільця на певний кут.

4.4. Електричні очищувачі повітря

Очищувачі повітря призначені для очищення повітря кухонь від пилу, неприємних запахів, знищення шкідливих бактерій, а також для доокиснення CO до CO₂. Продуктивність очищення повітря в різних конструкціях коливається в межах 100...200 м³/год, а ступінь очищення повітря становить 80...85 %.

Принцип дії очищувачів повітря заснований на тому, що під час термічної обробки продуктів повітря, яке підіймається над плитою, за допомогою вентилятора проходить через систему фільтрів, де і відбувається процес очищення.

В якості фільтрів використовуються:

- сітка з синтетичних волокон з малим аеродинамічним опором для попереднього очищення від великих частинок пилу та кіптяви;
- фільтри з матеріалу ФП (фільтри Петрянова) – для тонкого очищення від аерозолів;
- активований вугіль або озонуючі лампи – для видалення запахів та знешкодження шкідливих бактерій;
- паладієві каталізатори з об'ємом пор до 0,4 см³/год – для доокиснення CO до CO₂.

Очищувачі повітря випускають витяжного та рециркуляційного типів, коли повітря після фільтрації знову повертається в приміщення.

Найбільш продуктивним із усіх вітчизняних очищувачів повітря (200 м³/ч) є надплитний фільтр, призначений для очищення повітря газифікованих кухонь, тому що доокиснює CO (продукт неповного згоряння газу) до CO₂, а також поглинає жирові речовини, аерозолі, очищає повітря від пилу.

Електрофільтр (рис. 4.12) складається з корпусу, в якому розташовані всі пристрої і каретка 4, на якій встановлений електродвигун 2 разом з відцентровим вентилятором 3.

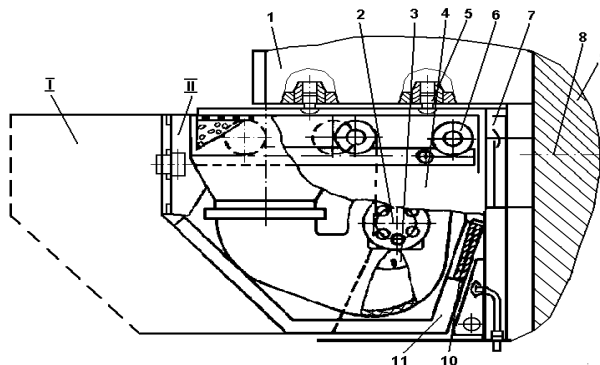


Рис. 4.12 – Схема конструкції надплитного електрофільтра

У положенні I, коли каретка 4 висунута максимально вперед, коло задньої стінки корпусу утворюється камера, у яку надходить забруднене повітря. З камери повітря проходить через бічну рамку 11, на якій змонтований фільтруючий матеріал 10. Виконання бічної рамки у вигляді робочої фільтруючої поверхні сприяє інтенсифікації процесу проходження забрудненого повітря через фільтр. При двох працюючих конфорках каретка 4 по роликах 6 переміщується в положення II.

Одною з особливостей приладу є конструкція вентилятора 3. Електродвигун 2 встановлений горизонтально, а усмоктувальний отвір вентиляційного вузла розташований перпендикулярно до поверхні фільтруючого матеріалу. Така конструкція вентиляційного вузла в поєднанні з використанням високооборотного електродвигуна з частотою обертання 2800 об/хв дозволяє значно зменшити розміри вентилятора. Вентилятор 3 має дві ступені регулювання витрат повітря. Слід зазначити ще одну особливість конструкції: передня частина фільтра скошена, що також сприяє інтенсифікації процесу очищення, особливо при висунутій каретці, тому що скошена частина також є робочою фільтруючою поверхнею.

Надплитний фільтр можна встановлювати не тільки як індивідуальний прилад, але й у кухонному комплексі. Індивідуально прилад кріпиться до стіни 9 за допомогою гвинтів 8, закріплених у стіні, і пазів – отворів 7, що розташовані на задній стінці корпусу приладу. При використанні в кухонному комплексі у верхній частині корпусу передбачають болти 5 для закріплення його до кухонної шафи 1.

У промисловості випускаються також фільтри, які призначені для користування в кухнях з електричними плитками. Такі фільтри не мають можливості доокиснення CO до CO₂, але вони обладнанні озонними лампами для видалення аерозолів.

КУХОННІ МАШИНИ ТА ПРИЛАДИ

5.1. Посудомийні машини

5.1.1. Основні методи миття посуду

Миття посуду є однією з найбільш трудомістких операцій і займає 12...15 % часу в побутових роботах. Миття посуду за своєю фізичною суттю подібне пранню білизни, але цей процес значно легший. По-перше, асортимент виробів для миття значно менший і не перевищує десять видів, включаючи порцеляну, кераміку, пластмасові, металеві та емальовані вироби. По-друге, забруднення мають незначну адгезію і легше видаляються з поверхні посуду. По-третє, вироби під час миття знаходяться в стаціонарному стані, що значно спрощує процес обробки і дає можливість створити оптимальні гідравлічні поля в камері посудомийної машини.

Під час миття посуду під дією струменя води зменшується адгезія забруднення, яке видаляється в миючий розчин. Для зменшення адгезії в струмінь води вводиться миючий засіб (поверхнево-активна речовина – ПАР), який зменшує силу зчеплення забруднення з поверхнею посуду. Молекули ПАР мають специфічну будову. Вони дифільні, тобто складаються з двох частин: гідрофільної групи, яка легко взаємодіє з водою, та гідрофобної, яка взаємодіє з поверхнею посуду, зменшуючи поверхневий натяг на границі розподілу фаз. ПАР у вигляді молекулярної плівки проникає між поверхнею посуду та забрудненням і розділяє їх. Крім того, при взаємодії ПАР з жирами відбувається гідроліз останніх. Активність гідролізу залежить від температури миючого розчину, яка повинна бути в межах +75...+80 °С.

У побутових посудомийних машинах використовують механічний, занурювальний та гідроструменевий способи миття.

Механічний спосіб миття ґрунтується на використанні щіток різних типів. У зв'язку з тим, що посуд має складну конфігурацію, цей спосіб використовують тільки для миття виробів одного типу (наприклад, пляшок У харчовій промисловості).

Занурювальний спосіб аналогічний активаторному способу, який використовується в пральних машинах: посуд завантажується в бак з миючим розчином, а активатор підсилює дію розчину. Використовують пневматичні та ультразвукові активатори. Пневматичні активатори використовують в машинах з баком, який має дві камери. Камери з'єднані між собою через триходовий клапан з вакуум-насосом. Під час переключення клапана в камерах по черзі утворюється розрідження, тому рідина перетікає з однієї камери в іншу і навпаки. При цьому змивається забруднення з посуду. Ультразвукові вібратори та комбінація з ними активатора забезпечують отримання зворотного-поступального руху миючого розчину під дією кавітації, яка виникає при направленому проходженні через розчин ультразвукових коливань. Однак такі машини мають великі розміри, створюють значний шум, а технологічний процес потребує підвищених витрат електроенергії і води.

Гідроструменевий спосіб миття ґрунтується на фізико-хімічному та гідравлічному впливі струменя розчину на поверхню посуду. В посудомийних машинах бак для миття заповнюється розчином частково, а посуд розміщують в корзинах вище рівня розчину. Миючий розчин через форсунки розпилювача, що обертається в горизонтальній площині, під тиском пода-

ється на посуд циркуляційним насосом. Гідроструменевий спосіб забезпечує кращі показники якості миття в порівнянні з іншими способами, конструктивно простий, легко піддається автоматизації, потребує найменших витрат води, електроенергії та миючих засобів. Його ефективність залежить від тиску на виході із розпилювачів, їх конструкції і розмірів, типу забруднювача, температури та складу миючого розчину, відстані від розпилювача до посуду, кута між струменем та оброблюваною поверхнею, а також часу миття.

Результати експериментальних досліджень показали, що при підвищенні температури розчину до +60 °С ефективність процесу різко підвищується, але при подальшому підвищенні температури розчину інтенсивність змивання забруднень уповільнюється. Основна маса забруднень (60...80 %) змивається протягом 3 хв, а повністю процес закінчується за 5 хв.

Ефективність посудомийних машин характеризується *питомою енергією розмиву* E_p – відношенням енергії, витраченої на розмивання забруднень, до відповідної розмитої площі:

$$E_p = Q \cdot p / F,$$

де Q – витрати миючого розчину; p – тиск на виході насадки розпилювача; F – площа, яка розмивається струменем.

Питома енергія розмиву залежить від температури розчину і часу дії струменя. Аналіз експериментальних даних показує, що мінімальну енергію розмиву при діаметрі отвору в розпилювачі 2,5 мм в діапазоні тиску від 0,1 до 0,5 МПа має струмінь розчину при тиску 0,1 МПа. Для відмивання яєчного жовтка (найгірший для відмивання продукт) температура миючого розчину повинна бути +80 °С, а тиск в насадках розпилювача – 0,4...0,5 МПа.

5.1.2. Класифікація посудомийних машин

У міжнародній класифікації побутових посудомийних машин в якості основного показника вибрана місткість камери, що вміщує одночасно певну кількість комплектів посуду. Міжнародний комплект посуду складається з 11 предметів для прийому їжі та 6–11 предметів, для сервірування столу. Камери посудомийних машин вміщують 4–16 комплектів, оптимальними вважають камери на 6–12 комплектів, тому що посудомийні машини використовують також і для зберігання посуду.

Ступінь автоматизації машини визначається часом участі оператора у технологічному процесі. Сучасний стан розвитку техніки забезпечує можливість використовувати автоматичні посудомийні машини, які оснащені електронними системами керування та контролю. В деяких моделях посудомийних машин вмонтований пристрій для подрібнення твердих побутових частинок, які потім виносяться в каналізацію.

Посудомийні машини випускаються на 4, 6, 8, та 12 комплектів посуду (МПА–4, МПА–6, МПА–8, МПА–12). Розглянемо, як приклад, конструкцію моделі МПА–4 (див. рис. 5.1). Машина складається з корпусу 2, в якому розташовані камера для миття 20 з дверима 11 та машинне відділення 1 з циркуляційним насосом 15, насосом для зливу 14, блоками комутації 16 та живлення 17, які взаємодіють з пультом 10 керування машиною. Корпус встановлено на чотирьох регульованих опорах 13, за допомогою яких досягається горизонтальне положення машини.

В камері для миття змонтована стійка 18, на якій встановлено розпилювач 12 з форсунками-насадками 25, через які під час обертання розпилювача навколо стійки подається миючий розчин на посуд. У нижній частині камери розташований збірник робочої речовини 26 з нагрівачем 24, фільтром 23 та датчиком температури 3. На бічних стінках камери встановлені датчик рівня рідини 4 та дві напрямні для розміщення корзини з посудом і приладами для сервірування. Корзина 5 має ажурну конструкцію, що дозволяє миючому розчину контактувати з посудом.

Двері 11 щільно закривають камеру, фіксуються за допомогою замка 9 і відкриваються рухом на себе за допомогою ручки 8. Герметизацію камери забезпечує спеціальний гумовий ущільнювач 19. У відкритому стані двері фіксуються горизонтально, що дозволяє використовувати їх як опори для корзини, що висунута. На внутрішній панелі дверей розташовані доза-

тори миючих 22 та речовин ополіскування 21. Дозатор відкривається за допомогою електромагнітних пристроїв, команда на які подається через пульт керування.

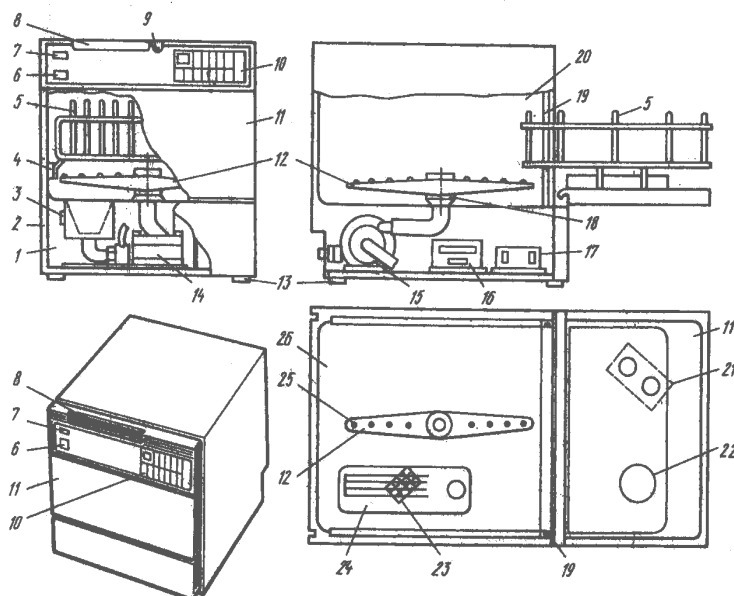


Рис. 5.1 – Схема конструкції посудомийної машини на чотири комплекти посуду

На лицевій панелі розташований пульт 10 з клавішею вмикання мережі живлення 6, індикатором 7, який підтверджує вмикання машини, сенсорною або квазісенсорною клавіатурою вибору програм та цифровим індикатором. Під час вибору програми на індикаторі відображається її номер, а після запуску програми за допомогою клавіші “пуск” – час, який залишився до завершення циклу обробки.

На пульті керування є можливість вибору режимів роботи (нормального, бережливого, інтенсивного, економного), виду ополіскування (холодного або гарячого), а також температури миючого розчину (40, 50 або 65 °С). У випадку необхідності термінової зупинки машини натискається клавіша “стоп”. Для продовження роботи потрібно знову ввімкнути програму. При відкриванні дверей камери машина автоматично відключається до тих пір, поки герметизація не буде забезпечена знову. Після закінчення циклу миття посуду на індикаторі з’являється індекс “00”, та подається звуковий сигнал. Машина має не менше чотирьох автоматичних програм:

1) інтенсивна програма-обробка для миття посуду, який має забруднення давністю трьох і більше днів. Ця програма включає попереднє ополіскування, основне миття, два ополіскування при температурі 65...70 °С та сушіння;

2) нормальна програма-обробка для сильно забрудненого посуду з попереднім ополіскуванням, основним миттям при температурі миючого засобу 65...70 °С, гарячим ополіскуванням та сушкою;

3) бережлива (або легка) програма-обробка для забрудненого посуду із свіжими залишками їжі з гарячим ополіскуванням та сушкою;

4) економна програма розрахована на зменшення витрат води та енерговитрат при повному завантаженні або зменшення нагріву при збільшенні циклу та тривалості процесу.

5.1.3. Розрахунки елементів посудомийних машин

Розрахунок циркуляційного насоса. Для забезпечення циркуляції розчинів для миття та полоскання в машині застосовують відцентровий насос. Схема робочого колеса насоса представлена на рис. 5.2.

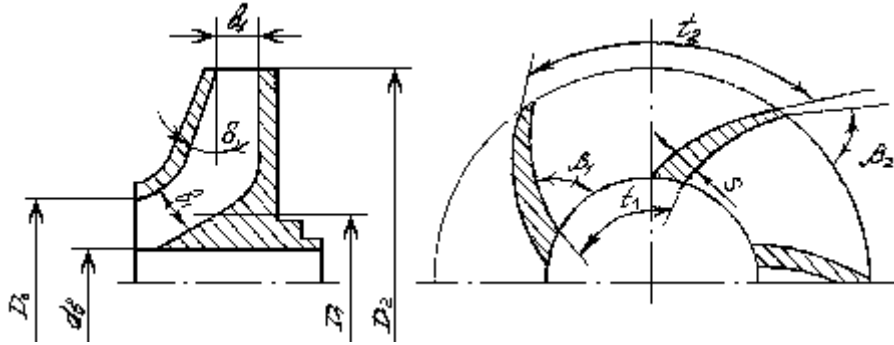


Рис. 5.2 – Розрахункова схема робочого колеса насоса

Вихідними даними для розрахунку є продуктивність насоса Q , м³/с; напір H , м вод. ст.; частота обертання колеса насоса n , об/хв; число ступенів насоса Z ($Z = 1$); ρ – густина робочого середовища, кг/м³ (робоче середовище – вода з харчовим забрудненням, $\rho = 1,05 \cdot 10^3$).

Для розрахунків геометричних параметрів робочого колеса насоса потрібно визначити швидкість V_0 рідини на вході в насос:

$$V_0 = 0,06 \sqrt[3]{Q_1 \cdot n^2}, \text{ м/с,}$$

де $Q_1 = \frac{Q}{\eta_{об}}$ – продуктивність насоса з урахуванням об'ємних втрат, м³/с; $\eta_{об}$ – коефі-

цієнт корисної дії з урахуванням об'ємних втрат, $\eta_{об} = 0,9$.

Внутрішній діаметр $D_{вн}$ вхідного патрубку визначається з виразу:

$$D_{вн} = \sqrt{\frac{4Q_1}{\pi \cdot V_0}}, \text{ м.}$$

Діаметр D_1 входу в колесо (діаметр середньої точки вхідної кромки лопаті колеса) дорівнює $0,9 D_{вн}$, ширина b_1 лопаті колеса на вході – $0,35 D_{вн}$.

Швидкість V_{m1} входу рідини на лопаті колеса насоса в зв'язку зі стисканням потоку повинна бути більше швидкості V_0 на величину коефіцієнта стиснення K_1 .

Приймаємо $K_1 = 1,15$. Тоді $V_{m1} = K_1 \cdot V_0$, м/с.

Визначаємо колову швидкість колеса на вході рідини в насос:

$$U_1 = n \cdot \frac{\pi \cdot D_1}{60}, \text{ м/с.}$$

Кут β_1 потоку рідини при вході на лопаті колеса обчислюємо за формулою:

$$\beta_1 = \text{arctg} \frac{V_{m1}}{U_1}.$$

Для покращення гідравлічного обтікання профілю лопаті колеса кут β_1 повинен бути збільшеним на величину кута атаки δ , який, як правило, дорівнює $5 \dots 10^\circ$.

Зовнішній діаметр колеса D_2 становить:

$$D_2 = 19,1 \sqrt{\frac{2gH}{n}}, \text{ м.}$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с².

Колову швидкість U_2 на виході рідини з насоса визначаємо за формулою:

$$U_2 = \sqrt{2gH}, \text{ м/с,}$$

Якщо відома колова швидкість U_2 , є можливість перевірити отримане раніше значення D_2 за формулою:

$$D_2 = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot n}, \text{ м.}$$

Крім того, необхідно перевірити виконання співвідношення $D_2 > (2,5 \dots 4,0) D_1$.

Для збереження сталої характеристики кількості лопатей робочого колеса m повинна бути в межах 6...7. Товщина лопаті колеса S приймається рівною від 1,8 до 2 мм.

Крок лопаті t_1 на вході обчислюється наступним чином:

$$t_1 = \frac{2\pi R_1}{m}, \text{ м.}$$

Ширина лопаті робочого колеса b_2 на виході визначається за виразом:

$$b_2 = \frac{Q_1}{\pi D_2 V_{m2}}, \text{ м,}$$

де V_{m2} – меридіанна швидкість на виході, м/с.

Як правило, приймається $V_{m2} = V_{m1}$. Тоді:

$$b_2 = \frac{Q_1}{\pi D_2 V_{m1}}, \text{ м.}$$

Крок лопотів t_2 на виході становить:

$$t_2 = \frac{\pi D_2}{m}, \text{ м.}$$

Потужність двигуна насоса визначається за формулою:

$$N = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta}, \text{ Вт,}$$

де η – загальний к.к.д.

Гідравлічні та механічні втрати насоса оцінюються відповідними к.к.д. $\eta_{гид}$ та η_m ($\eta_{гид} = 0,9$; $\eta_m = 0,8$). Загальний к.к.д. насоса η буде дорівнювати:

$$\eta = \eta_{гид} \cdot \eta_{об} \cdot \eta_m$$

і з урахуванням умов роботи приймається в межах $\eta = 0,45 \dots 0,55$.

Згідно із отриманими значеннями N вибирається стандартний електродвигун потужністю не меншою, ніж розрахункове значення.

Розрахунок розпилювача. Розпилювач під час обертання забезпечує миття посуду за рахунок струменів миючого розчину, які формуються в форсунках, розташованих по всій його довжині. Кількість форсунок k залежно від об'єму камери становить від 5 до 9.

У більшості розпилювачів форсунки розташовані паралельно одна одній, що не забезпечує рівномірності миття та ополіскування по всій довжині, і, як наслідок, призводить до зниження якості процесу.

Для забезпечення рівномірного змивання забрудненої поверхні форсунки повинні бути розташовані і зорієнтовані в корпусі розпилювача так, щоб площі f кільцевих ділянок, які змиваються чи ополіскуються, дорівнювали $f_1 = f_2 = \dots = f_k$ (рис. 5.3).

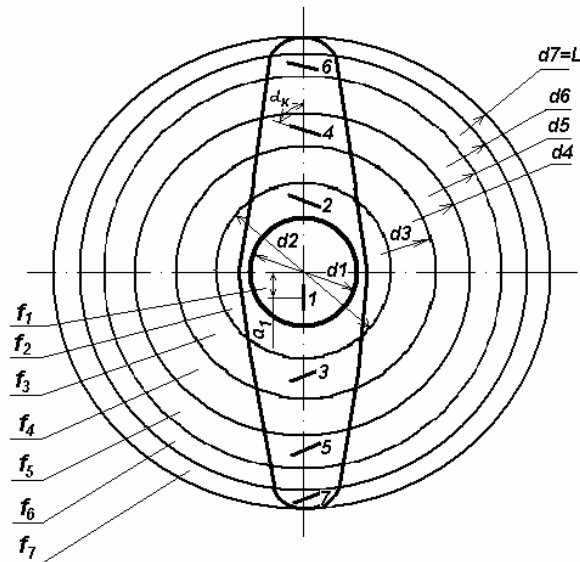


Рис. 5.3 – Схема розташування форсунок у розпилювачі

Зовнішній діаметр кожної кільцевої ділянки може бути розрахованим за формулою:

$$d_i = L \sqrt{\frac{k}{n}}, \text{ мм},$$

де L – робоча ділянка розпилювача, мм; k – номер форсунки, що розраховується, $k = 1, 2, \dots, n$; n – кількість кільцевих ділянок (збігається з кількістю форсунок).

З конструктивних міркувань приймаємо L на 40...60 мм менше, ніж ширина та глибина мийної камери.

Як видно з рис. 5.3, центр першої форсунки розташований на відстані a_1 від центра обертання. Тоді, очевидно, що:

$$a_1 = \frac{d_1}{4}, \text{ мм}.$$

Відстань a_{i1} від центра обертання до центрів інших форсунок визначається за виразом:

$$a_k = \frac{L}{8\sqrt{n}} (\sqrt{4k-5} + \sqrt{4k-1}),$$

де k – номер форсунки, не враховуючи першої, $k = 2, 3, \dots, n$.

Перша форсунка розташована поздовж осі корпусу розпилювача. Кут нахилу α_k осі другої і послідовних форсунок відносно осі корпусу розпилювача визначається за формулою:

$$\alpha_k = \text{arctg} \frac{2}{\sqrt{4k-1} - \sqrt{4k-5}}.$$

Загальні витрати рідини через форсунок розпилювача $Q_{\text{заг}}$ розраховуємо за умовою необхідності однаковості витрат через кожен форсунку (для забезпечення якісного миття посуду):

$$Q_{\text{заг}} = Q \cdot k_{\text{заг}}, \text{ см}^3/\text{с},$$

де Q – витрати рідини через одну форсунку, $\text{см}^3/\text{с}$; $k_{\text{заг}}$ – кількість форсунок з урахуванням тих, які забезпечують обертальний рух розпилювача, $k_{\text{заг}} = k + 2$.

Початкову швидкість U_0 рідини у плечі розпилювача розраховуємо за формулою:

$$U_0 = \frac{Q_{заг} k_2}{k_{заг} F_0}, \text{ см/с,}$$

де k_2 – кількість форсунок у плечі розпилювача (при загальній кількості форсунок 9 перше плече $k_2 = 4$, друге плече $k_2 = 5$); F_0 – площа поперечного перерізу розпилювача в центрі, см^2 .

Площа поперечного перерізу дорівнює:

$$F_0 = a_0 b_0, \text{ см}^2,$$

де a_0 та b_0 – відповідно висота і ширина перерізу розпилювача в центрі, см. З конструкторських міркувань приймаємо $a_0 = 1,4$ см; $b_0 = 5,2$ см.

Середня швидкість U °С_p визначається півсумою швидкостей в лівому U_{01} і правому U_{02} плечах розпилювача. Швидкості U_k рідини в перерізах розпилювача в місцях розташування форсунок визначаємо з умови векторного складання швидкостей:

$$U_k = \sqrt{U_{0cp}^2 + \omega_0^2 a_k^2}, \text{ см/с,}$$

де ω_0 – кутова швидкість обертання розпилювача, с^{-1} (за експериментальними даними $\omega_0 = 0,5 \text{ с}^{-1}$); a_k – відстань відповідної форсунки від центра обертання розпилювача, см.

Площі перерізу F_k розпилювача в місцях розташування форсунок знаходимо за формулою:

$$F_k = \frac{Q_{заг} \cdot k}{k_{заг} \cdot U_k}, \text{ см}^2,$$

де k – кількість форсунок в плечі розпилювача; $k_1 = 4$, $k_3 = 5$; U_k – швидкість рідини у відповідному перерізі.

5.1.4. Тепловий розрахунок посудомийної машини

Для підігріву миючого розчину вибираємо два електронагрівачі потужністю 900 Вт кожний (загальне навантаження на електромережу не повинно перевищувати 2000 Вт). Тоді, враховуючи к.к.д. електронагрівача, який дорівнює 0,95, кількість теплоти Q_n буде дорівнювати:

$$Q_n = 1800 \cdot 0,95, \text{ Вт.}$$

Кількість рідини в камері залежить від її об'єму. Приймаємо для стандартної миючої машини в межах 3...5 л. Згідно з вимогами стандарту температура розчину повинна бути:

- гарячої рідини $T_z = (333 \pm 5) \text{ К}$; приймаємо максимально можливе значення $T_z = 338 \text{ К}$;
- холодної рідини $T_x = (293 \pm 5) \text{ К}$; приймаємо мінімально можливе значення $T_x = 288 \text{ К}$.

Тепловий потік Q_n витрачається на нагрівання рідини і передається через корпус машини в навколишнє середовище, тобто:

$$Q_n \geq Q_p + \sum_{i=1}^n \Delta Q,$$

де Q_p – теплота для підігріву розчину до температури T_z ; $\sum_{i=1}^n \Delta Q$ – сумарні втрати теплового потоку в навколишнє середовище.

Кількість теплоти Q'_p , яка витрачається на підігрів мийного розчину від T_x до T_z , визначається за формулою:

$$Q'_p = c \cdot \rho \cdot V (T_z - T_x), \text{ Дж,} \quad (5.1)$$

де c – питома теплоємність розчину при 293 К, $c = 4190$ Дж/(кг·К); V – об'єм підігрітого розчину, м³.

Тепловий потік буде дорівнювати:

$$Q_p = \frac{Q'_p}{\tau}, \text{ Вт,}$$

де τ – час, який витрачається на підігрів розчину. Експериментально встановлено, що для МПА–6 з об'ємом 3,5 л він дорівнює 540 с.

Втрати теплоти в навколишнє середовище через корпус визначаються з урахуванням таких умов: 1) три стінки камери для миття (дві бокові і задня) та верхня поверхня мають тепловою ізоляцію; 2) дно камери, двері та нижня поверхня посудомийної машини ізоляції не мають.

Тепловий потік Q_1 , який витрачається на компенсацію втрат в навколишнє середовище через поверхні, які мають ізоляцію, буде:

$$Q_1 = q \cdot F, \text{ Вт,} \quad (5.2)$$

де q – густина теплового потоку, Вт/м²; F – площа поверхні теплообміну, м².

Густина теплового потоку визначається за формулою:

$$q = K(T_1 - T_2), \text{ Вт/м}^2, \quad (5.3)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К; T_1 – температура повітря в камері, $T_1 = 338$ К; T_2 – температура навколишнього середовища, $T_2 = 293$ К.

Коефіцієнт теплопередачі K у цьому випадку (тришарова стінка) визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (5.4)$$

де $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}$; α_1 – коефіцієнт теплопередачі від повітря до внутрішньої стінки камери, $\alpha_1 = 20$ Вт/м²·К; δ – товщина стінки, через яку проходить тепловий потік; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К; α_2 – коефіцієнт теплопередачі від стінки корпусу машини в повітря; $\alpha_2 = 15$ Вт/м²·К.

Виходячи з конструктивних міркувань, приймаємо товщину стінки камери $\delta_1 = 0,7 \cdot 10^{-3}$ м; товщину термоізоляційного матеріалу $\delta_2 = 2,0 \cdot 10^{-2}$ м; товщину стінки корпусу машини $\delta_3 = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м. Коефіцієнти теплопровідності через стінку камери, пінополіуретанову ізоляцію та стінку корпусу машини дорівнюють $\lambda_1 = 40$ Вт/м·К; $\lambda_2 = 0,2$ Вт/м·К; $\lambda_3 = 40$ Вт/м·К, відповідно.

Тепер можна визначити густину теплового потоку за формулою (5.3).

Для визначення площі поверхні теплообміну F (м²) з конструктивних міркувань приймаємо розміри стінок мийної камери: бокової стінки (0,4×0,33), задньої стінки (0,4×0,33), верхньої поверхні (0,4×0,44). Тоді загальна площа цих поверхонь буде дорівнювати $F = 0,572$ м², а тепловий потік з мийної камери, який витрачається на компенсацію втрат в навколишнє середовище через ці поверхні, становить $Q_1 = 0,572q$.

Тепловий потік Q_2 через дно мийної камери у відсік, в якому розташовані комплектуючі вироби, визначаємо згідно з формулами (5.2) і (5.3), а коефіцієнт теплопередачі від гарячої води через дно мийної камери у відсік – за формулою (5.4). Для розрахунків приймаємо λ_1 – коефіцієнт теплопровідності через дно мийної камери $\lambda_1 = 40$ Вт/м·К; α_1 – коефіцієнт теплопередачі від розчину до дна мийної камери; $\alpha_1 = 1000$ Вт/м²·К; α_2 – коефіцієнт теплопередачі від дна мийної камери до повітря у відсіку під мийною камерою, $\alpha_2 = 30$ Вт/м²·К; δ_1 – товщина

дна мийної камери, $\delta_1 = 0,7 \cdot 10^{-3}$ м. Значення площі поверхні теплообміну, що розглядається, приймаємо $F_1 = 0,176 \text{ м}^2$ ($0,4 \times 0,44$). Тоді $Q_2 = 0,176q$.

Загальний тепловий потік $Q_{заг}$, який необхідний для підігріву розчину в машині з урахуванням втрат теплоти в навколишнє середовище, становить:

$$Q_{заг} = Q_p + Q_1 + Q_2.$$

З урахуванням к.к.д. електронагрівача $\eta = 0,95$, його потужність повинна бути не менше $Q_{заг} \cdot \eta$.

Якщо отримана величина $Q_{заг}$ буде менше загальної потужності нагрівачів 1800 Вт, які вибрані для підігріву миючого розчину, то тепловий розрахунок підтверджує правильність початкового вибору, в іншому випадку необхідно змінити вихідні параметри.

5.2. Універсальні кухонні машини

Універсальні кухонні машини (УКМ) призначені для виконання 4–6 операцій приготування їжі за допомогою насадок, які живляться від одного електродвигуна. Використання одного універсального привода в УКМ дозволяє за допомогою комплекту насадок робити кухонні роботи, для виконання яких необхідно мати декілька електро побутових приладів з індивідуальним приводом. Електропривод розташовується в корпусі і складається з регульованого колекторного або асинхронного двигуна з редуктором (або без нього) з одним або двома вихідними валами. Діапазон обертання вихідного вала (валів) коливається в межах від 20 до 12000 об/хв, що дає можливість приводити в рух як тихохідні (тістоперемішувачі, м'ясорубки, овочерізки), так і швидкохідні насадки (соковижималки, кавомолки, міксери). Конструкція приймального гнізда корпусу електропривода забезпечує жорстке приєднання корпусу насадок (зазвичай за допомогою байонетного з'єднання) і надійну передачу руху виконавчому органу.

Найбільш універсальна вітчизняна кухонна машина (УКМ) складається з електричного привода, до якого безпосередньо можуть приєднуватись соковижималка, міксер і кавомолка, а через редуктор – м'ясорубка, овочерізка і тістомішалка (рис. 5.4).

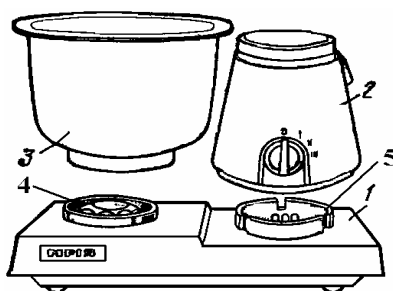


Рис. 5.4 – Схема універсальної кухонної машини

Електропривід 2 складається з тришвидкісного колекторного електродвигуна з редуктором в корпусі 1, кришки і перемикача. Перемикач, крім положення "0", при обертанні за годинниковою стрілкою можна встановлювати в положення "I", "II", "III", що відповідає вмиканню трьох швидкостей колекторного електродвигуна. Частота обертання відповідно дорівнюватиме: "I" – 5000 об/хв при споживаній двигуном потужності $N = 120$ Вт; "II" – 8000 об/хв при $N = 150$ Вт; "III" – 12000 об/хв при $N = 180$ Вт.

Редуктор знижує частоту обертання вихідного вала електродвигуна, що дозволяє встановлювати на його ведучому валу тихохідні насадки 3. Редуктор двоступінчастий з загальним передаточним числом 48. Частота обертання ведучого вала в положенні становить "I" – 104 об/хв, "II" – 168 об/хв, "III" – 250 об/хв. Редуктор має два встановлювальних гнізда. Ліве гніздо 4,

яке має внутрішній посадочний восьмигранник, слугує для встановлення тихохідних насадок, праве гніздо 5 з фіксуєчими вирізами по колу – для підключення електропривода.

Соковижималка УКМ призначена для отримання соків з фруктів, ягід та овочів. Режим роботи соковижималки безперервний, тому що мезга видаляється автоматично. Центрифуга соковижималки обертається з частотою 5000 об/хв, вихід соку – не менш 50 %, продуктивність 0,4 кг/хв. Міксер призначений для змішування, подрібнення і перетирання в пюре ягід, фруктів без кісточок та овочів. Крім того можна виготовляти соуси, коктейлі, овочеві супи-пюре. Об'єм завантаження рідинних продуктів – 1 л, а разова порція сухих продуктів – не більше 0,2 кг. Час переробки однієї порції продуктів – 3 хв. Кавомолка, крім свого прямого призначення, використовується також для отримання сухих порошоків, подрібнення солі, цукру. Частота обертання ножа – 12000 об/хв, а продуктивність 0,030 кг/хв. М'ясорубка призначена для приготування м'ясного і рибного фаршу, а також для подрібнення інших продуктів, продуктивність 0,4 кг/хв. Овочерізка призначена для шаткування різноманітних овочів і фруктів з продуктивністю 0,3 кг/хв. Тістомішалка має конструкцію у вигляді зрізаного конуса з розташованими в ньому лопатями, які здійснюють складний рух та забезпечують високу якість замісу. Продуктивність тістомішалок – 0,5 кг тіста за 3 хв.

5.3. Соковижималки

Соковижималки призначені для отримання соків із фруктів, ягід і овочів. За принципом відділення соку їх розділяють на пресові та центрифугальні. В пресових соковижималках сік з оброблюваного продукту видаляється пресуванням, в центрифугальних – під дією відцентрових сил.

Найбільш розповсюджені центрифугальні соковижималки, тому що вони забезпечують високий відсоток виходу соку. Основними елементами таких соковижималок є змонтовані на одному приводі різально-тертковий механізм, який подрібнює оброблюваний продукт, і ротор-сито (центрифуга). Відділення соку відбувається на внутрішній поверхні центрифуги. Сік, який відділився, через отвори в центрифугі зливається в спеціальну ємність, а мезга (продукт, що залишився) затримується на внутрішній поверхні, з якої потім видаляється.

За способом видалення мезги з центрифуги соковижималки бувають з ручним, напівавтоматичним і автоматичним видаленням. У соковижималках з ручним видаленням мезги необхідно зупинити привод і провести розбирання приладу. В соковижималках з напівавтоматичним видаленням мезга видаляється оператором за допомогою спеціального пристрою під час роботи приладу без зупинки приводу, з автоматичним видаленням – автоматично постійно під час роботи. Тому соковижималки з ручним видаленням мезги називають соковижималками циклічної (періодичної) дії, а напівавтоматичні і автоматичні – соковижималками безперервної дії. Продуктивність соковижималок безперервної дії вище, ніж соковижималок циклічної дії, тому що відсутні перерви в роботі.

На рис. 5.5 наведені схеми конструкцій найбільш розповсюджених соковижималок.

У корпусі 1 соковижималки з ручним видаленням мезги (рис. 5.5, а) розташований електродвигун, вал якого з'єднаний з встановлювальним диском 2, тертковим диском 4 і ротором-ситом 5. Гвинтом 8 кріплять встановлювальний і тертковий диски до валу електродвигуна. На верхній частині корпусу встановлений сокозбірник 3 з кришкою 6 і завантажувальною лійкою. Вмикається соковижималка вимикачем 10. При роботі соковижималки продукт завантажується через лійку і подається штовхачем 7 до терткового диска, який подрібнює продукт. Під дією відцентрових сил на внутрішній поверхні ротора-сита відокремлюється сік, який через отвори перфорованої поверхні ротора-сита поступає в сокозбірник 3, звідки зливається каналом 9.

Напівавтоматична соковижималка (рис. 5.5, б) принципово відрізняється від соковижималки з ручним видаленням мезги лише тим, що на кришці 6 у неї встановлений викидач мезги, на осі 13 якого розташовані три ребристі виступи 14 і важіль 12. При повороті важеля виступи видаляють мезгу з внутрішньої поверхні ротора-сита. Потім мезга викидається через лоток 11.

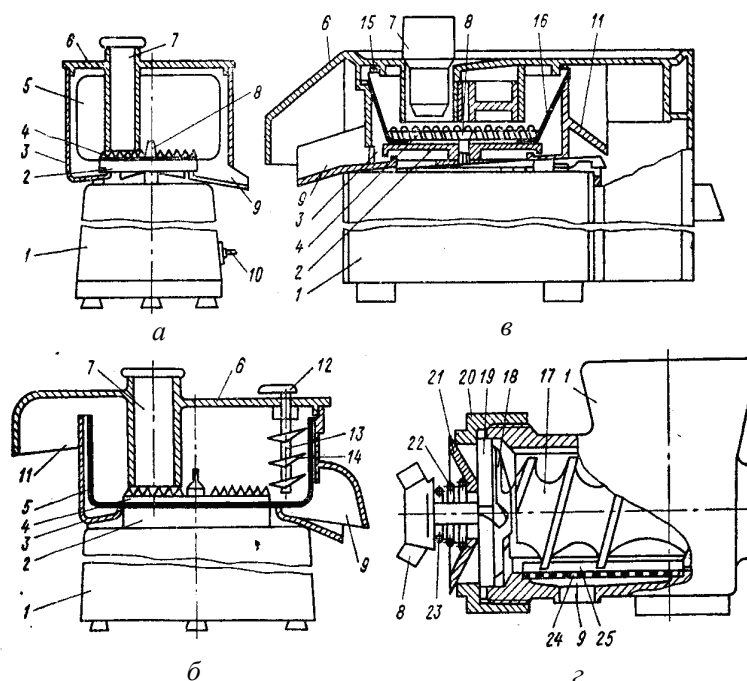


Рис. 5.5 – Схеми конструкцій соковижималок:
а-в – центрифугальні; з – пресова

Автоматична соковижималка (рис. 5.5, в) складається в основному з тих самих елементів, що і соковижималки розглянутих конструкцій. З валом електродвигуна, який встановлений в корпусі 1, через пластмасову півмуфту зв'язані встановлювальний диск 2, центрифуга 16 і тертковий диск 4. Кріплення вказаних елементів здійснюється гвинтом 8. Сокозбірник 3 має з одної сторони лоток 9 для зливу соку, а з іншої – лоток 11 для викидання мезги. Принципова різниця цієї соковижималки від соковижималок розглянутих конструкцій полягає в тому, що центрифуга 16 має форму перевернутого зрізаного конуса, який обрамлений зверху і знизу фігурними металевими ободами. На верхньому ободі є два пелюстки 15, що сприяють кращому видаленню мезги.

Під час роботи соковижималки продукт завантажують через лійку в крищі б і подають штовхачем 7 до терткового диска 4. Під дією відцентрових сил, які з'являються на тертковому диску, подрібнений продукт викидається до внутрішньої поверхні перфорованої центрифуги. При цьому частина соку поступає через отвори центрифуги в сокозбірник 3. Завдяки конічній формі центрифуги відцентрова сила, що діє на її внутрішній поверхні, має дві складові: нормальну і тангенціальну. Під дією тангенціальної складової оброблюваний продукт переміщується вгору по внутрішній поверхні центрифуги. Одночасно під дією нормальної складової відцентрової сили відбувається відділення соку. Мезга викидається через лоток 11, а сік зливається через лоток 9.

Всі центрифугальні соковижималки достатньо добре віджимають сік з твердих продуктів (морква, буряк, тверді яблука тощо) і погано – з м'яких (м'які яблука, цитрусові тощо).

Пресові соковижималки ділять на соковижималки для цитрусових і шнекові. В соковижималках для цитрусових (апельсини, лимони, мандарини) робочим органом є рифлений заокруглений конус, на який нажимають половинкою цитрусового плоду. Конус обертається з частотою 60...120 об/хв. При обертанні конуса сік, що утворюється, стікає в нижній посуд соковижималки. Вітчизняна промисловість соковижималок для цитрусових не випускає.

Шнекова соковижималка з ручним приводом (рис. 5.5, з) складається з корпусу 1, всередині якого розташований шнек 17, рухомий ніж 18, нерухомий ніж 19, накидна гайка 20, конус 21, пружина 22, гайка 8, гвинт 23 і фільтрувальний елемент (сітка) 24. Для того, щоб продукт, який обробляється, не обертася разом зі шнеком, внутрішня циліндрична поверхня корпусу має спеціальні ребра 25.

Продукт завантажують через лійку соковижималки до шнека, за допомогою якого подається до рухомого ножа і подрібнюється. Подрібнений продукт шнеком подається до підпружиненого конуса, де під дією тиску відокремлюється сік. Віджатий сік витікає через отвір 9 у корпусі, а спресована мезга автоматично видаляється із соковижималки. Ступінь віджимання соку залежить від жорсткості пружини 22, що регулюється гайкою 8.

Для приводу центрифугальних соковижималок вітчизняні виробництва застосовують асинхронні та універсальні колекторні електродвигуни. В сучасних моделях соковижималок встановлюють універсальні колекторні електродвигуни з частотою обертання 5000...10000 об/хв. Застосування колекторного електродвигуна підвищує відсоток виходу соку із продукту, дозволяє створити на базі одного приводу комбіновані прилади (м'ясорубка – соковижималка, соковижималка – міксер та ін.). Потужність приводного електродвигуна становить 100...200 Вт.

Для цитрусових соковижималок також доцільно застосовувати колекторні електродвигуни потужністю 20...30 Вт і частотою обертання 20000...25000 об/хв, що дозволяє зменшити їх масу і габаритні розміри. Обертання вала електродвигуна передається конусу через понижуючий редуктор.

Споживану соковижималкою потужність визначають за номінальним завантаженням, в якості якого приймають очищений і нарізаний за певним розміром буряк масою 1,5 кг, що розфасований на порції по 300 г.

5.4. Електром'ясорубки

М'ясорубки призначені для приготування м'ясного і рибного фаршу. За принципом дії їх поділяють на два типи: шнекові та кутерні (рис. 5.6).

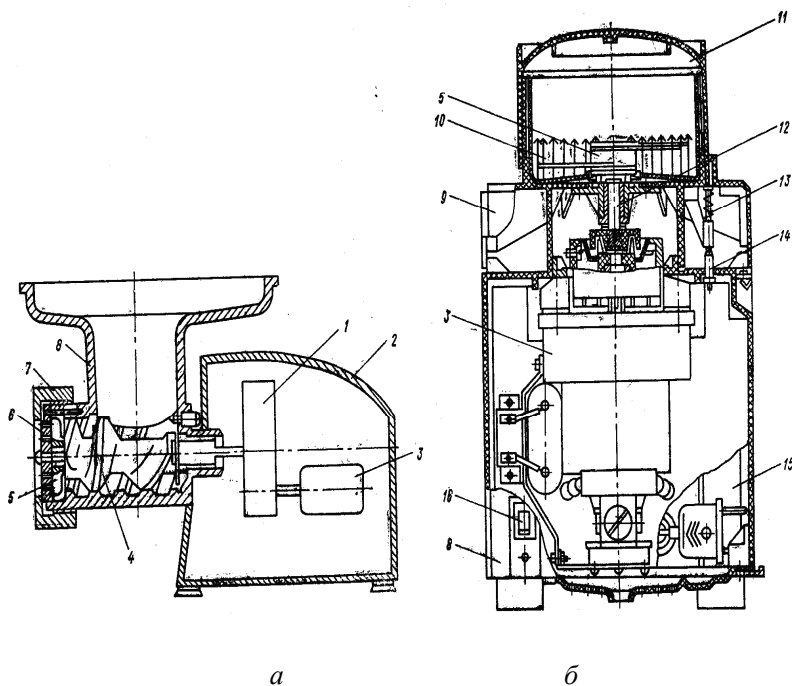


Рис. 5.6 – Схеми конструкцій електром'ясорубок

Шнекова електром'ясорубка (рис. 5.6, а) складається з двох основних вузлів: м'ясорубки, яка є робочим органом, і приводу. М'ясорубка складається з корпусу 8, верхня частина якого виконана у вигляді завантажувальної чаші, шнека 4, решітки 6, ножа 5 і притискної гайки 7. Привод призначений для приведення в дію м'ясорубки і складається з електродвигуна 3 та чотириступінчастого понижуючого редуктора 1, розміщених в загальному корпусі 2. Внутрішня порожнина редуктора заповнена густим мастилом. Вихідний вал редуктора має паз, в який входить виступ хвостовика шнека. Осьове зусилля, що виникає при обертанні шнека, сприймається опорними шайбами, які встановлені на його хвостовику.

Під час роботи електром'ясорубки м'ясо, очищене від кісток і жил та порізане заздалегідь шматочками масою не більш 50 г, завантажують в чашу корпусу і подають штовхачем через горловину до шнека. Шнек при обертанні проштовхує м'ясо вперед і вдавлює його в отвір решітки. Ніж, що обертається, зрізує вдавлене в решітку м'ясо, яке виходить із отворів у вигляді фаршу. Для того, щоб м'ясо не накручувалося на шнек і не оберталося разом з ним, на внутрішній стороні корпусу м'ясорубки є спеціальні гвинтові канавки. При роботі м'ясорубки, решітка залишається нерухомою, завдяки виступу в корпусі.

Згідно зі стандартом основні параметри шнекових електром'ясорубок повинні бути: споживана потужність не більш 100 Вт, питома подача не менш 0,25 кг/(Вт·год), глибина горловини бункера не більш 45 мм, маса не більш 5 кг, тривалість безперервної роботи не більше 15 хв.

Споживану потужність м'ясорубки визначають як середнє із значень, отриманих під час роботи протягом 2 хв при завантаженні її м'ясом, заздалегідь нарізаного шматочками розміром приблизно $2 \times 2 \times 6$ см, а питому подачу – як відношення маси переробленого за 1 хв м'яса до споживаної потужності. Глибину горловини бункера вимірюють від завантажувальної площини до шнека. Якщо завантажувальний отвір має форму кола, то за розмір горловини приймають діаметр цього кола, якщо форму квадрата – діагональ квадрата. Тривалість безперервної роботи характеризує максимально можливий час експлуатації м'ясорубки, при якому температура перегріву обмоток не перевищує граничнодопустиму для прийнятого класу ізоляції.

У шнекових електром'ясорубках застосовуються як асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, так і колекторні. У всіх м'ясорубках частота обертання вала електродвигуна передається на шнек через понижуючий редуктор, оскільки частота обертання шнека (30...100 об/хв) значно менше робочих частот обертання електродвигунів. Асинхронні електродвигуни мають відносно великі габаритні розміри, проте розміри редуктора малі, оскільки необхідне передаточне відношення невелике. Високошвидкісний колекторний електродвигун при певній потужності має значно менші габаритні розміри і масу, ніж асинхронний електродвигун такої самої потужності, проте застосування його в електром'ясорубках шнекового типу призводить до збільшення розмірів і маси редуктора внаслідок великого передаточного відношення. За інших рівних умов шнекові електром'ясорубки з колекторними електродвигунами мають менші габаритні розміри і масу, ніж шнекові з асинхронними електродвигунами, проте вартість їх вища. Наявність у електродвигунів колекторно-щіткового вузла знижує їх надійність.

Кутерна електром'ясорубка (рис. 5.6, б) складається з корпусу 8, основи 9 і кришки 11. Всередині корпусу розташований електродвигун 3, на валу якого закріплена муфта-крильчатка. На одній стороні корпусу розташований вимикач 16, на іншій – камера 15 для зберігання кабелю електроживлення. На проміжному валу 12 з однієї сторони є гумова півмуфта, з іншої – ніж 5 з двома гострими лезами, зміщеними по висоті. Ніж отримує обертальний рух від вала електродвигуна через муфту-крильчатку і гумову півмуфту проміжного вала. Муфта-крильчатка і півмуфта виготовлені з електроізоляційного матеріалу, а тому ніж додатково ізолюваний від вала електродвигуна. Під час обертання ножа з великою частотою відбувається подрібнення оброблюваного продукту 10.

В конструкції електром'ясорубки передбачене електричне блокування, яке відключає електродвигун при знятій кришці. Вузол блокування складається із кришки 11, штовхача 13 з пружиною і блокувальника 14. Кришка торцем давить на товкач і, долаючи дію пружини, за-

микає контакти в колі живлення електродвигуна. Наявність блокувальника запобігає механічній травмі оператора при експлуатації м'ясорубки. Електром'ясорубка вмикається установкою вимикача 16 в положення “Включено” і натисканням на кришку 11. Як правило, в сучасних електром'ясорубках рух робочого органу здійснюється за допомогою універсального приводу, що дозволяє додатково використовувати такі насадки як соковижималка та кавомолка.

Для приводу кутерних м'ясорубок застосовують високошвидкісні колекторні електродвигуни з частотою обертання 8000...12000 об/хв, що обумовлено необхідністю отримання більшої частоти обертання робочого органу (ножа).

Кутерні електром'ясорубки мають менші габаритні розміри і масу, ніж шнекові м'ясорубки. До недоліків їх відноситься нижча якість обробки продукту.

5.5. Електроміксери

Електроміксери призначені для змішування холодних напоїв, збивання яєць, мусів, молочних коктейлів, приготування кремів, пюре із овочів, замішування тіста і інших операцій збивання і розтирання продуктів. За допомогою деяких міксерів також розмелюють тверді продукти: каву, горіхи, горох, квасолю і різноманітні прянощі. Випускаються міксери ручні і з підставкою.

Ручний міксер (рис. 5.7) являє собою корпус 1 зі змінними насадками, які встановлюються на вал 7. Привод міксера складається з колекторного електродвигуна 5, черв'ячного редуктора 4 та натискного пристрою насадок 2. Привод розташований в пластмасовому корпусі, у верхній частині якого є ручка. В корпусі знаходиться також вимикач 3 і пристрій 6.

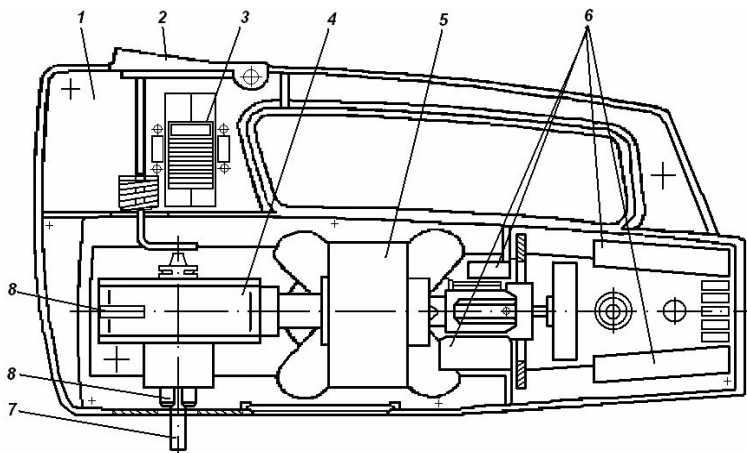


Рис. 5.7 – Схема конструкції міксера

Міксер комплектується п'ятьма насадками: дві для збивання, дві тістомішалки і один диск для розтирання. За допомогою перших двох насадок збиваються муси, білки, вершки тощо. Тістомішалки використовуються для замішування тіста. За допомогою диска для розтирання можна приготувати картопляне і ягідне пюре. Насадки вставляються в отвори 8 порожнистих валів редуктора, де фіксуються спеціальними пружинами, а видаляються натисканням на кнопку пристрою 2.

Технічні характеристики міксера: споживана потужність – не більше 90 Вт; маса – 1,2 кг; тривалість безперервної роботи – не більше 3 хв і паузи – не менше 10 хв.

Електроміксер з підставкою (наприклад, “Метеор”) складається з корпусу з вмонтованим в ньому електродвигуном, пластмасового щита і кришки. В пластмасовому щиті закріплені корпус підшипників, в якому розташований вихідний вал міксера. Вал електродвигуна і вихідний вал міксера мають гнучкий зв'язок через гумову муфту і обертаються в підшипниках ковзання.

На вихідний вал міксера за допомогою байонетного з'єднання встановлюють насадки. Двигун міксера запускається і зупиняється за допомогою вимикача, який розташований в кришці. Міксер має чотири змінні насадки і чашу з кришкою. Насадка ніж-зірочка ріже, рубас і подрібнює оброблювані продукти. Тонкість подрібнення залежить від тривалості обробки продукту. За допомогою ножа-зірочки можна приготувати картопляне пюре. Насадка диск-вінчик призначена для перемішування і приготування емульсій. За допомогою цієї насадки можна збивати рідини, легкі пасти, сметану.

Диск-мішалка призначений для змішування різноманітних напоїв. Цією насадкою зручно готувати коктейлі. Чашка з кришкою і насадка "великий ніж" складають кавовий млин, в якому можна розмелювати каву, сіль, горох та інші тверді продукти.

Технічні характеристики міксера: споживана потужність – не більше 65 Вт, частота обертання насадок – 8000 об/хв, діаметр – 64 мм, висота – 330 мм, маса – 1 кг, тривалість безперервної роботи – не більше 3 хв і паузи – не менше 15 хв.

Універсальний електроміксер Krups 3 Mix фірми "Robert Krups" (ФРН) комплектується картоплечистою, яка автоматично чистить 1 кг картоплі за 5 хв; овочерізкою, яка ріже, шаткує і розтирає фрукти і овочі; турбозбивачем до основного приводу; насадкою для замішування тіста і пристроєм для віджимання соку. Такий електроміксер комплектується електродвигуном з декількома частотами обертання. Кількість ступенів обертання в окремих моделях міксерів досягає 7.

5.6. Електрокавомолки

Електрокавомолки призначені для розмелювання зерен кави безпосередньо перед заваркою кави. Це дозволяє зберегти аромат, який зникає навіть при короткочасному зберіганні розмеленої кави. Електрокавомолки можна використовувати також для розмелювання цукру, горіхів, сухарів, солі та різноманітних прянощів.

За принципом дії кавомолки ділять на дві групи: ударної дії і жорнового типу. В кавомолках ударної дії розмелювання зерен проводиться за допомогою двох або чотирилезового ножа, який обертається з частотою 15000...25000 об/хв, а жорнового типу – за допомогою зубчастих нерухомого і рухомого дисків. Перевагою кавомолок жорнового типу є можливість регулювання ступеня розмелювання зміною відстані між дисками. Ступінь розмелювання може регулюватися ступінчасто або плавно. Кавомолки жорнового типу за конструкцією складніші ніж кавомолки ударного типу. Для приводу кавомолок застосовують універсальні колекторні електродвигуни потужністю 40...60 Вт.

Кавомолка ударної дії (рис. 5.8) складається із пластмасового корпусу 5, закритого кришкою 1, всередині якого на амортизаторах 4 і 8 розташовані електродвигун 6 і чашка 2. Знизу корпус закритий дном 10, що кріпиться гвинтом до кронштейна 9.

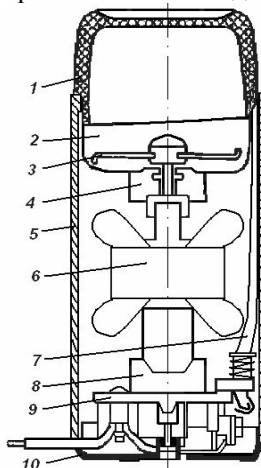


Рис. 5.8 – Схема конструкції кавомолки

У чашу 2, засипають зерна кави для розмелювання, обертається ніж 3. Вмикання кавомолки проводиться натисканням на кришку 1, яка спеціальним виступом штовхає шток вимикача-блокувальника 7, замикаючи коло живлення електродвигуна. Шток вимикача розташований у внутрішній поверхні корпусу, що запобігає випадковому вмиканню кавомолки при знятій кришці, оскільки ніж для розмелювання кави обертається з великою частотою, і його гострі різальні кромки можуть бути причиною механічних травм.

5.7. Електрокавоварки

Електрокавоварки виробляються наступних типів: ЕКВ – вакуумні, ЕКК – компресійні, ЕКП – перколяційні, ЕКФ – фільтраційні.

У вакуумній електрокавоварці приготування кави відбувається шляхом одноразового проходження гарячої води і пару під тиском через шар меленої кави та повернення готової кави в ємність для води за рахунок вакууму, що утворився. В компресійній електрокавоварці приготування кави відбувається під тиском під час одноразового проходження гарячої води або пари через шар меленої кави, а в перколяційній – при багаторазовому проходженні. У фільтраційній електрокавоварці приготування кави відбувається шляхом одноразового проходження гарячої води через шар меленої кави, яка знаходиться у фільтрі (сітці) дозатора.

В умовне позначення електрокавоварки входять: тип, номінальна кількість приготовленої кави, номінальна споживана потужність і номінальна напруга.

В конструкціях електрокавоварок можливе застосування додаткових пристроїв і приладів, які підвищують їх комфортність (пристрій для підтримки кави в гарячому стані, реле часу, світова сигналізація, мірка для меленої кави, паперові фільтри, вимикач мережі тощо). Корпуси і кришки електрокавоварок виготовляють з алюмінієвого сплаву, нержавіючої сталі, латуні, фарфору. Ручки електрокавоварок виготовлені із пінопласту або пінопропілену.

В електрокавоварках застосовують термообмежувачі і термовимикачі. Термообмежувач повинен вимикати електрокавоварку після приготування кави. Призначення термовимикача – оберігати електронагрівач від виходу із ладу при википанні води (кави) і не допускати руйнування покриття. У перколяційній (гейзерній) електрокавоварці (рис. 5.9) вода заливається в резервуар А корпусу 5 і одночасно попадає в резервуар Б; гейзер 4 поділяє ці резервуари. При вмиканні електронагрівача 1 відбувається закипання води в резервуарі Б, при цьому в ньому підвищується тиск.

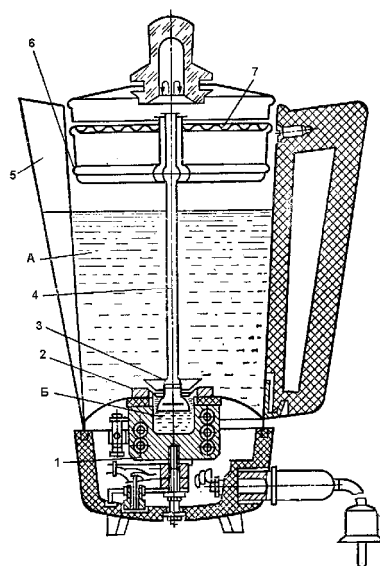


Рис. 5.9 – Схема перколяційної електрокавоварки

Рухома шайба 2 закриває отвір клапана 3, вода підіймається вгору по гейзеру 4, попадає через кришку 7 в сітчастий циліндр 6, в який засипана кава, проходить через каву і попадає в резервуар А. При цьому тиск в резервуарі Б падає, шайба 2 відходить донизу і відчиняє отвір клапана 3. З резервуара А поступає наступна порція води в резервуар Б. Потім цикл повторюється знову і знову доти, поки вся вода не пройде через каву раніше вказаним образом. Про готовність напою свідчить інтенсивний вихід води із гейзера 4. На корпусі кавоварки є відмітки, які вказують про об'єм залитої води.

Електрокавоварка ЕК-0,3 компресійного типу (рис. 5.10) працює наступним чином. Вода, яка знаходиться в резервуарі 3 корпусу 2, при нагріванні закипає і під тиском пару вижимается через малу (внутрішню) 10 і велику (зовнішню) 9 трубки на перфорований водорозподільний диск 12 і потім у фільтр 13 з меленою кавою. Готовий напій витікає із отвору нижньої кришки 15 у приймальний пристрій.

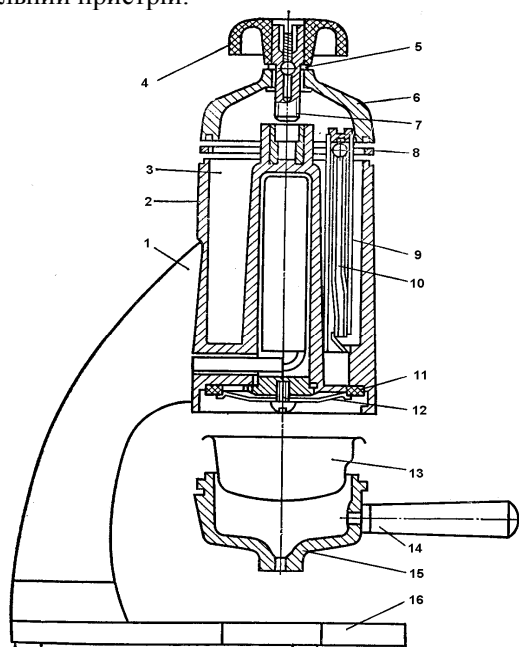


Рис. 5.10 – Схема електрокавоварки ЕК-0,3 компресійного типу

Для приготування напою треба відкрутити верхню пластмасову головку 4 і зняти верхню кришку 6, потім налити в резервуар 3 необхідну кількість води, утримуючи кавоварку лівою рукою за пластмасовий стійок 1. Правою, взявшись за ручку 14, відкрутити кришку 15, обертаючи її проти годинникової стрілки. Заповнивши фільтр 13 меленою кавою, встановити його в кришці 15 кавоварки. Через 13...15 хв після вмикання кавоварки в електромережу готовий напій автоматично виллється в приймальний пристрій, який встановлений на основі 16 кавоварки.

В результаті зношування прокладок ущільнювачів під час роботи кавоварки може витікати вода з-під кришок або виходити пар з-під головки кришки. Для усунення цих несправностей необхідно під час ремонту замінити відповідні прокладки ущільнювачів. При витіканні води замінити гумовий ущільнювач 8 або 11, а при виході пару-шайбу ущільнювача 5, яка встановлена на стрижні 7 головки 4.

5.8. Мікрохвильові печі

Значне місце серед електропобутових машин і приладів займають мікрохвильові печі або НВЧ (надвисокочастотні) печі, які призначені для швидкого приготування, розігріву та розморожування продуктів.

Фізична сутність процесу нагрівання в НВЧ-печах полягає в молекулярному дипольному зрушенні, яке відбувається під дією електричного поля в продуктах, що мають у своєму складі полярні молекули. Дипольна молекула має на одному кінці позитивний електричний заряд, а на другому – негативний. В продуктах харчування це молекули жирів, цукру й, найголовніше, води. На рис. 5.11 показана структура дипольних молекул та їх орієнтація під дією електричного поля.

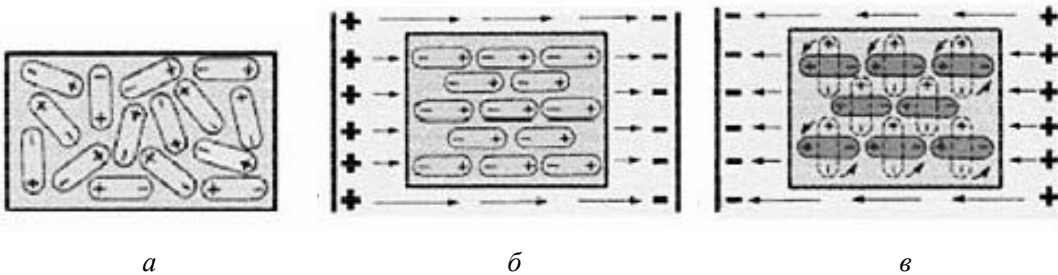


Рис. 5.11 – Рух дипольних молекул в електричному полі: *а* – за його відсутності; *б* – під дією постійного електричного поля; *в* – під дією змінного електричного поля

Енергія електромагнітних коливань призводить до постійного зрушення молекул, вибудовування їх відповідно до силових ліній поля. При змінному електричному полі молекули періодично змінюють напрям руху, при цьому постійно стикаються між собою, віддаючи енергію сусіднім молекулам.

Температура любого продукту прямопропорційна середній кінетичній енергії руху атомів і молекул, а тому інтенсифікація цього процесу під дією змінного електричного поля призводить до підвищення його температури. Тобто зміна орієнтації дипольних молекул під впливом енергії електромагнітного випромінювання приводить до підвищення температури продукту.

Величина нагрівання в мікрохвильовій печі внаслідок дипольного зрушення під дією електричного поля залежить від властивостей молекул та їх взаємодії в середовищі.

Досвід експлуатації НВЧ-печей показує, що для максимального нагрівання матеріалів необхідно забезпечити таку частоту електричного поля, за якою молекули встигали б повністю перебудуватися протягом одного півперіоду.

В зв'язку з тим, що вода є практично у всіх продуктах, частоту НВЧ випромінювача мікрохвильової печі підбирають таким чином, щоб забезпечити краще розігрівання саме молекул води в рідинному стані, а тому лід, жир, цукор розігріваються значно довше.

Фізична природа мікрохвильового випромінювання практично така ж сама як світлового чи радіохвильового випромінювання. Відмінність полягає або в частоті електромагнітного коливання, або в довжині хвилі, які зв'язані між собою співвідношенням:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (5.5)$$

де λ – довжина хвилі; c – швидкість розповсюдження хвилі; f – частота.

Тобто радіохвилі, інфрачервоне, теплове, ультрафіолетове випромінювання, рентгєнівське проміння та видиме нами світло – все це електромагнітні хвилі певної частоти і довжини. Довжина хвилі, яка часто відповідає розмірам різних фізичних об'єктів, поділяє весь спектр електромагнітного випромінювання на окремі складові, кожна з яких використовується в різних галузях науки, техніки, медицини тощо (див. табл. 5.1).

У побутових печах використовуються мікрохвилі з частотою $f = 2450$ МГц. Ця частота закріплена за мікрохвильовими печами міжнародними домовленостями з тим, щоб не створювати

перешкод в роботі радіолокаційних та радіонавігаційних випромінювачів, систем супутникового телебачення тощо.

Таблиця 5.1 – Шкала електромагнітних хвиль

Довжина хвилі	Вид хвилі	Позначення
10^6 м = 1000 км; 10^5 м = 100 км	Наддовгі	–
10^4 м = 10 км; 10^3 м = 1 км	Радіохвилі	Довгі
10^2 м; 10 м		Середні
1 м		Короткі
1 м до 10^{-1} м = 10 см; 10^{-2} м = 1 см; 10^{-3} м = 1 мм	Мікрохвилі	НВЧ-хвилі
10^{-4} м = 0,1 мм = 100 мкм; 10^{-5} м = 0,01 мм = 10 мкм; 10^{-6} м = 1 мкм		Телебачення
10^{-6} м = 1 мкм; 10^{-7} м = 100 нм		Радіолокація
10^{-8} м = 10 нм; 10^{-9} м = 1 нм	Інфрачервоні хвилі	–
10^{-10} м = 100 пм = 1° А; 10^{-11} м = 10 пм	Видиме оком світло	–
10^{-12} м = 1 пм; 10^{-3} м = 1 ікс-од.	Ультрафіолетове випромінювання	–
10^{-14} м	Рентгенівське випромінювання	–
	γ -випромінювання	–
	Космічні промені	–

Електромагнітні хвилі розповсюджуються в просторі зі швидкістю світла $c = 300000$ км/с, тому довжина хвилі λ мікрохвильового випромінювання з частотою 2450 МГц буде дорівнювати:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300000}{2450} = 12,25 \text{ см.}$$

Таким чином, довжина хвилі електромагнітного випромінювання, яка використовується у НВЧ-печах, знаходиться в межах від 1 мм до 1 м, тобто в області мікрохвиль надвисоко-частотного електромагнітного випромінювання.

Довжина хвилі мікрохвильового надвисоко-частотного випромінювання порівняна з розмірами елементів електричних схем, що є причиною значних викривлень в розподіленні електромагнітного поля в навколишньому середовищі.

Якщо в низькочастотній електроніці прийнято оперувати поняттями струмів і напруг, то у мікрохвильовій техніці використовуються величини, що характеризують електромагнітне поле: E – напруженість електричного поля, H – напруженість магнітного поля. Співвідношення між напруженістю електричного і магнітного полів визначаються у вигляді рівнянь Максвелла, при спрощенні яких отримано залежності:

$$E = \mu \cdot H \cdot v, \quad (5.6)$$

$$H = \varepsilon \cdot E \cdot v, \quad (5.7)$$

де μ і ε – магнітна і діелектрична проникність середовища, відповідно; v – швидкість розповсюдження електричного і магнітного полів.

Аналіз цих рівнянь показує, що зміна величини електричного поля призводить до зміни магнітного поля, і, навпаки, зміна магнітного поля призводить до зміни електричного поля. Таким чином, можна зробити висновок, що випромінювач електричних коливань одночасно генерує і магнітні коливання, тобто виникають коливання, що розповсюджуються у навколишньому середовищі зі швидкістю v .

Значення швидкості v можна отримати, якщо перемножити ліву і праву частини залежностей (5.6) та (5.7):

$$E \cdot H = \mu \cdot \varepsilon \cdot E \cdot H \cdot v^2.$$

Звідки

$$v^2 = \frac{1}{\mu \cdot \varepsilon} \quad \text{або} \quad v = \sqrt{\frac{1}{\mu \cdot \varepsilon}}. \quad (5.8)$$

Якщо прийняти, що $\mu = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Вебер}}{\text{Ампер} \cdot \text{метр}}$, $\varepsilon = 8,85 \cdot 10^{-14} \frac{\text{Кулон}}{\text{Вольт} \cdot \text{м}^2}$, то $v = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Таким чином, електромагнітні хвилі розповсюджуються у просторі зі швидкістю $v = 3 \cdot 10^8$ м/с, яка відповідає швидкості світла.

У мікрохвильовій печі височастотне електромагнітне випромінювання, що отримане певним чином та зорієнтоване спеціальним електромагнітним трактом, поглинається продуктами, які підлягають термообробці.

Традиційно у побутових НВЧ-печах як генератор надвисочастотних коливань використовується магнетрон (з трансформатором напруги і генераторною лампою) – достатньо дешевий, але потужний НВЧ-прилад.

Навантаженням магнетрона є камера НВЧ-печі з продуктами для термообробки. Власності продуктів та їх об'єм впливають на параметри камери НВЧ-печі, і, як наслідок, – на навантаження магнетрона.

Структура схема НВЧ-печі наведена на рис. 5.12.



Рис. 5.12 – Структурна схема НВЧ-печі

Для забезпечення високого значення к.к.д. НВЧ-тракту, магнетрон узгоджується з камерою печі за допомогою хвилеводу, в якому відбувається передача електромагнітних хвиль певного типу та певного діапазону частот. Хвилеводи є порожнистими металевими трубками, як правило, круглого або прямокутного перерізу. Перехід від звичайної двопровідної лінії передачі електроенергії до хвилеводів пов'язаний зі значними втратами потужності на випромінювання при підвищенні частоти і забрудненні ефіру радіоперешкодами, що часто є причиною виходу з ладу радіоелектронних пристроїв.

Як відомо, уже в метровому діапазоні передача енергії відбувається по коаксіальному кабелю, який є двопровідною лінією, в якій один провідник є екранованим обплетенням, що запобігає випромінюванню енергії. Однак при подальшому збільшенні частоти підвищуються втрати енергії в зв'язку з загасанням сигналу в матеріалі, яким заповнений простір між центральним проводом і обплетенням кабелю. При достатньо високій частоті та значній потужності, що передається, це призводить до перегріву кабелю і виходу його з ладу. Коаксіальний кабель при частоті 3 ГГц втрачає до 84 % потужності, що передається. Мідний хвилевід за тих же умов втрачає всього лише 5 % потужності.

Якщо використовувати як наповнювач матеріали з малим декрементом загасання, то можна підвищити рівень допустимої потужності, що передається, тому що найменшими втра-

тами характеризується простір, заповнений повітрям, а кабель при цьому трансформується у коаксіальний хвилевід.

Хвилевід виготовляється з мідного проводу з площею поперечного перерізу в декілька десятків міліметрів. Струм передається не по всьому перерізу хвилеводу, а лише по “скін-шару”, куди проникає електромагнітне поле.

Глибина “скін-шару” залежить від частоти і питомої провідності металу, з якого виготовлений хвилевід. Величина “скін-шару” розраховується за залежністю:

$$\delta = 0,016 \sqrt{\frac{1}{f \cdot \sigma}}, \quad (5.9)$$

де δ – глибина “скін-шару”, мкм; f – частота, ГГц; σ – питома провідність металу, $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$.

Втрати енергії при передачі по хвилеводу відбуваються тільки в “скін-шарі”, а тому внутрішню поверхню хвилеводу полірують і покривають тонким шаром срібла на глибину цього шару.

У НВЧ-техніці використовують хвилеводи з різними профілями поперечного перерізу, але в побутових мікрохвильових печах – тільки з прямокутним перерізом.

Після хвилеводу електромагнітні хвилі попадають в робочу камеру печі, яка є порожнистим резонатором прямокутної форми з розмірами, які значно перевищують довжину хвилі електромагнітних коливань. Електромагнітні хвилі, що поступають в камеру, не поглинаються миттєво продуктами, а багаторазово відбиваються її стінками. У камері утворюються численні стоячі хвилі електромагнітного поля з вузлами та пучностями електричної та магнітної компонент.

Інтенсивність полів в камері збільшується до тих пір, доки потужність НВЧ коливань, що поглинається продуктами, не зрівняється з потужністю, що надходить від генератора. Локальне нагрівання продукту пропорційне квадрату ефективного значення напруженості електричного поля у цій точці.

Камера оптимальної конструкції повинна мати такі розміри і спосіб збудження, щоб суперпозиція всіх стоячих хвиль забезпечувала максимальну рівномірність нагрівання продукту. На практиці забезпечити ідеально рівномірне нагрівання дуже складно, тому що посуд і продукт, який нагрівається, мають значне розсіювання діелектричних властивостей і форм. Неможливо використовувати посуд з металевими прикрасами, алюмінієвої фольги, щоб не було екранної дії металу.

Для підвищення рівномірності нагрівання продукту в робочій камері печі використовується механічний рух: це може бути або стіл з продуктами, що обертається навколо центральної осі або лопаті, які знаходяться в верхній частині камери, і обертаються навколо осі, що збігається з віссю симетрії робочої камери. Елементи, що обертаються в робочій камері, забезпечують рівномірне розподілення хвиль електромагнітного випромінювання на поверхні продукту.

Як відомо, під час нагрівання продукту мікрохвилі проникають тільки на глибину 2...3 см. В подальшому нагрівання відбувається за рахунок теплопровідності, при цьому верхня поверхня продукту залишається холодною. Тому в багатьох конструкціях мікрохвильових печей, крім нагріву НВЧ хвилями, у верхній частині порожнини камери вбудовуються допоміжні джерела теплоти – грилі, за допомогою яких відбувається нагрівання продукту інфрачервоним променями. Потужність гриля приблизно така як і магнетрона, що призводить до збільшення витрат електроенергії в два рази.

Як гриль використовують, як правило, трубчастий або кварцовий електронагрівачі. В деяких моделях НВЧ-печей для рівномірного прогрівання продукту використовують конвектор (кільцевий електронагрівач і вентилятор), що забезпечує примусову конвекцію повітря з одночасним його підігрівом.

Двері робочої камери повинні забезпечувати неможливість проникнення НВЧ енергії за межі робочої камери, а тому її конструкція є багатошаровим пакетом з скляних пластин і металеві сітки (рис. 5.13). Метал відбиває мікрохвилі в порожнину робочої камери, а отвори в

сітці дозволяють спостерігати за процесом, який там відбувається. Діаметр отворів, як правило, дорівнює 3 мм, що менше довжини хвилі НВЧ випромінювача.

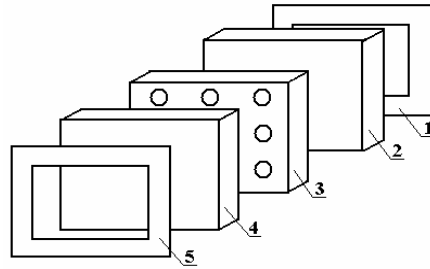


Рис. 5.13 – Схема конструкції дверцят мікрохвильової печі:

1, 5 – внутрішня і зовнішня рамки; 2, 4 – скло або пластик; 3 – металева сітка

Внутрішня металева порожнина камери може мати те чи інше покриття. В масовому виробництві поверхня стінок камери покрита краскою під емаль, яка не стійка до високих температур, тому в таких моделях гриль не використовується.

Більш стійким покриттям є емаль або спеціальна кераміка. Стінки з таким покриттям стійкі до високих температур, легко відмиваються, але міцність їх при ударних навантаженнях недостатня. Найбільш міцними і стійкими є стінки камер з високоякісних легованих сталей, при цьому вони добре відбивають мікрохвилі.

Принцип дії типової НВЧ-печі, комбінована схема якої представлена на рис. 5.14, відбувається наступним чином. Від вузла 6 введення енергії, який має пристрій для заглушення від радіоперешкод, енергія подається в блок 5 автоматики магнетрона і трансформатор розжарювання 4. При цьому вмикається вентилятор 7 охолодження магнетрона 8 і живиться енергією блок захисту 10 та блок керування 11 печі. Після прогріву катода магнетрона і навантаження 1 робочої камери 2 на реле 12 задається інтервал теплової обробки, який починається після подання напруги на анодний трансформатор 3, при цьому вмикається двигун дисектора 9 і НВЧ енергія подається в робочу камеру.

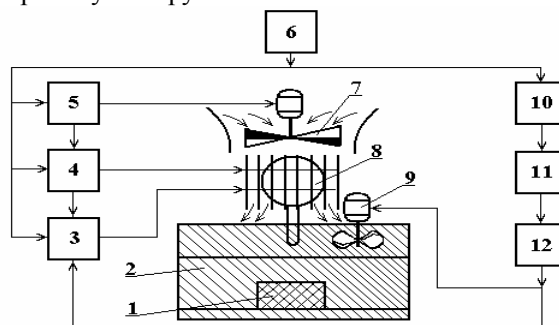


Рис. 5.14 – Блок-схема НВЧ-печі: 1 – навантаження; 2 – робоча камера; 3 – анодний трансформатор; 4 – трансформатор розжарювання; 5 – блок автоматики магнетрона; 6 – вузол введення енергії; 7 – вентилятор; 8 – магнетрон; 9 – дискатор; 10 – блок захисту; 11 – блок керування; 12 – реле часу

Дискатор є вертушкою з декількома лопатями і є частиною передачі енергії, забезпечуючи фазовий зсув векторів електричних полів, що сприяє рівномірності нагрівання продуктів. Частота обертання дискатора становить $0,2 \dots 2 \text{ с}^{-1}$.

Блок живлення забезпечує роботу магнетрона. Він складається з трансформатора розжарювання магнетрона, анодного трансформатора високої напруги і випрямляча. В черговому режимі під час завантаження або розвантаження камери анодний трансформатор і дискатор вимкнені.

АВТОМАТИЗАЦІЯ В ЕЛЕКТРОПОБУТОВІЙ ТЕХНІЦІ

6.1. Загальні відомості

Побутова техніка (холодильники, пральні машини, пылесоси та ін.) стала невід'ємною частиною життя людини. Сучасна електропобутова техніка – це складні електрифіковані агрегати, частково або цілком автоматизовані.

У загальному випадку електропобутову техніку можна представити у вигляді двох складових: електропривода і виконавчого органу, який здійснює певні дії, які відповідають функціональному призначенню ЕПТ (барaban у пральній машині; компресор у холодильнику; ножі, що переміщуються певним чином, наприклад, в електробритві та ін.).

Структурна схема будь-якої ЕПТ може бути представлена у вигляді, наведеному на рис. 6.1.

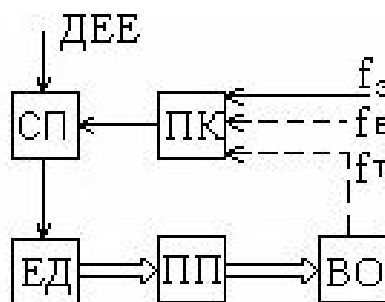


Рис. 6.1 – Структурна схема електропобутової техніки

Схема складається з наступних основних елементів: ВО – виконавчий орган; ЕД – електродвигун; СП – силовий перетворювач, що враховує специфіку роботи ЕПТ (вид напруги, значення струму і частоти); ПК – пристрій керування; ПП – передавальний пристрій, що узгоджує обертання вала електродвигуна з законом переміщення ВО. Тенденція розвитку побутової техніки показує, що її виробники прагнуть виключити ПП і з'єднати вал ЕД безпосередньо з валом виконавчого органа.

Пристрій керування ПК визначає послідовність технічних операцій керування електродвигуном ЕД, змінюючи його вихідні координати (момент, кутову швидкість обертання та кут повороту вала). Послідовність операцій задається через пристрій керування сигналом f_3 .

У деяких випадках на пристрій керування подається сигнал зворотного зв'язку від виконавчого органа робочої машини f_T (наприклад, холодильники), при цьому здійснюється режим керування технологічним процесом у ЕПТ (як правило, двопозиційне керування). Іноді через зворотний зв'язок подаються сигнали зовнішніх збурень f_e і сигнали, що визначають граничний (критичний) стан умов технологічного процесу і відключають ЕПТ від джерела енергії.

В останні роки з'явилася ЕПТ, що використовує коливання ультразвукової частоти для здійснення необхідних технологічних операцій (пральні машини). При цьому в наведеній схемі (див. рис. 6.1) електродвигун замінюється на джерело ультразвукових коливань, а пристрій керування забезпечує необхідні параметри технологічного процесу, впливаючи на них.

Таким чином, електропобутова техніка є складною електромеханічною системою, що складається з ряду елементів, які автоматично забезпечують виконання необхідного технологічного процесу.

Всі елементи ЕПТ можна розділити на групи:

- електродвигун;
- первинний перетворювач (чутливі елементи);
- пристрій керування (контактні, мікропроцесорні та ін.);
- силовий перетворювач;
- системи керування (регулювання).

6.2. Електродвигуни побутової техніки

Електродвигуни є основними елементами практично всіх електропобутових приладів і багато в чому визначають їхню надійність та експлуатаційні властивості. ЕД класифікують за родом напруги і числом фаз мережі живлення, конструктивним виконанням, принципом дії, способом збудження, наявністю колекторно-щіткового вузла та інших ознак.

За родом напруги живлення електродвигуни поділяють на двигуни постійного, змінного струму й універсальні. ЕД характеризується номінальними значеннями параметрів потужності, напруги, струму, частоти обертання, к.к.д.

Значення номінальних потужностей, що використовуються в електродвигунах побутових приладів, стандартизовані: 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60; 90; 120; 180; 250; 370; 550; 750; 1000; 1250; 1400 і 1500 Вт. Стандартні значення номінальних напруг для двигунів постійного струму дорівнюють 6; 12; 24; 36; 48; 110 і 220 В; для однофазних двигунів змінного струму – 12; 24; 36; 42; 127; 220 і 380 В; для трифазних двигунів змінного струму – 36; 127/220; 220/380 В.

Стандартні значення синхронних частот обертання електродвигунів змінного струму за частотою джерела живлення 50 Гц становлять – 750, 1000, 1500 і 3000 об/хв; для двигунів постійного струму, однофазних колекторних змінного струму й універсальних колекторних – 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 8000, 10000, 12000, 15000, 18000 і 20000 об/хв.

6.2.1. Електродвигуни постійного струму

В електропобутовій техніці електродвигуни постійного струму (ДПС) використовуються в тому випадку, коли є необхідність застосування джерела живлення постійного струму (мережа постійного струму, акумуляторна батарея). ДПС в більшості випадків мають лінійні механічні та електромеханічні характеристики, широкий діапазон зміни частоти обертання двигуна (3000...20000 об/хв), тому їх доцільно використовувати в автоматизованій ЕПТ.

Електродвигуни постійного струму застосовують в приладах, які призначені для роботи від автономного джерела живлення (дитячі іграшки, автомобільні пилососи). Іноді ДПС використовують в побутових приладах, які призначені для роботи від мережі змінного струму. В цьому випадку застосовуються перетворювачі енергії (деякі типи пральних машин).

Основна позитивна характеристика ДПС полягає в можливості плавного регулювання частоти обертання і отримання великих пускових моментів. Тому вони широко використовуються як приводи різного технологічного устаткування.

ДПС малої потужності застосовуються в системах автоматичного керування, де вони використовуються не тільки для привода виконавчих механізмів, але й як датчик частоти обертання рухомих частин системи.

Загальним недоліком електричних машин постійного струму є їх конструктивна складність (головним чином щітково-колекторного вузла). В щітково-колекторному вузлі, який здійснює постійну перекомутацію кола електричної машини, виникає іскріння, що викликає не тільки підгоряння елементів, але й значні радіоперешкоди, які особливо неприємні при використанні електродвигуна цього типу в побутовій техніці.

За способом збудження ДПС поділяють на електродвигуни незалежного, паралельного, послідовного і змішаного збудження.

Механічні властивості електродвигуна визначаються його механічною характеристикою, тобто залежністю швидкості обертання якоря від обертового моменту. В окремих випадках користуються швидкісною характеристикою – залежністю швидкості обертання якоря від струму в колі якоря двигуна, який пов'язаний з навантаженням.

Загальний вираз для такої характеристики ДПС, який отриманий за умови рівноваги напруг в якорному колі двигуна, незалежно від способу збудження має вигляд:

$$\omega = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{c_{\text{д}} \Phi}, \text{ рад/с}, \quad (6.1)$$

де ω – кутова швидкість двигуна; U – напруга, яка прикладена до кола якоря двигуна, В; $I_{\text{я}}$ – струм в колі якоря двигуна, А; $R_{\text{я}}$ – опір в колі якоря двигуна, Ом; Φ – магнітний потік, Вб; $c_{\text{д}} = \frac{pN}{2\pi a}$ – безрозмірний коефіцієнт, який визначається конструктивними параметрами двигуна; p – число пар полюсів; N – число активних провідників обмотки якоря; a – число пар паралельних гілок обмотки якоря.

Електромагнітний обертовий момент двигуна пропорційний магнітному потоку і струму якоря:

$$M = c_{\text{д}} \Phi I_{\text{я}}, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (6.2)$$

Підставивши вираз (6.2) в (6.1), отримаємо рівняння для механічної характеристики двигуна постійного струму:

$$\omega = \frac{U}{c_{\text{д}} \Phi} - M \frac{R_{\text{я}}}{c_{\text{д}}^2 \Phi^2}. \quad (6.3)$$

На основі рівнянь (6.2 і 6.3) отримують механічні характеристики двигунів різних способів збудження, враховуючи фізичні особливості їх роботи.

Двигуни постійного струму паралельного збудження. Паралельна обмотка збудження двигуна (рис. 6.2) може отримувати живлення від тої самої мережі, що і якор, або від окремого джерела живлення (двигун постійного струму незалежного збудження). При постійній напрузі в мережі струм збудження не залежить від процесів, які відбуваються в якорі машини.

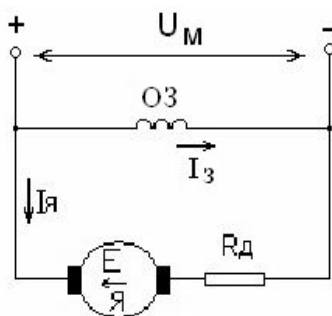


Рис. 6.2 – Схема вмикання ДПС паралельного збудження

Якщо знехтувати впливом магніторушійної сили обмотки якоря на магнітний потік, що цілком припустимо, то при постійній напрузі в мережі магнітний потік можна прийняти постійним $\Phi = \text{const}$. Представивши $c_{\text{д}} \Phi = \kappa_{\text{д}}$, рівняння (6.3) приймає вигляд:

$$\omega = \frac{U}{\kappa_{\text{д}}} - M \frac{R_{\text{я}}}{\kappa_{\text{д}}^2}. \quad (6.4)$$

З рівняння (6.4) видно, що характеристика $\omega = f(M)$ може бути представлена прямою лінією, тангенс кута нахилу якої визначається величиною $\operatorname{tg}\alpha = \frac{R_{я}}{\kappa_{\phi}^2}$. При $M = 0$ швидкість обертання якоря двигуна визначається рівнянням:

$$\omega = \omega_0 = \frac{U}{\kappa_{\phi}}. \quad (6.5)$$

Швидкість $\omega = \omega_0$ називається швидкістю холостого ходу, яка при $\Phi = \text{const}$ визначається напругою і не залежить від опору кола якоря двигуна.

Другий член рівняння (6.4) характеризує зміну швидкості обертання якоря двигуна під час зміни навантаження або опору в колі якоря. Опір кола якоря двигуна складається з опору обмоток якоря, додаткових полюсів, компенсаційних обмоток (якщо вони є), опору щіткових контактів та додаткового опору R_{ϕ} .

Механічна характеристика двигуна, яка отримана без врахування додаткового опору, називається природною (рис. 6.3, лінія 1), а з урахуванням додаткового опору – штучною (рис. 6.3, лінії 2, 3). Якщо збільшувати додатковий опір R_{ϕ} , можна змінити кут нахилу механічної характеристики до осі ординат і тим самим впливати на параметри роботи двигуна. Очевидно, що також можна впливати на параметри механічної характеристики зміною напруги, прикладеної до кола якоря двигуна, тим самим змінюючи початкове значення швидкості холостого ходу.

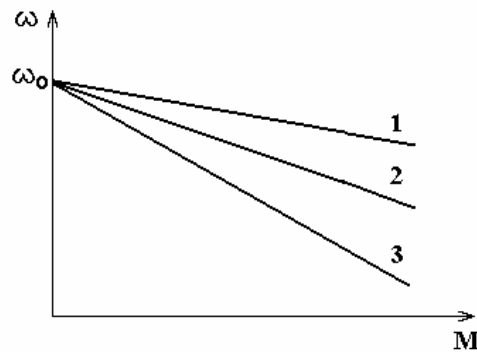


Рис. 6.3 – Механічні характеристики ДПС паралельного збудження

Двигуни постійного струму послідовного збудження. В цьому типі двигунів обмотка збудження з'єднана послідовно з якорем (рис. 6.4), і по ній протікає той самий струм, що по обмотці якоря. Тому за зміною навантаження змінюється і магнітний потік, впливаючи в значній мірі на швидкість двигуна.

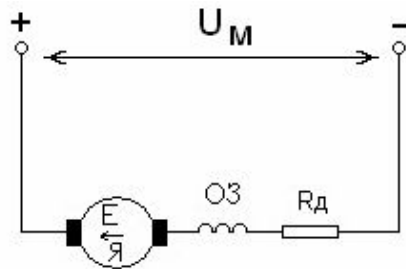


Рис. 6.4 – Схема вмикання двигуна послідовного збудження

Найпростіше оцінювати вплив послідовно ввімкненої обмотки збудження можна за загальним рівнянням швидкісної характеристики (6.1). Рівняння показує, що під час зміни магнітного потоку швидкість двигуна може змінюватися в широкому діапазоні. Але, внаслідок

властивого всім магнітним системам насичення магнітного кола, магнітний потік змінюється непропорційно струму. Найбільше змінювання магнітного потоку та швидкості, буде при малих навантаженнях, коли магнітна система ненасичена.

Залежність магнітного потоку Φ від струму збудження I_3 є складною нелінійною функцією і не має аналітичного виразу. Тому немає і аналітичної залежності для механічної характеристики. Для встановлення деяких важливих характеристик двигуна вводять припущення, що магнітне коло двигуна ненасичене і магнітний потік Φ пропорційний струму. Тоді природна швидкісна характеристика двигуна може бути записана у вигляді:

$$\omega = \frac{U}{\kappa I_{\text{я}}} - \frac{r_{\text{вн}}}{\kappa}, \quad (6.6)$$

де $r_{\text{вн}}$ – внутрішній опір електричного кола якоря, який складається із опорів обмоток якоря і збудження; κ – конструктивний коефіцієнт двигуна.

За прийнятим припущенням механічна характеристика двигуна виразиться рівнянням:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{\kappa M}} - \frac{r_{\text{вн}}}{\kappa}. \quad (6.7)$$

Аналізуючи рівняння (6.6) і (6.7) бачимо, що залежності $\omega = f(I)$ та $\omega = f(M)$ – гіперболічні (рис. 6.5, лінія 1).

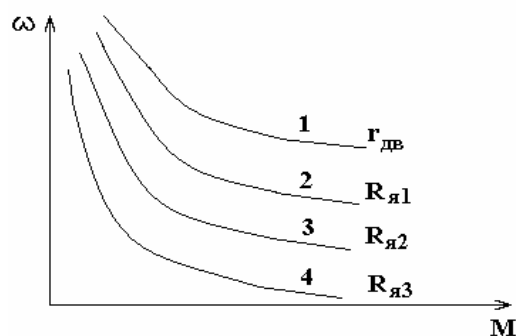


Рис. 6.5 – Механічні характеристики ДПС послідовного збудження

Штучні характеристики двигуна можна отримати введенням в коло якоря додаткового опору $R_{\text{доп}}$ (рис. 6.5, лінії 2–4), при цьому можна одержати таку механічну характеристику, за якої незначна зміна моменту призводить до значних змін кутової швидкості обертання якоря двигуна.

Двигуни постійного струму змішаного збудження. Ці двигуни мають дві обмотки збудження – паралельну і послідовну (рис. 6.6).

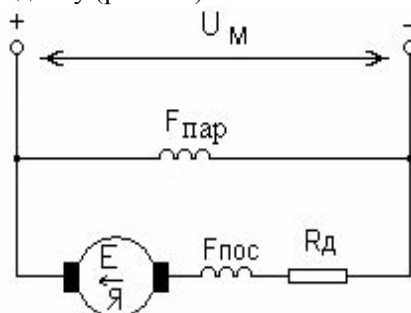


Рис. 6.6 – Схема вмикання ДПС змішаного збудження

Обидві обмотки діють узгоджено, і магнітний потік двигуна визначається сумою намагнічуючих сил обмоток:

$$F_{рез} = F_{пар} + F_{нос}.$$

Залежно від співвідношення магніторушійних сил обмоток збудження механічні характеристики двигуна мають різну крутість (рис. 6.7). Лінія 1 отримана за значенням $F_{нос} = 0,1 \cdot F_n$ (де F_n – магніторушійна сила при номінальному значенні струму в послідовній обмотці збудження), лінія 2 – $F_{нос} = 0,5 \cdot F_n$.

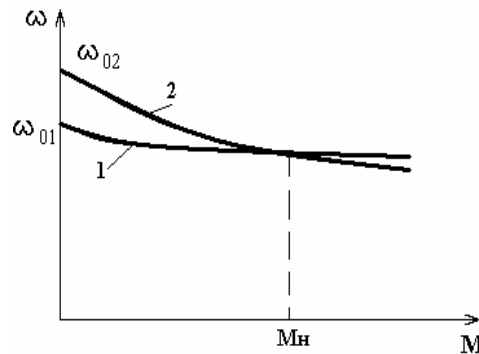


Рис. 6.7 – Механічні характеристики ДПС змішаного збудження

Позитивною якістю двигунів змішаного збудження в порівнянні з двигунами послідовного збудження є те, що на холостому ході швидкість обертання їх не може досягнути небезпечної величини. Максимальне значення швидкості холостого ходу визначається магнітним потоком паралельної обмотки збудження $\Phi_{пар}$:

$$\omega_0 = \frac{U}{c_\omega \Phi_{пар}}.$$

Двигуни постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Двигуни такого типу не потребують окремого джерела живлення для збудження. Відсутність втрат енергії на збудження робить к.к.д. цих двигунів вище, масу на одиницю потужності меншою, конструкцію простішою. Робочі характеристики електродвигунів зі збудженням від постійних магнітів аналогічні характеристикам ДПС з паралельним збудженням.

Недоліком таких двигунів є їх відносно висока вартість, що пояснюється значною вартістю матеріалу постійних магнітів. Електродвигуни зі збудженням від постійних магнітів розраховані, як правило, на невелику потужність (від частки до кількох сотень ват).

Всі двигуни постійного струму незалежно від способу збудження забезпечують достатньо надійне регулювання координат (швидкості обертання, моменту, кута повороту) зміна таких параметрів як напруга живлення, опір електричного кола обмотки якоря, магнітний потік, струм якоря. Застосування ДПС в побутовій техніці обмежене в зв'язку з їх великою вартістю порівняно з двигунами змінного струму, складністю перетворення параметрів енергії постійного струму, іскрінню в щітково-колекторному вузлі.

6.2.2. Асинхронні електродвигуни

Асинхронні електродвигуни (АД) завдяки своїм експлуатаційним властивостям і високим техніко-економічним показникам широко розповсюджені в усіх галузях промисловості. АД є електричною машиною, яка збуджується змінним струмом. На створення обертального магнітного поля із мережі споживається реактивна енергія. Активна електрична енергія перетворюється в механічну, що обумовлює переміщення виконавчих органів робочих машин. У

режимі двигуна вона передається зі статора до ротора електромагнітним шляхом через повітряний зазор.

Синхронна швидкість ω_0 , з якою обертається магнітне поле, залежить від частоти струму в мережі f_m та числа пар полюсів p двигуна і не залежить від режиму роботи двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_m}{p}, \text{ рад/с або } n_0 = \frac{60 f_m}{p}, \text{ об/хв.} \quad (6.8)$$

Швидкість обертання ротора ω залежить від зміни навантаження. Відносна зміна швидкості в частках або відсотках від синхронної швидкості ω_0 називається ковзанням:

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \text{ або } S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100, \% \quad (6.9)$$

При нерухомому роторі $\omega = 0$ і $S = 1$, а при синхронній швидкості ротора $\omega = \omega_0$ та $S = 0$. В режимі двигуна ковзання знаходиться в межах $0 < S < 1$, при $S < 0$ настає генераторний режим, при $S < -1$ – гальмівний.

Якщо подати енергію до статора, то ротор буде обертатися в сторону обертання магнітного поля, але з меншою швидкістю. Різниця між швидкостями обертання магнітного поля статора і ротора обумовлена тим, що частина енергії, яка передається через магнітне поле, втрачається в обмотці ротора і перетворюється на теплоту. Чим більше навантаження на валу двигуна, тим більше ковзання і, відповідно, втрати.

Електромагнітний момент обумовлений взаємодією магнітного поля статора Φ зі струмом ротора I_p . В АД на відмінність від двигунів постійного струму момент визначається не повним струмом ротора, а лише його активною складовою $I_{p.a}$, що збігається за фазою з ЕРС ротора:

$$M = c \cdot \Phi \cdot I_{p.a} = c \cdot \Phi \cdot I_p \cdot \cos \psi_p, \quad (6.10)$$

де c – коефіцієнт пропорційності; ψ_p – зсув фаз між струмом і ЕРС ротора.

З рівняння (6.10) видно, що при $\Phi = \text{const}$ момент визначається значенням $I_{p.a}$. Активна складова струму ротора є складною функцією ковзання, тому що при зміні ковзання змінюється електрорушійна сила в обмотці ротора, частота струму і реактивний опір обмотки. При малому ковзанні реактивний опір обмотки малий і $\psi_p \approx 0$, а тому при збільшенні навантаження на валу момент зростає практично пропорційно струму ротора. При навантаженнях, більших за номінальні, зі зростанням значення ковзання зростає вплив реактивного опору, збільшується зсув фаз і активна складова струму зростає значно менше, ніж повний струм. За деяким значенням ковзання S_k , яке зветься критичним, $I_{p.a}$ досягає максимуму. При подальшому збільшенні ковзання активна складова струму ротора і момент будуть зменшуватися, в той самий час повний струм ротора і статора будуть збільшуватися. При збільшенні струму зростає падіння напруги в обмотці статора, і магнітний потік не залишається постійним. Він помітно зменшується, що при великих значеннях ковзання також позначається на непропорційному збільшенні моменту.

Розглянутий фізичний процес, який протікає в асинхронних двигунах, показує, що АД на відмінність від двигуна постійного струму має явно виражене значення максимального моменту, який носить назву критичного.

Залежність моменту від величини ковзання, яка достатньо повно визначає механічну характеристику двигуна, може бути отримана з рівняння:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (6.11)$$

де M_k та S_k – відповідно критичний момент і критичне значення ковзання.

Значення M_{κ} і S_{κ} визначаються таким чином:

$$M_{\kappa} = \frac{3U_{c.\phi}^2}{2\omega_0(x_c + x'_p)}, \quad (6.12)$$

$$S_{\kappa} = \frac{r'_p}{x_c + x'_p}, \quad (6.13)$$

де $U_{c.\phi}$ – напруга на фазі обмотки статора; x_c – реактивний опір фази статора; r'_p та x'_p – активний і реактивний опори фази ротора, зведені до статора.

На рис. 6.8 наведена механічна характеристика асинхронного двигуна $M = f(s)$, яка побудована на основі рівняння (6.11). Робочою частиною характеристики є ділянка від $S = 0$ до $S = S_{\kappa}$. Інша частина характеристики від $S = S_{\kappa}$ до $S = 1$ задіяна здебільшого в пусковому режимі. Момент двигуна при ковзанні $S = 1$ називається початковим пусковим моментом.

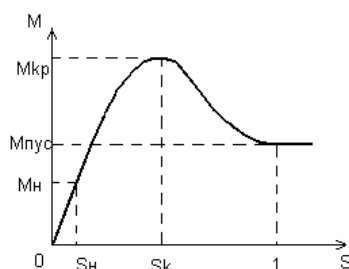


Рис. 6.8 – Механічна характеристика АД

Зміна швидкості двигуна за номінальним моментом визначається номінальним значенням ковзання. Номінальне ковзання на природній механічній характеристиці для АД нормального виконання становить $S_n = 1,5 \dots 7\%$. Менші значення відносяться до двигунів більшої потужності. При змінюванні навантаження від холостого ходу до $(1,3 \dots 1,5)M_n$ механічну характеристику можна вважати лінійною, і рівняння (6.11) можна замінити рівнянням:

$$M = M_n \frac{S}{S_n}. \quad (6.14)$$

Всі асинхронні трифазні електродвигуни випускаються з короткозамкненими або фазними роторами. Найбільш надійні в експлуатації, а тому й найбільш розповсюджені, двигуни з короткозамкненими роторами. Схеми вмикання асинхронних двигунів наведені на рис. 6.9.

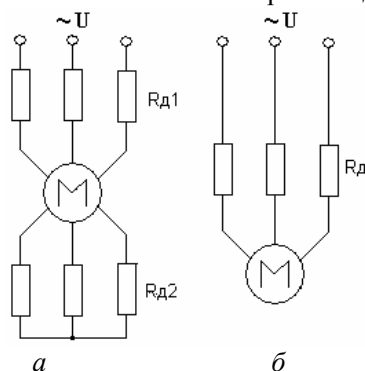


Рис. 6.9 – Схеми вмикання АД з фазним (а) і короткозамкненим (б) роторами

Трифазні АД широко застосовуються в різних галузях промисловості, частіше за все як силові приводи. В побутовій техніці використовуються, в основному, в малогабаритних і мало-потужних метало- й деревообробних верстатах.

Найширше застосування в ЕПТ знайшли однофазні асинхронні двигуни, тому що джерелом електроенергії для житлових і адміністративних міських будівель та сільськогосподарських районів є однофазна мережа змінного струму.

Однофазні асинхронні електродвигуни. Однофазні асинхронні електродвигуни випускаються, як правило, невеликої потужності (до 5...10 кВт), вони використовуються в приводах пральних машин, холодильників, пилососів, кухонних комбайнів тощо. Однофазні АД порівняно з трифазними мають дещо гірші технічні характеристики: меншу здатність до перевантажень, а їх потужність складає не більше 70 % потужності трифазного двигуна.

На статорі однофазних асинхронних двигунів розташовані дві обмотки – основна (робоча) і пускова, яка використовується для пуску двигуна. Ротор однофазного АД виконується короткозамкненим у вигляді “білячої” клітки.

За відсутності пускової обмотки (рис. 6.10) в електродвигуні не буде виникати пусковий момент, що наглядно видно під час аналізу механічних характеристик, які наведені на рис. 6.11.

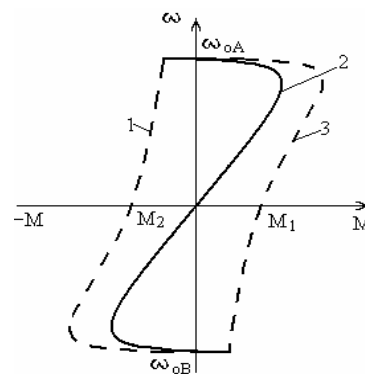
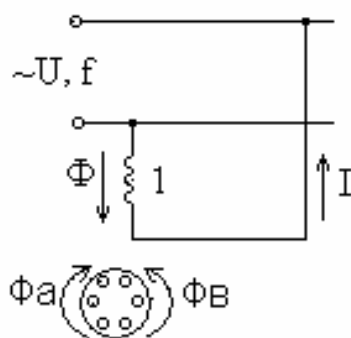


Рис. 6.10 – Схема вмикання однофазного АД Рис. 6.11 – Механічні характеристики однофазного АД

Робоча обмотка 1 двигуна (див. рис. 6.10) вмикається до однофазної мережі змінного струму з напругою U і частотою f . Однофазний струм I цієї обмотки створює магнітне поле, яке можна розкласти на два поля Φ_A і Φ_B з рівними амплітудами, що обертаються в протилежних напрямках з однаковою швидкістю $\omega_0 = 2\pi f_1 / p$. Цим магнітним полям відповідають механічні характеристики $\omega = f(M_A)$ – лінія 3 і $\omega = f(M_B)$ – лінія 1 (див. рис. 6.11).

Результуюча характеристика двигуна $\omega = f(M)$, (лінія 2) отримується додаванням значень моментів характеристик 1 і 3 за однакової швидкості.

Ця характеристика за зовнішнім виглядом нагадує механічну характеристику трифазного асинхронного двигуна, за винятком точки короткого замикання.

При нерухомому роторі ($\omega = 0, S = 1$) магнітні потоки Φ_A і Φ_B створюють однакові за величиною, але протилежні за знаком моменти M_1 і M_2 . Тому при пуску результуючий момент $M_n = M_1 - M_2 = 0$, і вал двигуна не може почати обертатися навіть при відсутності моменту навантаження. В зв'язку з цим для пуску однофазного АД використовується пускова обмотка, яка дозволяє отримати обертальне магнітне поле при підключенні двигуна до мережі і за рахунок цього забезпечити необхідний пусковий момент.

З теорії електричних машин відомо, що для отримання обертального магнітного поля на статорі двигуна повинно бути розташовано щонайменше дві обмотки, що зміщені в просторі на певний кут, по яким протікають змінні струми зі зміщеними за часом максимумами. Згідно з цим, пускова обмотка укладається на статорі двигуна з зсувом її осі на 90° відносно осі робо-

чої обмотки, а зсув струмів забезпечується вмиканням в її електричне коло додаткового фазозсувного елемента.

Схеми вмикання однофазних електродвигунів з пусковою обмоткою і фазозсувним елементом наведені на рис. 6.12.

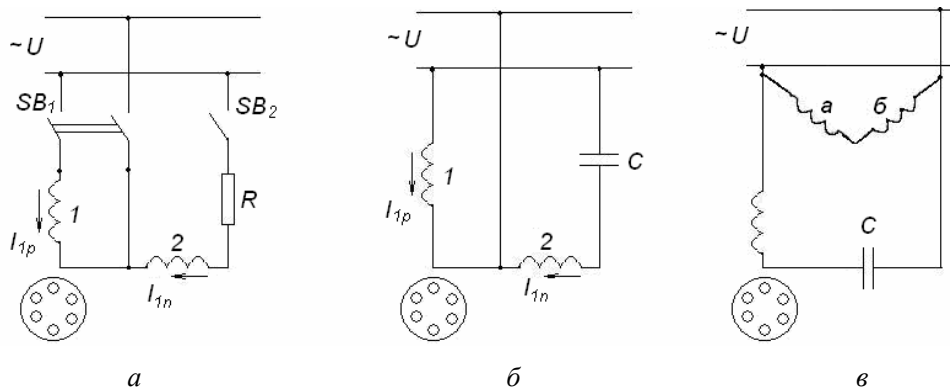


Рис. 6.12 – Схеми вмикання однофазних асинхронних двигунів

Робоча 1 і пускова 2 обмотки (рис. 6.12, а) вмикаються до однієї і тої самої однофазної мережі змінного струму U . Зсув фази струму I_{1n} в пусковій обмотці відносно струму I_{1p} робочої обмотки здійснюється вмиканням в електричне коло пускової обмотки фазозсувного елемента-резистора R (замість резистора можливе використання конденсатора або індуктивності). Під час пуску двигуна в зв'язку з вмиканням резистора R утворюється обер�альне магнітне поле, виникає електромагнітний момент, який приводить в рух ротор двигуна. Пуск двигуна здійснюється в наступному порядку: замикаються ключі SB_1 і SB_2 , при цьому обидві обмотки вмикаються до електричної мережі. За певної швидкості обертання ротора ключ SB_2 вимикається, і двигун продовжує працювати тільки з робочою обмоткою. Керування ключем SB_2 здійснюється за допомогою реле часу та струму, відцентрових регуляторів тощо.

Найкращі характеристики однофазний асинхронний двигун має при використанні в якості фазозсувного елемента конденсатора. Величина ємності цього конденсатора може бути підібрана таким чином, що струм пускової обмотки при $S = 1$ буде зміщеним відносно струму робочої обмотки на 90° . В цьому випадку у двигуні в початковий момент буде виникати обер�альне магнітне поле, яке забезпечить значний пусковий момент.

Схема вмикання однофазного асинхронного двигуна, в якому як фазозсувний елемент використовується конденсатор C , наведена на рис. 6.12, б. Обмотка 2 з конденсатором C не вимикається після закінчення пуску двигуна, а залишається ввімкненою при його роботі в основному режимі. В цьому випадку друга обмотка є не пусковою, а допоміжною робочою обмоткою. Такий двигун називається конденсаторним.

Як однофазний асинхронний двигун може бути використаний і трифазний двигун, дві обмотки якого ввімкнені послідовно (наприклад, згідно зі схемою рис. 6.12, в) і безпосередньо підключені до мережі, а третя обмотка підключена до тієї ж мережі через конденсатор.

Різновидом однофазних асинхронних електродвигунів є двигуни з екранованими полюсами (див. рис. 6.13), що мають явноплюсний статор і короткозамкнений ротор. На осерді 3 статора 1 розташована основна обмотка W , а на кожному з явновиражених полюсів статора є пази, які ділять їх на дві частини. На одній з частин знаходяться короткозамкнені витки 2, які відіграють роль додаткової обмотки. При подачі змінної напруги U на основну обмотку, по ній починає протікати струм I_a , а в осерді створюється магнітний потік Φ_a , який на полюсі можна виразити сумою двох потоків Φ_1 і Φ_2 . Потік Φ_1 проходить екранованою частиною полюса і наводить в короткозамкненому витку (допоміжній обмотці) електрорушійну силу E_e ,

під дією якої в обмотці починає протікати струм I_e , що відстає від неї на кут ϕ_e . Кут зсуву за фазою струму I_e відносно струму I_a складає $\phi_a - \phi_e$.

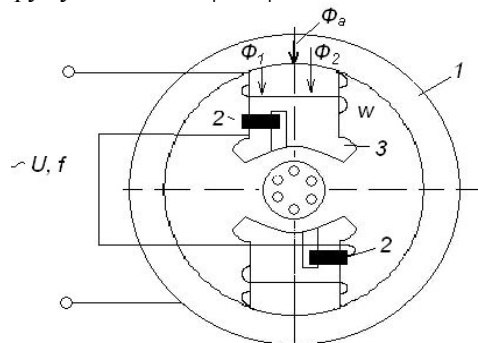


Рис. 6.13 – Схема конструкції АД з екранованими полюсами

Завдяки просторовому зсуву обмоток W і W_k і зсуву по фазі струмів I_a та I_e в зазорі між статором і ротором двигуна виникає обертальне магнітне поле, яке при взаємодії з короткозамкненою обмоткою ротора створює обертальний момент. Напрямок обертання ротора визначається розташуванням короткозамкнених витків – від неекранованої частини полюса до екранованої.

Асинхронні електродвигуни з короткозамкненим витком на полюсі мають низькі енергетичні показники (к.к.д. та коефіцієнт потужності зазвичай не перевищують 0,40...0,45).

Незважаючи на такі показники, електродвигуни цього типу широко застосовуються у малопотужних приладах (вентилятори, повітроочисники, зволожувачі та ін.) завдяки простоті конструкції, надійності в експлуатації, незначній вартості.

Для привода активатора і центрифуг пральних машин розроблені однофазні двигуни з послідовно ввімкненими обмотками (рис. 6.14). Обмотка статора таких двигунів розділена на дві однакові частини, які з'єднані послідовно з кутом просторового зсуву їх осей більш, ніж 90° .

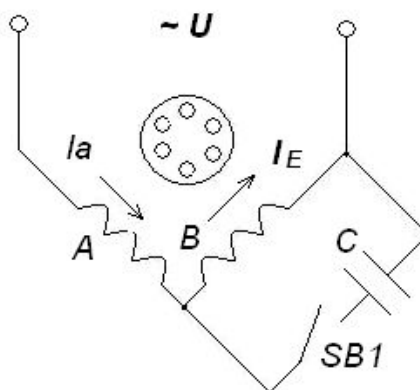


Рис. 6.14 – Схема вмикання ЕД з послідовно ввімкненими обмотками

Паралельно одній з частин обмотки на період пуску підключається конденсатор. Завдяки цьому витрати міді на виготовлення таких двигунів в порівнянні з двигунами з пусковою обмоткою зменшується на 30 %.

6.2.3. Універсальні колекторні електродвигуни

Універсальні колекторні електродвигуни застосовуються в ЕПТ, коли заздалегідь не відомо, від якої мережі буде здійснюватися живлення, або коли за умовою експлуатації необхідний перехід від живлення постійним струмом до живлення змінним струмом (наприклад,

електробритви). Магнітна система універсальних електродвигунів аналогічна магнітній системі колекторних електродвигунів змінного струму. Схема вмикання універсальних колекторних електродвигунів наведена на рис. 6.15.

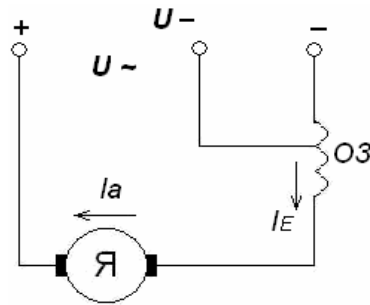


Рис. 6.15 – Схема вмикання універсального колекторного ЕД

Універсальні колекторні двигуни живляться від мережі постійного і змінного струму, тому неминучі зміни параметрів електричних кіл (виникають додаткові опори за рахунок індуктивності обмоток якоря і збудження при живленні змінним струмом). В універсальних двигунах прагнуть отримати однакові механічні характеристики незалежно від виду джерела живлення.

Для наближення характеристик електродвигуна при живленні від джерел постійного та змінного струмів передбачають секціонування обмотки збудження (див. рис. 6.15). При живленні від мережі постійного струму вмикають всю обмотку збудження, а при живленні від мережі змінного струму – тільки її частину. Проте і в цьому випадку не вдається отримати абсолютного збігу характеристик. Струм, який споживається універсальним електродвигуном при роботі від мережі змінного струму, більший, ніж при роботі від мережі постійного струму, тому що змінний струм, окрім активної, має ще і реактивну складову, обумовлену струмом намагнічування. Універсальний електродвигун має більш низький к.к.д. при роботі на змінному струмі внаслідок втрат в сталі якоря та індуктора, обумовлених змінним магнітним потоком.

6.2.4. Вентильно-індукторні двигуни

Досягнення в області електричних машин, розвиток напівпровідникової і обчислювальної техніки зумовили появу вентильних індукторних двигунів (ВІД), область застосування яких у регульованому електроприводі поступово розширюється поряд із синхронними і асинхронними машинами. Підвищена увага в цілому до регульованого електропривода пояснюється не тільки зростаючими вимогами до якості технологічних процесів, а й тим, що останнім часом все більшої актуальності набувають питання, пов'язані з енергозбереженням.

Найчастіше в регульованому приводі застосовуються серійні асинхронні двигуни (АД). Однак ряд питань, пов'язаних зі зниженням к.к.д. і необхідністю завищення встановленої потужності АД в частотно-регульованому приводі, ставить перед дослідниками в цій області нові завдання. В цьому відношенні застосування електропривода на основі ВІД можна розглядати як альтернативу частотно-регульованого електропривода.

У побутовій техніці є клас пристроїв і механізмів, що використовують нерегульований електропривод, де енергетична ефективність істотно зростає у порівнянні з використанням регульованого. До таких пристроїв, насамперед, відносяться компресори, насоси і вентилятори. Використання тут ВІД є дуже перспективним. Індукторний привод найбільшою мірою задовольняє сучасним вимогам до приводів електрообутової техніки, тому що забезпечує плавне регулювання й широкий діапазон робочих частот обертання двигунів.

ВІД – це відносно новий тип електромеханічного перетворювача енергії, який поєднує в собі властивості як електричної машини, так й інтегрованої системи регульованого електропривода. Він забезпечує перетворення електричної енергії, яка поступає від мережі живлення,

в механічну енергію. Як системи регульованого електропривода, ВІД дає можливість здійснювати управління цим процесом відповідно до особливостей конкретного навантаження: регулювати частоту обертання, момент, потужність тощо.

Такий двигун є досить складною електромеханічною системою, структурна схема якої наведена на рис. 6.16.

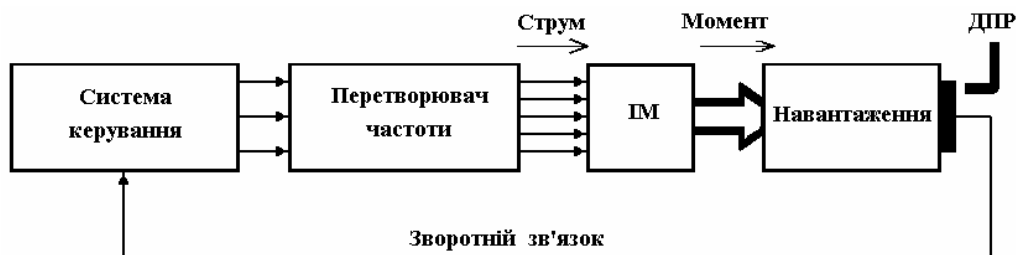


Рис. 6.16 – Структурна схема вентильного індукторного двигуна

До її складу входять: індукторна машина (ІМ), перетворювач частоти, система керування (СК) і датчик положення ротора (ДПР). Функціональне призначення цих елементів очевидно: перетворювач частоти забезпечує живлення фаз ІМ однополярними імпульсами на пруги прямокутної форми; ІМ здійснює електромеханічне перетворення енергії, СК відповідно до закладеного в неї алгоритму і сигналів зворотного зв'язку, що поступають від датчика положення ротора (ДПР), керує цим процесом. Датчик положення ротора (Shaft Position Sensor, Shaft Encoder) – інформаційний вузол вентильного двигуна, призначений для визначення відносного положення магнітної осі ротора й еквівалентної магнітної осі статора і видачі відповідних команд для керування схемою комутатора.

За своєю структурою ВІД є класичною системою регульованого електропривода, й тому він має усі її властивості.

Проте на відміну від регульованого електропривода, наприклад, з асинхронним двигуном, індукторна машина у ВІД не є самодостатньою. Вона принципово нездатна працювати без перетворювача частоти і СК. Перетворювач частоти і система управління є невід'ємними частинами ІМ, необхідними для здійснення електромеханічного перетворення енергії. Це дає право стверджувати, що сукупність структурних елементів, наведених на рис. 6.16, є не лише системою регульованого електропривода, але і електромеханічним перетворювачем енергії.

Конструктивно індукторна машина, перетворювач частоти і система керування у ВІД можуть бути виконані окремо. При цьому в процесі роботи вони можуть знаходитися на досить великому віддаленні один від одного.

В останній час у світі спостерігається стійка тенденція виконання перетворювача частоти і двигуна в системі регульованого електропривода в одному корпусі. Таке конструктивне виконання в англомовній літературі отримало назву *combimaster*, що може бути переведено як електропривод інтегрального виконання.

Вентильні індукторні двигуни відносяться до класу синхронних реактивних машин з вентильним керуванням і являє собою синтез електромеханічного перетворювача енергії – індукторної машини та електронного блока керування.

Конструктивно він давно відомий як кроковий двигун, або як різновид синхронного реактивного двигуна, однак живлення обмоток однополярними імпульсами струму за сигналами від датчика положення ротора забезпечує значно вищі техніко-економічні показники в порівнянні з асинхронними двигунами й дозволяє застосовувати його як керований електропривод у широкому діапазоні потужностей.

Конструктивно двигун складається з шестиполісного статора l і ротора 3 з чотирма явно вираженими полюсами (див. рис. 6.17). При цьому, щоб не виникали великі втрати в сталі через вихрові струми, статор і ротор двигуна виготовляються з шихтованої електротехнічної

сталі. Обмотка статора 2 виконується у вигляді зосереджених, розміщених на зубцях котушок, що забезпечує високу технологічність їх виготовлення.

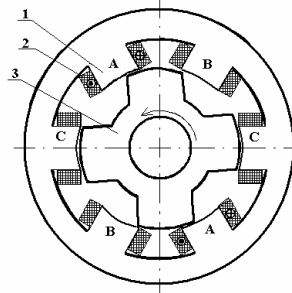


Рис. 6.17 – Схема конструкції індукторної машини

Ротор ВІД не має обмотки, що підвищує надійність та зменшує вартість їх порівняно з іншими типами вентиляного приводу. Конфігурацію ВІД прийнято визначати дробом, у чисельнику якого вказують число зубців статора, а в знаменнику – число зубців ротора (8/6, 6/4, 4/4). На рис. 6.17 показаний ВІД 6/4. З його аналізу випливає, що ІМ має наступні конструктивні особливості:

- осердя статора і ротора мають полюсну структуру;
- число полюсів відносно невелике, при цьому число полюсів статора більше числа полюсів ротора;
- осердя статора і ротора виконуються шихтованими;
- обмотка статора котушкова, вона може бути одно- або багатофазною;
- фаза ІМ, як правило, складається з двох котушок, розташованих на діаметрально протилежних полюсах статора. Відомі ІМ з подвоєним числом полюсів статора і ротора. У такому чотирифазному виконанні вони мають конфігурацію 16/12. Фаза такої ІМ складається з двох пар котушок, які розташовуються на полюсах статора таким чином, що їх осі – ортогональні;
- котушки фази можуть бути з'єднані паралельно або послідовно, магнітний потік в них може бути направлений або узгоджено або зустрічно;
- обмотка на роторі ІМ відсутня.

Принцип дії вентиляної машини пояснює рис. 6.18.

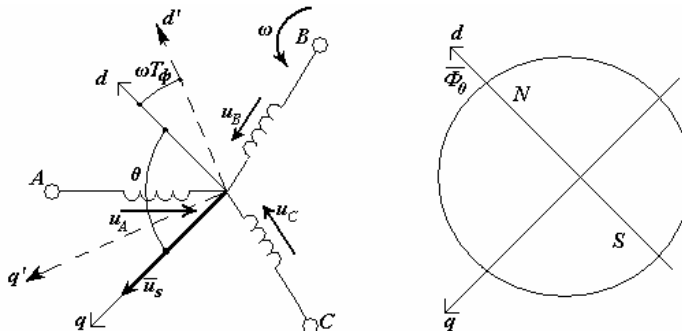


Рис. 6.18 – Фізична модель ВІД

Датчик положення ротора, перетворювач координат і силовий напівпровідниковий перетворювач сумісно створюють на обмотках статора двигуна напруги u_A, u_B, u_C таким чином, щоб результуючий вектор напруги \vec{u}_S завжди був зміщений на кут θ та нерухомий відносно осі магнітного поля ротора (див. рис. 6.18). В цьому випадку результуючий вектор струму буде зміщений і нерухомий відносно потоку ротора ($\vec{\Phi}_0$), що і створює момент на валу ВІД.

Математичний опис вентиляльної машини реалізується аналогічно асинхронній машині, при цьому вісь магнітного поля ротора прийнято позначати d (дійсна вісь), а перпендикулярну вісь – літерою q (уявна вісь).

Рівняння рівноваги ЕРС на обмотках статора в нерухомій системі координат базуються на другому законі Кірхгофа (ротор не має обмоток):

$$\left. \begin{aligned} u_A &= R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \\ u_B &= R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\ u_C &= R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \end{aligned} \right\}, \quad (6.15)$$

де u, i, ψ – миттєві напруги, струми та потокозчеплення відповідних фаз обмотки статора; $\psi_A = L_A i_A + \Phi_0 \cos(\omega t)$; $\psi_B = L_B i_B + \Phi_0 \cos(\omega t - 120)$; $\psi_C = L_C i_C + \Phi_0 \cos(\omega t + 120)$; $R_A, R_B, R_C, L_A, L_B, L_C$ – активні опори та індуктивності обмотки статора; Φ_0 – магнітний потік.

Для перетворення рівнянь в миттєвих значеннях до рівнянь в просторових векторах помножимо перше рівняння на $\frac{2}{3}$, друге – на $\frac{2}{3}\bar{a}$, третє – на $\frac{2}{3}\bar{a}^2$, де $\bar{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$, $\bar{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$ – вектори, які враховують просторове зміщення обмоток. Після додавання отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_S &= R_S \bar{i}_S + \frac{d\bar{\psi}_S}{dt} \\ \bar{\psi}_S &= L_S \bar{i}_S + \Phi_0 e^{j\omega t} = L_S \bar{i}_S + \bar{\Phi}_0 \end{aligned} \right\}, \quad (6.16)$$

де L_S – індуктивність статора; $\bar{u}_S, \bar{i}_S, \bar{\psi}_S$ – напруга, струм та потокозчеплення статора в нерухомій системі координат.

Електромагнітний момент, що розвивається двигуном, дорівнює:

$$M = \frac{3}{2} p \cdot \text{mod}(\bar{\psi}_S \cdot \bar{i}_S) = \frac{3}{2} p \cdot \text{mod}(\bar{\Phi}_0 \cdot \bar{i}_S). \quad (6.17)$$

Рівняння рівноваги моментів на валу двигуна:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_n, \quad (6.18)$$

де $\omega_m = \frac{\omega}{p}$; p – число пар полюсів; M_n – момент опору навантаження.

Вентильно-індукторні двигуни мають більш високі значення к.к.д. (на рівні 90 %), а також підвищену надійність, що обумовлено відсутністю обмоток на роторі й застосуванням простих і надійних зосереджених обмоток статора. За простотою пристрою та надійністю електро-механічної частини ВІД перевершує асинхронний двигун, трудомісткість його виготовлення в 1,5...2 рази менше, ніж асинхронного.

6.2.5. Вибір електродвигуна для електропобутової техніки

З викладеного видно, що промисловістю випускається різноманітні електродвигуни в залежності від вимог до них та умов експлуатації. Вибір електродвигуна є одним з найвідповідальніших етапів створення ЕПТ.

Від правильності вибору двигуна залежить довговічність та надійність роботи техніки, а також її вартість і експлуатаційні витрати. Для деяких видів електропобутової техніки (кавомолки, міксеру тощо) вартість електродвигуна є основною частиною витрат при їх виготовленні.

Під час вибору електродвигуна треба керуватися наступним:

- характеристики електродвигуна повинні бути узгоджені з характеристиками технічних засобів;
- з усіх порівняних варіантів треба вибрати такий, за яким вартість електродвигуна з урахуванням експлуатаційних витрат буде мінімальною.

6.3. Перетворюючі елементи в пристроях керування електропобутової техніки

Електропобутова техніка обладнана засобами автоматичного контролю і керування. Одними з найважливіших елементів в системі автоматичного керування є перетворюючі елементи, які перетворюють інформацію про стан параметрів системи (температура, швидкість тощо) в сигнал, зручний для використання в системах керування.

На сьогодні у науці і техніці використовують різноманітні первинні перетворювачі, які можна класифікувати за різними ознаками, але найбільш розповсюджена класифікація за видом вхідного параметра. В електропобутовій техніці найбільш розповсюджені перетворювачі температури, швидкості, вологості, витрат рідини і таке ін.

Робота будь-якого перетворювача характеризується статичною і динамічною характеристиками. Статичною характеристикою називається залежність вихідної величини від вхідної, коли вхідна величина змінюється настільки повільно, що в будь-який момент часу її можна вважати незмінною. До статичних характеристик перетворювачів пред'являється ряд вимог: однозначність, стабільність в часі, ідентичність для однотипних перетворювачів, а для перетворювачів безперервної дії – лінійність при високій чутливості.

Зміна вихідної величини перетворювача залежно від зміни вхідної величини відбувається, як правило, не миттєво, а з деяким запізнюванням, що визначається часом протікання фізичних процесів в самому перетворювачі. В цьому випадку залежність вихідної величини в часі носить назву динамічної характеристики перетворювача.

6.3.1. Термочутливі перетворюючі елементи

Температура – найважливіший параметр багатьох технологічних процесів, що протікають в електропобутовій техніці (холодильники, пральні і посудомийні машини, кухонні комбайни тощо). З усього різноманіття термочутливих перетворювачів в ЕПТ знаходять широке застосування наступні:

- термометри розширення, принцип дії яких заснований на зміні питомого об'єму речовини (газ, рідина, тверде тіло), використовуються при температурах від -190 до $+500$ °С;
- манометричні термометри, принцип дії яких ґрунтується на зміні тиску речовини постійного об'єму, використовуються при температурах від -160 до $+1000$ °С;
- термометри опору (терморезистори), принцип дії яких ґрунтується на зміні електричного опору речовини, використовуються при температурах від -200 до $+650$ °С;
- термоелектричні термометри, в яких використовується залежність термо-ЕРС термопарі від температури, використовуються при температурах від -50 до $+1800$ °С.

У лабораторних випробуваннях застосовуються рідинні термометри розширення, в яких термочутливою речовиною є рідина, що залита в скляний балон. Рідинні термометри з ртутним заповненням вимірюють температуру від -25 до $+500$ °С. Для вимірювання найнижчих температур використовуються органічні рідини: етиловий спирт, толуол, пентан тощо.

За своєю конструкцією термометри бувають палочними з вкладеною шкальною пластинкою. Палочний термометр – це товстостінний скляний капіляр, нижня частина якого є термобалон. У термометрі з вкладеною шкальною пластинкою скляний капіляр тонкостінний і розміщений разом зі шкальною пластинкою в захисній скляній трубці.

Рідинні термометри можуть бути обладнані спеціальною контактною системою. В цьому випадку вони використовуються в системах регулювання температури. Але безпосе-

редньо в електропобутовій техніці рідинні термометри не використовуються в зв'язку з низькою міцністю при тривалій експлуатації (хрупкість скляного балона термометри).

В електропобутовій техніці знайшли застосування термометри розширення, принцип дії яких побудований на тепловому розширенні твердих тіл (дилатометричні термометри). Дилатометричні термометри поділяють на дві групи: стрижневі (жезлові) і біметалеві.

У стрижневих термометрах використовується різниця абсолютного лінійного подовження двох стрижнів, виготовлених з різного матеріалу (рис. 6.19).

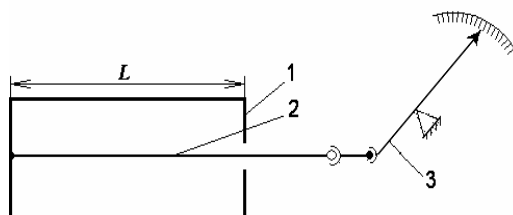


Рис. 6.19 – Схема дилатометричного стрижневого термометра

Закрита з одного кінця трубка 1 виготовляється з матеріалу з високим й стабільним коефіцієнтом лінійного розширення α_1 (мідь, латунь, алюміній) та розміщується у вимірюваному середовищі. Внутрішнє осердя 2 із матеріалу з низьким коефіцієнтом лінійного розширення α_2 (інвар, кварц тощо) з'єднується з дном трубки 1. Під час зміни температури на ΔT (°C) змінюється довжина трубки L . Відносне переміщення виступаючого осердя, зв'язаного зі стрілкою 3, становить:

$$\Delta L = \Delta T \cdot L (\alpha_1 - \alpha_2).$$

Біметалевий термометр складається з двох спаяних вигнутих пластинок 1 і 2 (рис. 6.20), виготовлених із металів з різними коефіцієнтами лінійного розширення ($\alpha_1 > \alpha_2$), які утворюють одну біметалеву пластинку. При підвищенні або зниженні температури пластинка 1 прагне подовжитись або скоротитись більш, ніж пластинка 2, що призводить до вигину біметалевої пластинки випуклістю до прошарку з більшим або, відповідно, меншим α . Переміщення вільного кінця пластинки системою важелів передається стрілці 3 шкали приладу. Чутливість біметалевої пластинки визначається вигином її кінця при нагріванні на 1 °C і залежить від розмірів пластинки та фізичних властивостей її матеріалу (коефіцієнт лінійного розширення і модуль жорсткості).

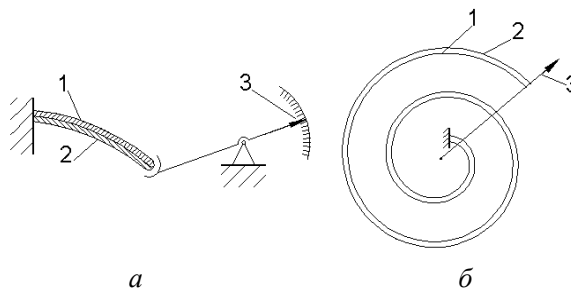


Рис. 6.20 – Схеми біметалевих термометрів з пластинкою:
а – плоскою; б – гвинтовою

Дилатометричні термометри в ЕПТ знайшли застосування в гладильних пресах, прасках тощо.

Манометричні термометри являють собою заповнену робочим тілом – рідиною, паром або газом – замкнену систему, тиск в якій вимірюється пружинним манометром. В ЕПТ манометричні термометри, як правило, використовуються як регулятори температури.

Принцип дії, наведеного на рис. 6.21 терморегулятора, полягає в наступному. Балон 7, капіляр 6 і сильфон 5 заповнені робочою речовиною (наприклад, перегрітим паром хладону), тиск якої передається на внутрішню стінку сильфона 5. З протилежного боку на стінку сильфона 5 діє пружина 3, жорсткість якої змінюється гвинтом 2. Між пружиною і сильфоном розташований важіль 4, що діє на контактну систему 1. При збільшенні температури в контрольованому середовищі вище допустимої, робоча речовина в системі терморегулятора розширюється і, долаючи опір пружини 3, натискає на важіль 4 й контактну систему 1, яка в свою чергу керує проміжним реле, що вмикає або вимикає електродвигун. Манометричні термометри надійні в експлуатації.

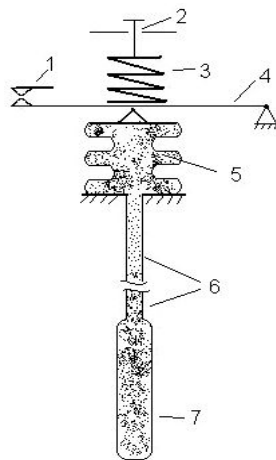


Рис. 6.21 – Принципова схема манометричного терморегулятора

Терморезистори – термочутливі елементи, в яких відбувається зміна електричного опору під час зміни температури контрольованого середовища. Розрізняють терморезистори металеві (дротові) і напівпровідникові (термістори). Дротові терморезистори мають позитивний температурний коефіцієнт опору, практично незалежний від температури, тому їх опір зростає лінійно зі збільшенням температури. Наприклад, для мідних термоперетворювачів опору, що працюють при температурах від -50 до $+200$ °С, ця залежність має вигляд:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t),$$

де $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$, °С⁻¹ – температурний коефіцієнт опору.

Важливою перевагою дротових терморезисторів є їх взаємозамінність.

Термістори, не дивлячись на істотні недоліки, – нестабільність, нелінійність, неоднозначність, значний розкид характеристики, а також порівняно низьку максимальну вимірювальну температуру в процесі експлуатації (до 300 °С) – знаходять все більш широке застосування в промисловості.

Активний опір термісторів в більшості випадків спадає з підвищенням температури, і залежність $R_T = f(T)$ можна представити у вигляді:

$$R_T = A e^{\frac{B}{T}},$$

де A і B – сталі термістора, які залежать від його конструктивних параметрів і властивостей матеріалу; T – абсолютна температура, К.

Широке застосування термісторів пояснюється їхніми малими габаритами, що дозволяє вмонтовувати їх в дуже малі деталі для контролю температури або інших параметрів; високою чутливістю, що дозволяє використовувати їх з нескладними вимірювальними схемами; малою інерційністю, тому їх можна застосовувати для контролю швидкоплинних процесів.

Дія термоелектричних термометрів ґрунтується на термоелектричному ефекті, який проявляється у двох випадках: при поєднанні двох різних провідників з однаковою температурою, або коли кінці одного провідника мають різну температуру.

В техніці найширше застосування знайшли термометри першої групи, в яких чутливим елементом термоелектричного перетворювача є термопара – два металевих або напівпровідникових термоелектроди, з'єднаних одним робочим кінцем (або спаєм). Вільні кінці термоелектродів вмикаються до вимірювального приладу. ЕРС, яка виникає в термопарі, пропорційна зміні різниці температур:

$$E = \alpha(t_1 - t_2),$$

де t_1, t_2 – температури робочого (гарячого) і вільного (холодного) кінців термопари; α – коефіцієнт пропорційності, чисельно дорівнює ЕРС термопари при різниці $t_1 - t_2 = 1$ К.

Коефіцієнт α можна вважати постійною величиною тільки в порівняно незначних температурних границях, тому що більшість термопар мають лінійні статичні характеристики.

Термопари, виготовлені із напівпровідникових матеріалів, можуть створювати значно більші значення ЕРС, ніж термопари, що виготовлені зі звичайних металів, таких як хромель-алюмель; хромель-копель; платинородій-платина; мідь-константан тощо. Але у системах вимірювання вони не знаходять широкого застосування в зв'язку з недостатньою стабільністю. В той самий час ці термопари знайшли застосування у побутовій техніці – використовуються в термоелектричних холодильниках та сонячних батареях живлення тощо.

6.3.2. Перетворюючі елементи для контролю та регулювання рівня рідини

З усього різноманіття методів і засобів вимірювання рівня рідини, що використовуються в техніці (поплавкові, гідростатичні, вагові, електричні, акустичні, радіоізотопні) в електропобутовій техніці знайшли широке застосування поплавкові та електричні методи.

Поплавковий метод ґрунтується на вимірюванні лінійного переміщення поплавка відносно вертикальної напрямної або кутового переміщення важеля, зв'язаного з поплавком, який виконує роль чутливого елемента. Звичайним поплавком контролюється рівень рідини постійної густини без масштабної поправки, тобто вертикальне переміщення поплавка пропорційне змінюванню вертикальної координати площини рівня рідини. Тому, під час використання поплавка для вимірювання рівня рідини поплавок камера повинна мати відповідну висоту. Для зменшення величини переміщення поплавка при зміні рівня рідини використовується довгий циліндричний поплавок (буйок) з пружиною, що має лінійну пружну характеристику (рис. 6.22).

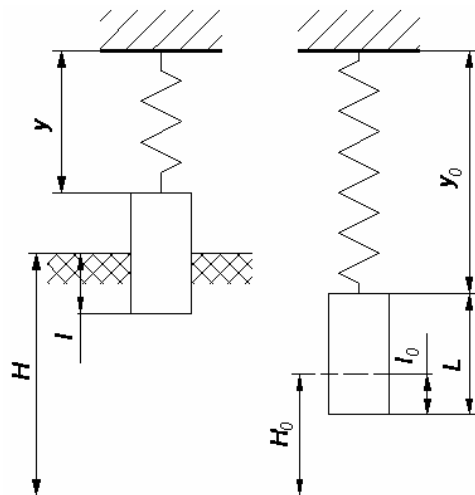


Рис. 6.22 – Схема переміщення циліндричного поплавка

Припустимо, що при рівні рідини H_0 і довжині зануреної частини поплавка l_0 пружина не була деформована. Для рівня H умова рівноваги поплавка (з урахуванням сили Архімеда) має вигляд:

$$G - S \cdot l \cdot \gamma \cdot g + (y_0 - y) \cdot U = 0, \quad (6.19)$$

де G – сила тяжіння поплавка, H ; S – площа поперечного перерізу поплавка, m^2 ; l – довжина зануреної частини поплавка, m ; γ – питома маса рідини, kg/m^3 ; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; U – жорсткість пружини, N/m ; різниця $(y_0 - y)$ є переміщенням поплавка при зміні рівня від H_0 до H .

Розглянемо найпростіші геометричні співвідношення і отримаємо:

$$H - l + L + y = H_0 - l_0 + L + y_0$$

або

$$l = (H - H_0) - (y_0 - y) + l_0. \quad (6.20)$$

Підставивши рівняння (6.20) в (6.19), отримаємо:

$$y_0 - y = \frac{S \cdot l_0 \cdot \gamma - G}{S \cdot \gamma + U} + (H - H_0) \frac{S \cdot \gamma}{S \cdot \gamma + U}.$$

Для рівня рідини H_0 можна записати:

$$G - S l_0 \cdot \gamma = 0 \text{ або } l_0 = \frac{G}{S \cdot \gamma}.$$

Отже

$$y_0 - y = \frac{1}{1 + \frac{U}{S \cdot \gamma}} (H - H_0). \quad (6.21)$$

З рівняння (6.21) видно, що переміщення поплавка пропорційне зміні рівня рідини з коефіцієнтом пропорційності менше за одиницю (тільки при $U = 0$, коефіцієнт пропорційності дорівнює одиниці) і залежить від жорсткості пружини. З підвищенням жорсткості пружини відносне переміщення поплавка знижується:

$$\frac{y_0 - y}{H - H_0} = \frac{1}{1 + \frac{U}{S \cdot \gamma}}. \quad (6.22)$$

Поплавкові вимірювачі, що випускаються промисловістю, використовуються для вимірювання рівня рідини в широкому діапазоні (0,1...10 м) при густині рідини, що контролюється, від 0,5 до 1,8 $г/см^3$ та її температурі від -40 до 400 $^{\circ}C$.

Дія електричних вимірювачів рівня рідини ґрунтується на залежності електричної ємності конденсатора, індуктивності або активного опору резистора від рівня рідини в ємності.

Електричні вимірювачі, в яких зміна активного опору відбувається залежно від рівня електропровідної рідини, називаються кондуктометричними. Вони виготовляються зазвичай у вигляді дротових резисторів, що встановлені вертикально в резервуар, рівень рідини в якому підлягає вимірюванню. Довжина частини резистора, зануреної в рідину, змінюється залежності від рівня останньої, а отже електропровідна рідина шунтує при цьому більшу чи меншу частину резистора (залежно від рівня води, при цьому його опір відповідно змінюється). При певному профілюванні каркаса, на який намотується дріт резистора, можна отримати лінійну залежність його опору від рівня рідини. З метою запобігання поляризації електродів в кондуктометричних вимірювачах рівня використовується змінний струм.

В ємнісному перетворювачі для вимірювання рівня неелектропровідності як чутливий елемент використовується вертикальний трубчастий конденсатор. Для електропровідних рідин

металеві трубки конденсатора покриваються тонким шаром ізоляційних матеріалів. Ємність конденсатора при заповненні його рідиною змінюється від C_{\min} до C_{\max} і дорівнює:

$$C_{\min} = H_0 \frac{\varepsilon_0}{1,8 \ln \frac{d_1}{d_2}} \text{ і } C_{\max} = H_0 \frac{\varepsilon}{1,8 \ln \frac{d_1}{d_2}},$$

де H_0 – висота конденсатора; ε_0 та ε – відповідно діелектричні проникності повітря і рідини; d_1 та d_2 – відповідно внутрішній діаметр зовнішньої і зовнішній діаметр внутрішньої трубок.

При рівні рідини H ємність конденсатора можна розраховувати за рівнянням:

$$C_x = \frac{H(\varepsilon - \varepsilon_0) + H_0 \varepsilon_0}{1,8 \ln \frac{d_1}{d_2}},$$

тобто при незмінності ε_0 та ε (якщо є температурна компенсація) ємність перетворювача лінійно пов'язана з рівнем рідини. Часто в якості однієї із обкладинок конденсатора використовується стінка металевого резервуара.

Принцип дії індуктивного вимірювача аналогічний ємнісному – тільки тут замість вертикального конденсатора по всій висоті резервуара встановлюється в спеціальній камері котушка індуктивності. Її комплексний опір функціонально й однозначно пов'язаний з рівнем електропровідної рідини.

Електричні вимірювачі випускаються промисловістю для вимірювання рівня рідини в межах від 0,6 до 10 м, при цьому температура неелектропровідної рідини може змінюватися від -40 до $+100$ °С, а електропровідної від -40 до $+200$ °С.

6.3.3. Вимірювання вологості капілярно-пористих тіл

Технологічні процеси в більшості галузей промисловості включають зволоження і сушіння виробів, в процесі яких формуються необхідні фізико-механічні і технологічні властивості готових продуктів. Аналогічні процеси мають місце в побутовій техніці під час обробки виробів в пральних машинах, прасувальних пресах тощо.

Для кількісної характеристики вмісту вологи в матеріалі використовуються показники: вологовміст U і вологість W :

$$U = \frac{M_{\text{вол}}}{M_0}; \quad W = \frac{M_{\text{вол}}}{M},$$

де $M_{\text{вол}} = M - M_0$ – маса вологи; M , M_0 – відповідно, маса матеріалу у вологому та сухому стані.

Методи вимірювання вологості підрозділяються на прямі і непрямі. В прямих методах створюється безпосереднє розділення матеріалу на суху речовину і вологу. В непрямих контролюється інша фізична величина, яка функціонально зв'язана з вологовмістом матеріалу.

Прямі методи вимірювання вологості використовуються в лабораторних умовах і тривають протягом тривалого часу (декілька годин і діб). Із прямих методів вимірювання вологості найбільше поширення отримали методи висушування (екстракційні і хімічні).

Метод висушування полягає в повітряно-тепловому сушінні спеціально підготовленого зразка, який підвищується в приміщенні з певними параметрами до досягнення ним постійної ваги. За екстракційним методом волога витягується із зразка матеріалу, водопоглинаючим матеріалом. Кількість вологи, яка поглинається рідиною, зазвичай оцінюється за зміною однієї із фізичних характеристик екстракту (наприклад, густини або електричних характеристик). Хі-

мічний метод передбачає витягування води за допомогою реагенту, що вступає в хімічну реакцію з вологою зразка матеріалу. Про кількість води в матеріалі аналізують за кількістю продукту реакції. Недоліки прямих методів контролю і вимірювання вологості полягають в необхідності відбору і спеціальної підготовки проб матеріалу, дискретності і значної тривалості процесу контролю. Тому, ці методи використовують головним чином в лабораторних умовах, а також під час градування і перевірки засобів вимірювання вологості в промисловості.

З усього різноманіття непрямих методів контролю вологості в ЕПТ найширше застосовуються електричні методи. За принципом дії, в залежності від вимірюваного параметра, електричні методи контролю вологості матеріалу поділяють на дві групи. В засобах контролю першої групи вологовміст матеріалу оцінюється за результатами вимірювання або електричної провідності, або опору. Прилади цієї групи називаються електровологомірами опору або кондуктометричними вологомірами.

В приладах другої групи оцінювання кількості води в матеріалі здійснюється за результатами вимірювання діелектричної проникності, або тангенса кута діелектричних втрат. Вимірювання здійснюються в колах змінного струму підвищеної частоти. Такі прилади називаються ємнісними електровологомірами, їх розподіл на групи досить умовний (відображає тільки перевагу однієї з складових провідності – активної або ємнісної).

Схеми розташування електродів 2 датчиків електровологомірів відносно матеріалу 1, що контролюється, зображено на рис. 6.23. Спрощена електрична схема заміщення датчика електровологоміру з матеріалом наведена на рис. 6.24.

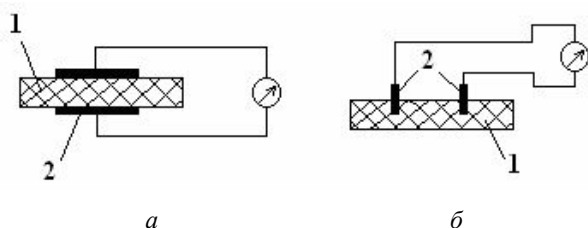


Рис. 6.23 – Схеми датчиків електровологоміру з електродами:
а – накладними; б – зануреними

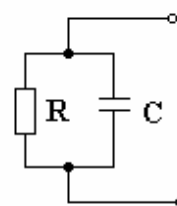


Рис. 6.24 – Схема заміщення датчика вологоміра з матеріалом

Питомі електричні характеристики матеріалу визначають величини R і C (рис. 6.24) наступними залежностями:

$$\left. \begin{aligned} R &= \rho \cdot A \\ C &= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{A} \end{aligned} \right\} \quad (6.23)$$

де ρ – питомий об'ємний опір матеріалу; ε і ε_0 – відповідно відносна діелектрична проникність матеріалу і вільного простору, $\varepsilon_0 = 0,0886$ пФ/см; A – постійна, що залежить від форми та взаємного розташування електродів.

При $R < \frac{1}{\omega C}$ ($\omega = 2\pi f$ – кутова частота струму) превалює активна складова провідності,

а при $R > \frac{1}{\omega C}$ – ємнісна складова. Однакове значення складових буде за умови:

$$R = \frac{1}{\omega C}, \quad (6.24)$$

тоді при підстановці в рівняння (6.24) співвідношень (6.23) отримаємо:

$$\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \rho = 1. \quad (6.25)$$

Із співвідношень (6.23–6.25) видно, що оцінювання принципів можливостей електричного методу контролю може бути здійснено на основі вивчення залежностей вологовмісту від питомих електричних характеристик матеріалу.

Кондуктометричний метод оснований на використанні властивості капілярно-пористих тіл змінити провідність залежно від вмісту вологи при пропусканні через них постійного або змінного струму низької частоти. В сухому вигляді такі матеріали є діелектриками з питомим опором $\rho = 10^{10} \dots 10^{15}$ Ом·см і більше, а при зволоженні стають провідниками з величиною $\rho = 10^{-2} \dots 10^{-3}$ Ом·см. Значне збільшення провідності капілярно-пористих тіл з зростанням вмісту вологи обумовлене утворенням капілярних провідних каналів між електродами.

В загальному випадку залежність опору перетворювача кондуктометричного вологоміра від вологості має вигляд:

$$R = \frac{A}{\omega^n},$$

де A , n – постійні числа, незмінні для визначених умов вимірювання і матеріалу; для бавовняних тканин $n = 9 \dots 10$; для вовняних та шовкових тканин $n = 15 \dots 16$.

Електричні методи контролю вологості не відрізняються високою точністю вимірювання через властиві їм похибки, але широко використовуються в промисловості завдяки їх швидкодії і можливості використання в системах керування.

6.3.4. Вимірювання та контроль кутової швидкості і положень елементів

Для вимірювання та контролю кутових швидкостей обертального руху використовують різноманітні пристрої, що реалізують ті або інші фізичні принципи; зокрема в електропобутовій техніці застосовують, в основному, електричні пристрої.

Електричні пристрої (тахогенератори), які використовуються в ЕПТ, здійснюють перетворення механічної енергії обертального руху в ЕРС електромагнітної індукції (індукційні перетворювачі).

Як відомо, закон електромагнітної індукції має вигляд:

$$E = B \cdot l \cdot V,$$

де E – електрорушійна сила, індукована в провіднику довжиною l , який перетинає зі швидкістю V однорідне магнітне поле з індукцією B , що направлена перпендикулярно провіднику.

Причому ЕРС індукції E виникає незалежно від того, чи рухається поле, а провідник нерухомий, або навпаки, рухається провідник, а поле нерухоме. Тобто величина ЕРС залежить від швидкості зміни магнітного потоку, пронизуючого витки обмотки. Таким чином, індукційні перетворювачі можуть бути використані для вимірювання кутової або лінійної швидкості переміщення.

Найбільше розповсюдження отримали тахогенератори постійного і змінного струмів для вимірювання обертальної швидкості.

В тахогенераторах постійного струму магнітний потік збудження створюється або постійним магнітом (див. рис. 6.25, *a*), або спеціальною статорною обмоткою, якою протікає постійний струм. Вихідна обмотка розміщується на роторі, і ЕРС $e_{вих}$, яка пропорційна швидкості обертання ротора $\omega_{вх}$, знімається зі щіток колектора.

Статор асинхронного тахогенератора (рис. 6.25, *б*) має дві обмотки, осі яких розташовані під кутом 90° , а ротор виконаний у вигляді тонкостінного алюмінієвого стакану (або у вигляді ротора з білячою кліткою), що обертається в зазорі між статором і підвісним феромагнітним осердям. Одна з обмоток статора W_1 живиться від джерела змінного струму U , а з другої W_2 знімається ЕРС $e_{вих}$.

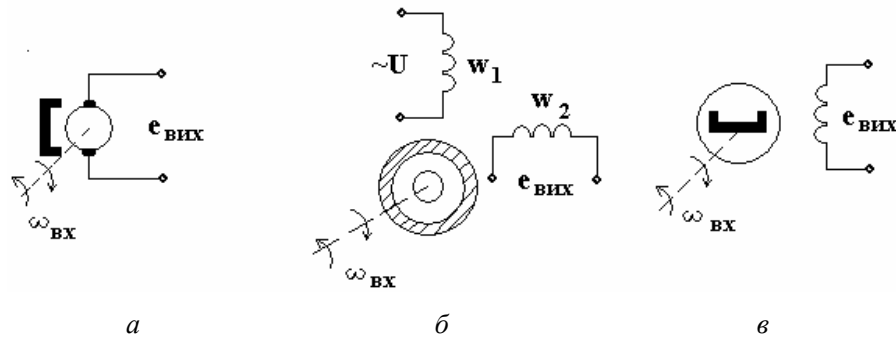


Рис. 6.25 – Схеми тахогенераторів: *а* – постійного струму; *б* – асинхронного; *в* – синхронного

При нерухомому роторі вихрові струми викликають в ньому магнітний потік, який направлений зустрічно магнітному потоку збудження і перпендикулярний вихідній обмотці W_2 , а тому ЕРС $e_{вих}$ дорівнює нулю. При обертанні ротора в полі обмотки збудження в ньому генерується ЕРС, пропорційна швидкості руху, яка викликає струми, направлені вздовж утворюючої роторного циліндра. В результаті утворюється змінний магнітний потік, який направлений по осі вихідної обмотки. Цей потік наводить змінну ЕРС $e_{вих}$, що пропорційна швидкості обертання ротора.

В синхронному тахогенераторі (рис. 6.25, *в*) ротор виконаний у вигляді постійного магніту. Вихідна ЕРС такого генератора має амплітуду і частоту, які пропорційні швидкості обертання $\omega_{вх}$.

Перетворювачі положення в ЕПТ використовуються для отримання сигналів при досягненні електроприводом або окремими елементами робочої машини (датчик на закриття пральної машини, кавомолки, міксера тощо) певних положень, які згодом поступають в коло керування, захисту і сигналізації. В якості датчиків положення найчастіше використовуються різноманітні шляхові та кінцеві вимикачі.

В електропобутовій техніці знайшли широке застосування натискні вимикачі, де перемикання контактів відбувається при натисканні на шток вимикача, повернення якого в початкове положення відбувається під дією пружини. В якості натискних вимикачів застосовуються мікроперемикачі, в яких при натисканні на шток відбувається перемикання пружного контакту.

6.3.5. Перетворювачі часу

У електропобутовій техніці для забезпечення послідовності виконання тих чи інших операцій у функції часу застосовують різноманітні реле – електромагнітні, електромеханічні, електронні ті інші, але в останні роки на зміну їм приходить мікропроцесорна техніка і мікроконтролери. У електромагнітних реле часу на нерухому частину магнітопроводу встановлена масивна мідна гільза, яка забезпечує затримку часу спрацьовування реле при вимиканні його котушки. Реле часу цього типу забезпечує затримку часу від 0,25 до 5,5 с.

Електромеханічні реле часу мають спеціальний двигун з малою швидкістю обертання і редуктор з великим передаточним числом. На вихідному валу двигуна встановлений важіль, початкове положення якого визначається шкалою часу. Важіль керує роботою допоміжних контактів, які в свою чергу вмикають вихідне електромагнітне реле. Відлік часу починається з моменту подачі напруги на двигун, вал якого починає обертатися і повільно повертати важіль на валу редуктора. Через заданий час, важіль доходить до допоміжних контактів і замикає їх. Це приводить до вмикання вихідного реле, яке одним із контактів вимикає двигун. На цьому завершується відлік затримки часу. Подібні реле забезпечують затримку часу до декількох хвилин.

Електронні реле часу створені на основі напівпровідникових елементів (частіше за все – транзисторів) і конденсаторів, час розрядження і зарядження яких визначає затримку часу. Одна зі схем електронного реле часу наведена на рис. 6.26.

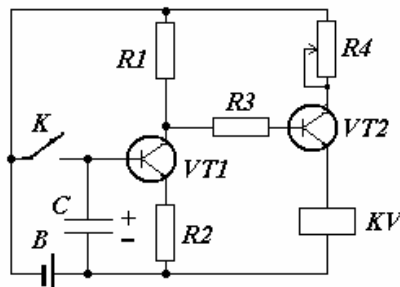


Рис. 6.26 – Схема електронного реле часу

Електронне реле часу працює у такий спосіб. В початковому положенні зовнішній керуючий контакт K замкнений і на базу транзистора $VT1$ подано негативний потенціал джерела живлення B . Транзистор відкритий, при цьому потенціал бази транзистора $VT2$ буде позитивним відносно його емітера, і він буде закритий. Вихідне реле KV знаходиться в неробочому стані – відімкнене, а конденсатор C заряджений з полярністю на обкладинках, які показані на рис. 6.26. Команда на початок відліку часу подається при розмиканні зовнішнього керуючого контакту K . Після чого починається розрядження конденсатора C через резистор $R2$ і перехід емітер-база транзистора $VT1$. В кінці розрядження транзистор $VT1$ закриється, що призведе до появи на базі транзистора $VT2$ негативного потенціалу. Він відкриється, по обмотці KV починає протікати струм, реле спрацьовує і перемикає свої контакти. Відлік часу закінчиться.

Затримка часу такого реле визначається тривалістю розрядження конденсатора C , яка залежить від величини його ємності і опору резистора $R2$. За рахунок регулювання цих величин можна встановлювати необхідний час витримки реле. Електронні реле часу, які випускаються промисловістю, забезпечують затримку часу від 0,1 до 10 хв.

6.3.6. Фотоелектричні (оптичні) методи

В ЕПТ знаходять широке застосування різноманітні фотоелектричні методи для визначення концентрації миючих розчинів та їх забруднення, якості прання білизни, ступеня ласотворення при її прасуванні, кольоровості соків і таке ін.

Фотоелектричні методи призначені для вимірювання параметрів середовища і за принципом дії класифікуються на наступні види:

- колориметричні – вимірюють світло, яке проходить через контрольований розчин;
- нефелометричні – вимірюють поглинання або розсіювання світла зваженими частинками рідини;
- рефрактометричні – вимірюють показник переломлення рідини;
- поляриметричні – вимірюють кут обертання площини поляризації поляризованого світла.

В побутовій техніці знайшли застосування фотоколориметричні методи вимірювання, в яких вимірюється поглинання світла рідиною. Поглинання світла селективне за довжиною хвилі і залежить від фізичних і хімічних властивостей рідини. В розчині з прозорим безбарвним розчинником і забарвленою розчинною речовиною світло поглинається тільки останнім (селективно). Цей принцип реалізований в пристроях контролю миючих розчинів побутових пральних машин.

Для монохроматичного світлового пучка, що пройшов через електричний шар розчину, зниження інтенсивності світла dI пропорційне початковій (до поглинання елементарним шаром) інтенсивності I , товщині поглинаючого шару dl і оптичній густині розчину D (закон Ламберта–Бєєра):

$$-dI = I \cdot D \cdot dl$$

або

$$-\frac{dI}{I} = D \cdot dl, \quad (6.26)$$

де $D = K \cdot C$; K – коефіцієнт світлопоглинання; C – концентрація розчинної речовини.

Після інтегрування рівняння (6.26), інтенсивність монохроматичного пучка світла, який пройшов через розчин товщиною l , визначається з рівняння:

$$I_e = I_0 e^{-D \cdot l} = I_0 e^{-K \cdot C \cdot l}, \text{ Вт/м}^2, \quad (6.27)$$

де I_0 – інтенсивність світла до поглинання шаром товщиною l ($I = I_0$ при $l = 0$).

Коефіцієнт K не залишається постійним для промислових рідин і розчинів (із-за забруднень, домішок тощо), а тому під час вимірювання концентрації розчинів виконують декілька вимірів і порівнюють прозорість або кольоровість контрольованого середовища з еталонною в шарі такої ж самої товщини.

На рис. 6.27 наведена оптична принципова схема фотокolorиметра (фотометра), який призначений для вимірювання коефіцієнтів пропускання і оптичної густини прозорих рідинних розчинів, а також для визначення концентрації речовин у розчинах.

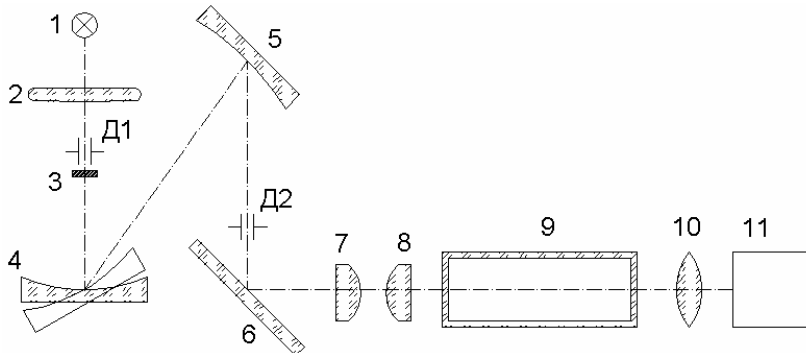


Рис. 6.27 – Оптична схема фотометра

Промінь світла від лампи 1 через конденсатор 2 фокусується в площині вхідної щілини $D1$, заповнюючи її світлом, і через світлофільтр 3 попадає на увігнуту дифракційну решітку 4 та увігнуте дзеркало 5. Обертаючи дифракційну решітку 4 навколо осі, виділяють вихідною щілиною $D2$ випромінювання у вузьких спектральних інтервалах в діапазоні від 315 до 990 Н.м. Об'єктиви 7 і 8 збільшують вихідну щілину $D2$ перед лінзою 10. Лінза 10 створює в площині фотоприймача 11 світлову пляму. Електричний сигнал з виходу фотоприймача поступає у вимірювальну схему, призначену для вимірів струмів або напруг. У кюветне відділення 9 встановлюють кювети з контрольованими і еталонними розчинами. Якщо по черзі контролювати електричний сигнал з фотоприймача, обумовлений світловими потоками, що пройшли через кювети з контрольованими і еталонними розчинами, можна виділити електричний сигнал, відповідний концентрації або будь-якому іншому вимірюваному фотокolorиметром параметру.

У випадку безперервного контролю, наприклад, зміна оптичної густини розчинів (пральні машини), не завжди треба знати точне значення контрольованого параметра в будь-який момент часу, а тільки його граничні значення. У цьому випадку вимірювальна схема істотно спрощується. Оптична схема фотоелектричного приладу (фотометра), призначеного для оцінювання ступеня ласоутворення при прасуванні, наведена на рис. 6.28.

У цьому приладі ступінь ласоутворення оцінюється шляхом порівняння інтенсивності двох пучків світла, відбитих від тканини II, що знаходиться на столі 6 та підлягає вологотепловій обробці або прасуванню, і тієї ж тканини I, яка не підлягає обробці. Оптична схема приладу з'єднує пучки світла, які відбиті від відповідних тканин I та II, і через систему діа-

фрагм 4, призми 1, 2, 7, 8 направляє їх до оператора, який бачить коло, поділене на дві половини з різною освітленістю. Принцип дії приладу ґрунтується на порівнянні двох світлових потоків шляхом зміни одного з них за допомогою діафрагми 4 зі змінним отвором. На відлікових барабанах 5, поєднаних з діафрагмами, нанесено відбите у відсотках відношення площини отвору діафрагми при даному ступені розкривання до площини при її максимальному розкриванні.

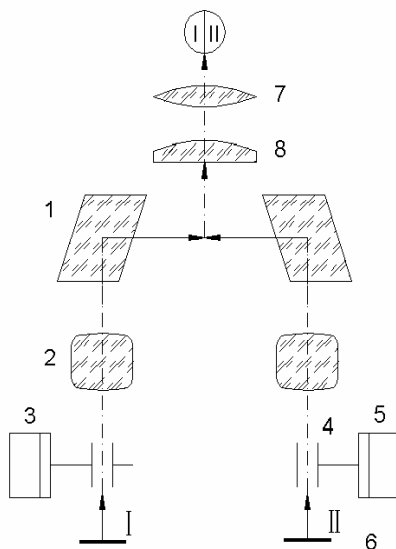


Рис. 6.28 – Оптична схема фотоелектричного приладу для оцінювання ступеня ласоутворення

Відомий фотоелектричний ласометр (рис. 6.29), що складається з оптичної системи, мостової вимірювальної схеми з фотоелементами ФЕ-1, ФЕ-2, підсилювача постійного струму 1 і реєстраційного приладу 2. Оптична частина приладу складається з двох симетрично розташованих систем, до яких входять освітлювачі ОС-1 і ОС-2 з лінзами, вимірювальних площадок 3, 4 і фотодатчиків ФЕ-1, ФЕ-2. Вимірювальні площини встановлюються під кутом $22,5^\circ$ до падаючого світлового потоку, що відповідає максимальному значенню відбитого світлового потоку.

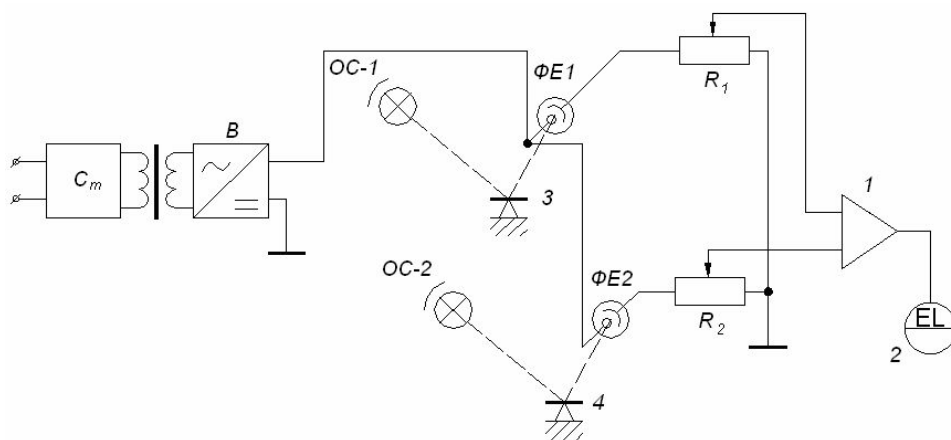


Рис. 6.29 – Схема фотоелектричного ласометра

Як датчик відбитого світлового потоку використаний елемент, спектральна характеристика якого подібна спектральній характеристиці ока, що забезпечує практичну ідентичність результатів вимірів до природного сприйняття стану поверхні тканини. Для компенсації змін

зовнішніх дій (освітленості, напруги живлення тощо) в суміжне плече мостової схеми включений другий елемент того ж типу. Змінні резистори R_1 і R_2 слугують для налаштування чутливості та урівноваження мостової схеми при розташуванні двох однакових зразків тканини на вимірювальні площадки пристрою. Живлення вимірювальної схеми здійснюється від стабілізатора C_m і високовольтного випрямляча B .

Подібні фотоелектричні схеми можуть бути також використані для оцінки ступеня прання тканин.

6.4. Автоматичне керування технологічними параметрами

У різноманітних об'єктах електропобутовій техніці (холодильники, пральні машини, прасувальні преси, кондиціонери тощо) необхідно підтримувати технологічні параметри (температуру, швидкість, вологість, рівень рідини) на певному рівні. Серед багатьох методів і засобів, які використовуються для цієї цілі, в ЕПТ застосовується двопозиційний закон регулювання.

Двопозиційний закон регулювання і засоби, що його реалізують, мають ряд переваг: простоту конструкції, обслуговування і налаштування, дешевизну, надійність в роботі. Проте вони мають і істотні недоліки: параметр, який вони регулюють, постійно коливається, тому що, автоколивальний режим є нормальним режимом їх роботи.

В електропобутовій техніці до якості регулювання не висуваються жорсткі вимоги. Необхідно лише підтримувати технологічні параметри в певних границях, тому закони двопозиційного автоматичного регулювання технологічних параметрів знайшли тут широке застосування.

Двопозиційним автоматичним регулюванням називають процес, за яким регулюючий орган приймає тільки два положення: повного відкриття і повного (або часткового) закриття притоку енергії або речовини до об'єкта регулювання, тобто регулюючий орган має тільки два значення – максимальне та мінімальне.

Найпростіша схема двопозиційного регулювання рівня рідини в баку наведена на рис. 6.30.

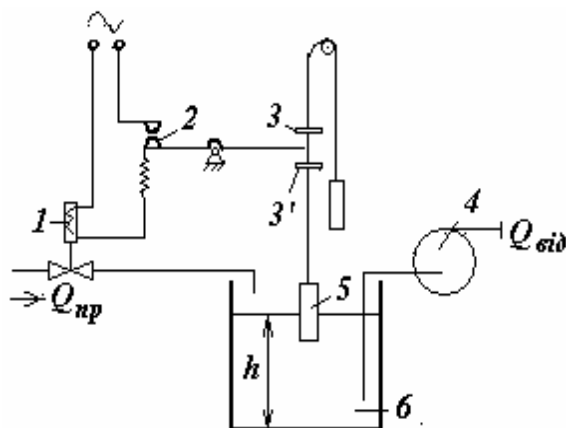


Рис. 6.30 – Схема двопозиційного регулювання рівня рідини

Приток рідини в бак Q_{np} забезпечується електромагнітним клапаном, який періодично вмикається за допомогою контактної системи.

Поплавок 5 перемикає обмежувальні упори 3 і 3' і тим самим впливає на дії електромагнітного клапана 1, який встановлений на лінії подачі рідини в бак 6. Регулятор підтримує рівень рідини h , який коливається в певних границях. Амплітуда коливання визначається відстанню між упорами 3 і 3', тобто діапазоном нечутливості. Безперервний відтік $Q_{від}$ рідини із бака здійснюється за допомогою відцентрового насоса 4.

Процес двопозиційного регулювання суттєво залежить від двох факторів: діапазону нечутливості регулятора і часу запізнення, тобто часу, протягом якого чутливий елемент (у цьому випадку – поплавок) сприймає зміну регульованої величини. У деяких випадках діапазон нечутливості дуже малий і ним можна знехтувати, тобто можна вважати, що він відсутній.

Характеристики двопозиційних регуляторів мають вигляд, наведений на рис. 6.31. З характеристик двопозиційних регуляторів видно, що при відхиленні регульованої величини h (рівень рідини) від заданого значення h_3 , приток $Q_{пр}$ миттєво змінюється від максимального значення до нуля.

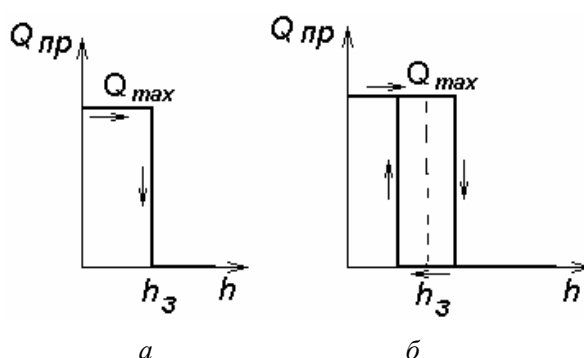


Рис. 6.31 – Характеристики двопозиційних регуляторів:
а – без діапазону нечутливості; б – з діапазоном нечутливості

На рис. 6.32 наведена схема двопозиційного регулятора температури з діапазонами нечутливості та запізнення. Регулювання температури в баку 1 здійснюється електроконтактним термометром 2, який вмикає і вимикає блок живлення 6 електронагрівача 5. Електроконтактний термометр 2 встановлений в ємності 4, що з'єднана з основним баком 1 трубою 3. Інформація про температуру в баку 1, яка знімається електроконтактним термометром 2, надходить з певним запізненням $\Delta t = l/v$, де l – довжина трубопроводу, м; v – швидкість плинину рідини, м/с.

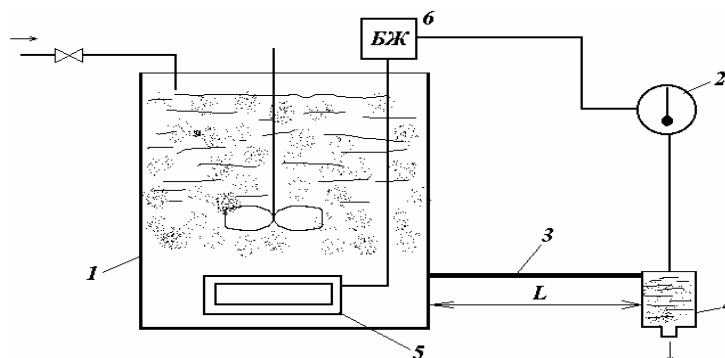


Рис. 6.32 – Схема двопозиційного регулювання температури

У досліджуваному об'єкті має місце зона нечутливості, яка визначається встановленням контактів електроконтактного термометра, і чисте запізнення, що визначається довжиною трубопроводу і швидкістю плинину рідини.

Процес двопозиційного регулювання температури в об'єкті за наявності діапазону нечутливості $2\Delta T_0$ і часу запізненням Δt зображений на графіках (див. рис. 6.33).

На рис. 6.33, а вісь абсцис збігається з лінією заданого значення температури T_3 . На рис. 6.33, б показаний процес зміни притоку Q_1 від часу t за постійним відтоком теплоти Q_2 . За-

стосовані такі позначення: ΔT – відхилення регульованої величини (температури) від заданого значення; $\Delta T_{ч.е}$ – відхилення температури чутливого елемента від заданого значення; Δt – час запізнення інформації про зміну температури; $2\Delta T_0$ – діапазон нечутливості регулятора.

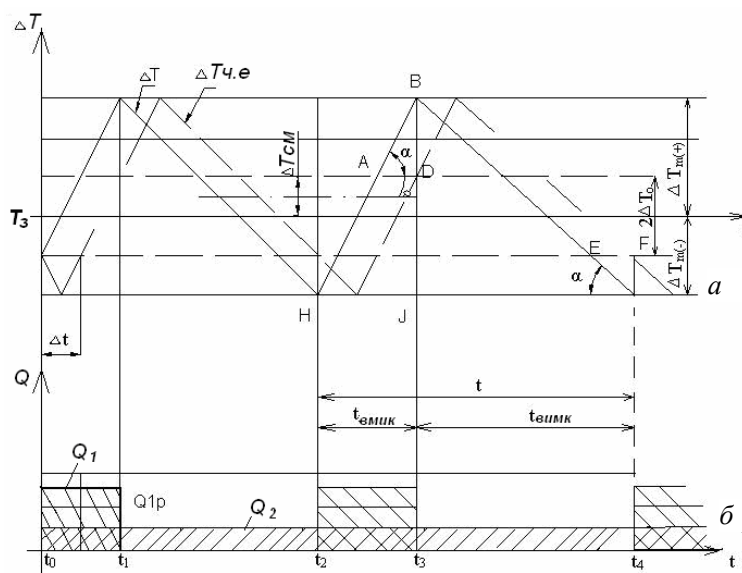


Рис. 6.33 – Графік двопозиційного регулювання за наявності запізнення і діапазону нечутливості

Графік двопозиційного регулювання побудований з моменту часу t_0 , коли графік $\Delta T(t)$ перетинає нижню границю діапазону нечутливості. Графік $\Delta T_{ч.е}(t)$ зміщений на величину часу запізнення Δt відносно графіка $\Delta T(t)$.

Приплив теплоти Q_1 відбувається в моменти часу t_2, t_4 , відповідно до перетину графіка $\Delta T_{ч.е}(t)$ нижньої границі діапазону нечутливості (при зменшенні температури); вимкання притоку Q_1 відбувається в моменти часу t_1, t_3 і т.д., відповідно до перетину графіка $\Delta T_{ч.е}(t)$ верхньої границі діапазону нечутливості.

У цьому випадку явищем самовирівнювання, тобто залежністю тепловитрат від температури, можна знехтувати. Тоді в межах малих коливань температури графік її зміни можна вважати складеним з відрізків прямих, що значно спрощує його побудову.

Запишемо рівняння об'єкта:

$$C \frac{dT}{dt} = Q_1 - Q_2, \quad (6.28)$$

де Q_1 – кількість теплоти, яка поступає до бака в одиницю часу, кВт; Q_2 – відтік теплоти з бака в одиницю часу, кВт; T – температура, °С; t – час, с; C – теплоємність середовища в об'єкті, кДж/град.

Якщо приплив теплоти відсутній, рівняння (6.28) має вигляд:

$$C \frac{dT}{dt} = -Q_2. \quad (6.29)$$

Тоді швидкість зміни температури дорівнює:

– при припливі теплоти:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_1 - Q_2}{C}, \text{ град/с;} \quad (6.30)$$

– при відсутності припливу теплоти:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{Q_2}{C}, \text{ град/с.} \quad (6.31)$$

Параметри автоколивального процесу можна визначити з рівнянь (6.28–6.31) та графіка рис. 6.31.

Амплітуда позитивного відхилення температури відповідно до графіка (рис. 6.33) дорівнює:

$$\Delta T_{m(+)} = \Delta T_0 + BD. \quad (6.32)$$

З трикутника $\triangle ABD$ визначаємо значення BD :

$$BD = AD \cdot \operatorname{tg} \alpha = \Delta t \cdot dT/dt. \quad (6.33)$$

Підставимо вираз (6.33) в (6.32) і з урахуванням рівняння (6.30) отримаємо:

$$\Delta T_{m(+)} = \Delta T_0 + \Delta t \frac{Q_1 - Q_2}{C}. \quad (6.34)$$

Амплітуда негативного відхилення температури. На підставі рис. 6.33 можна записати:

$$\Delta T_{m(-)} = -\Delta T_0 - FG. \quad (6.35)$$

З трикутника $\triangle EFG$ впливає, що:

$$-FG = EF \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = \Delta t \frac{dT}{dt}. \quad (6.36)$$

Якщо підставити вираз (6.36) в (6.35) і замінити $\frac{dT}{dt}$ на вираз (6.31), то отримаємо:

$$\Delta T_{m(-)} = -\Delta T_0 - \Delta t Q_2 / C. \quad (6.37)$$

Сумарна амплітуда коливань температури дорівнює:

$$\Delta T_m = \Delta T_{m(+)} + |\Delta T_{m(-)}|,$$

а якщо підставити значення амплітуд відхилення температур за виразами (6.34) та (6.37) і провести скорочення, отримаємо:

$$\Delta T_m = 2\Delta T_0 + \Delta t \frac{Q_1}{C}. \quad (6.38)$$

Час вмикання теплоприпливу знаходимо з $\triangle HVI$ (рис. 6.33):

$$t_{\text{вмик}} = HI = \frac{BI}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\Delta T_m}{dT/dt}.$$

Підставивши значення $\frac{dT}{dt}$ з виразу (6.30) і ΔT_m з (6.38), отримаємо:

$$t_{\text{вмик}} = \frac{2\Delta T_0 C + \Delta t Q_1}{Q_1 - Q_2}. \quad (6.39)$$

Час вимикання теплоприпливу знаходимо з ΔIBG (рис. 6.33):

$$t_{\text{вимк}} = IG = \frac{BI}{\text{tg}\alpha} = \frac{\Delta T_m}{dT/dt}.$$

Підставивши замість $\frac{dT}{dt}$ рівняння (6.31) і значення ΔT_m за рівнянням (6.38), отримаємо:

$$t_{\text{вимк}} = \frac{2\Delta T_0 C + \Delta t Q_1}{Q_2}. \quad (6.40)$$

Сумарний період часу вмикання і вимикання теплоприпливу дорівнює:

$$t_{\Sigma} = t_{\text{вмик}} + t_{\text{вимк}}$$

або

$$t_{\Sigma} = \frac{2\Delta T_0 C + \Delta t Q_1}{Q_1 - Q_2} + \frac{2\Delta T_0 C + \Delta t Q_1}{Q_2},$$

або після перетворення:

$$t_{\Sigma} = \frac{(2\Delta T_0 C + \Delta t Q_1) Q_1}{(Q_1 - Q_2) Q_2}. \quad (6.41)$$

Зміщення середнього значення регульованої величини. З рис. 6.33 видно, що зміщення середнього значення регульованої величини відносно заданого значення дорівнює половині різниці між амплітудами позитивного і негативного відхилень, тобто:

$$\Delta T_{\text{зм}} = \frac{1}{2} (\Delta T_{m(+)} - |\Delta T_{m(-)}|).$$

Після підстановки значень амплітуд рівнянь (6.34) і (6.37) отримаємо:

$$\Delta T_{\text{зм}} = \frac{\Delta T}{C} \left(\frac{Q_1}{2} - Q_2 \right). \quad (6.42)$$

Графік, наведений на рис. 6.33, побудований для випадку, коли $Q_1 \geq 3Q_2$, тобто зростання температури відбувається швидше за падіння, тому зміщення $\Delta T_{\text{зм}}$ отримаємо зі знаком “плюс”.

Для тих випадків, коли $Q_1 < 2Q_2$, зростання температури відбуватиметься повільніше за падіння, а зміщення $\Delta T_{\text{зм}}$ отримаємо зі знаком “мінус”. За умови, що $Q_1 = 2Q_2$, має місце так зване симетричне регулювання (зменшення температури відбувається з тією ж швидкістю, що і її підвищення). Якщо діапазон нечутливості занадто малий, то приплив теплоти Q_1 буде відбуватися в момент часу, який відповідає перетину лінією $\Delta T_{\text{ч.е.}}$ осі абсцис, суміщеної з лінією заданого значення. Щоб отримати розрахункові залежності для цього випадку, достатньо в формулах (6.34) і (6.37) прийняти $\Delta T_0 = 0$.

У випадку, коли запізнення мале і ним можна знехтувати, графік $\Delta T_{\text{ч.е.}}$ збігається з графіком ΔT , причому температура буде коливатися в межах діапазону нечутливості $2\Delta T_0$. Приплив теплоти Q_1 буде вмикатися і вимикатися при досягненні регульованої температури нижньої і верхньої границі діапазону нечутливості. Для отримання розрахункових формул в цьому випадку достатньо в розглянутих формулах прийняти $\Delta t = 0$.

Цей метод розрахунку параметрів процесу двопозиційного регулювання температури може бути застосований практично для всіх пристроїв електрообутової техніки, де є необхідність в регулюванні температури або будь-якого іншого параметра.

Приклад розрахунку двопозиційного регулювання. Необхідно визначити параметри процесу двопозиційного автоматичного регулювання за таких умов – потужність нагрівача $P = 0,8$ кВт; задана температура $T_n = 600$ °С; тепловтрати об'єкта $Q_2 = 0,29$ кДж/с; сумарна усереднена теплоємність $C = 13,38$ кДж/град; час запізнення $\Delta t = 35$ с; діапазон нечутливості $2\Delta T_0 = 4$ °С.

Розраховуємо параметри процесу:

1) приплив теплоти до об'єкта від нагрівача:

$$Q_1 = 0,24 \cdot P = 0,24 \cdot 0,8 \cdot 4 = 0,8 \text{ (кДж/с);}$$

2) кратність припливу:

$$n = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{0,8}{0,29} = 2,75 > 2.$$

Отже, процес асиметричний, причому амплітуди позитивних відхилень температури більше за негативні;

3) амплітуда позитивних відхилень температури:

$$\Delta T_{m(+)} = \Delta T_0 + \Delta t \frac{Q_1 - Q_2}{C} = 2 + 35 \frac{0,8 - 0,29}{13,38} = 3,33 \text{ °С;}$$

4) амплітуда негативних відхилень температури:

$$\Delta T_{m(-)} = -\Delta T_0 - \Delta t \frac{Q_2}{C} = -2 - 35 \frac{0,29}{13,38} = -2,75 \text{ °С;}$$

5) сумарна амплітуда відхилень температури:

$$\Delta T_m = 3,33 + 2,75 = 6,08 \text{ °С;}$$

6) час вмикання нагрівача:

$$t_{\text{вмик}} = \frac{2\Delta T_0 C + \Delta t Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{4 \cdot 13,38 + 35 \cdot 0,8}{0,8 - 0,29} = 136,31 \text{ с;}$$

7) час вимикання нагрівача:

$$t_{\text{вимк}} = \frac{2\Delta T_0 C + \Delta t Q_1}{Q_2} = \frac{4 \cdot 13,38 + 35 \cdot 0,8}{0,29} \approx 281 \text{ с;}$$

8) сумарний період часу вмикання і вимикання нагрівача:

$$t_{\Sigma} = t_{\text{вмик}} + t_{\text{вимк}} = 136,31 + 281 = 417,31 \text{ с.}$$

За отриманими розрахунковими даними можна побудувати графік, аналогічний графіку, наведеному на рис. 6.33.

6.4.1. Типові схеми керування в електрообутовій техніці

Керування однофазними асинхронними електродвигунами. В ЕПТ широко використовуються однофазні АД для привода центрифуг, барабанів пральних машин, компресорів холодильників тощо. Керування електродвигуном в цьому випадку зводиться до регулювання частоти обертання його ротора.

Частоту обертання асинхронних двигунів можна регулювати зміною по-перше, частоти напруги живлення, по-друге, ковзання ротора, і, по-третє, числа пар полюсів обмотки статора. В перших двох випадках можна отримати плавне регулювання частоти обертання ротора, в останньому – ступінчасте.

Найбільш економічним способом регулювання частоти обертання ротора двигуна з точки зору втрат енергії є регулювання зміною частоти напруги джерела живлення. Але для його реалізації необхідний перетворювач частоти, вартість якого досить велика. Регулювання частоти обертання зміною ковзання менш економічне ніж зміною частоти живлення, тому що втрати енергії прямопропорційні величині ковзання. Проте завдяки простоті регулювання і низьким капітальним витратам цей спосіб знайшов найширше використання.

На сьогодні серед асинхронних електродвигунів, частоту обертання яких регулюють зміною ковзання ротора, найбільш поширені електродвигуни з розщепленими полюсами і з робочим конденсатором. Ковзання в таких електродвигунах можна регулювати за рахунок зміни напруги на обмотці статора двома способами: резистором R (рис. 6.34, *a*), який ввімкнений послідовно з обмоткою статора, або автотрансформатором T (рис. 6.34, *б*).

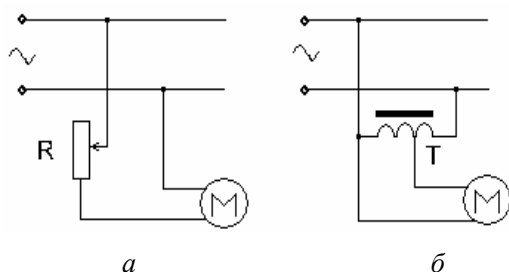


Рис. 6.34 – Схеми регулювання частоти обертання однофазних АД в колі обмотки статора

За першим способом регулювання ковзання ротора в момент пуску електродвигуна пусковий струм в ньому створює значний спад напруги на резисторі R , що призводить до зменшення пускового моменту. Струм, який споживає електродвигун, проходить через резистор R , що призводить до додаткових втрат енергії. Другий спосіб регулювання ковзання ротора є більш економічним, бо відсутні втрати в додатковому резисторі. В цьому випадку напруга на обмотці статора електродвигуна в момент його запуску залишається практично такою ж, що і при постійній частоті обертання, внаслідок чого пусковий обертальний момент вище. Проте вартість, габаритні розміри і маса автотрансформатора вища, ніж у резистора, тому на практиці віддають перевагу першому способу. Для електродвигунів з робочим конденсатором частоту обертання можна збільшувати регулюванням напруги тільки на робочій обмотці без зміни її на допоміжній (рис. 6.35). За максимальною напругою на робочій обмотці частота обертання електродвигуна максимальна, при мінімальній – мінімальна.

Якщо робочу обмотку електродвигуна ввімкнути до мережі через автотрансформатор T (рис. 6.35), тоді напругу на ній можна змінити в широких межах. Характерною особливістю цього способу є можливість регулювання частоти обертання в широкому діапазоні навіть за відсутності навантаження на валу двигуна.

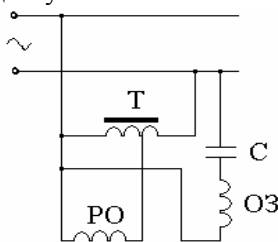


Рис. 6.35 – Схема керування АД з робочим конденсатором

Є й інші способи регулювання частоти обертання однофазних двигунів: шунтуванням допоміжної обмотки змінним резистором; секціонуванням обмотки статора для двигунів з розщепленими полюсами тощо.

Розглянуті двигуни мають одну обмотку на статорі, і схеми їх вмикання застосовуються при відносно невеликому діапазоні регулювання частоти обертання (1:2; 1:3; 1:4).

У деяких побутових приладах необхідно регулювати частоту обертання робочих органів в більш широкі межі. Так, у пральних машинах барабанного типу залежно від їх класу діапазон регулювання частоти обертання складає 1:6...1:20, тому застосовуються двошвидкісні електродвигуни з двома окремими обмотками (рис. 6.36).

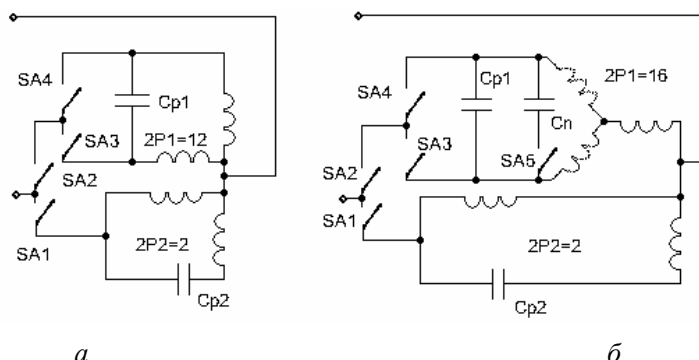


Рис. 6.36 – Схеми вмикання однофазних двошвидкісних електродвигунів

На рис. 6.36, *a* наведена схема вмикання двигуна, обмотки якого, як з більшою кількістю полюсів $2P1 = 12$, так і з меншою кількістю полюсів $2P2 = 2$, виконані за типом обмотки статора одношвидкісних двигунів з робочим конденсатором. Схема вмикання електродвигуна, в якому обмотка статора з великою кількістю полюсів $2P1 = 16$ виконана за типом трифазної, представлена на рис. 6.36, *б*.

При замкненому контакті $SA1$ обмотка з великою кількістю полюсів $2P1$ знеструмлена, а обмотка $2P2$ – підключена до джерела живлення. Двигун обертається з максимальною частотою. При розімкнених контактах $SA1$ і замкнених контактах $SA2$ обмотка $2P1$ підключена до джерела живлення через контакти $SA3$ або $SA4$, а двигун обертається з мінімальною частотою.

Схеми вмикання передбачають можливість роботи двигунів в переривчасто-реверсивному режимі. При замкнених контактах $SA3$ і розімкнених $SA4$ двигун обертається в одному напрямі (при розімкнених $SA3$ і $SA4$ – нерухомий), при замкнених $SA4$ і розімкнених $SA3$ – в протилежному напрямі.

В сучасній електропобутовій техніці керування частотою обертання двигуна відбувається не тільки змінами в схемному оформленні двигуна, але й з використанням спеціальних схем автоматичного регулювання, які можуть за необхідністю забезпечити постійне значення частоти обертання. Схема регулювання частоти обертання і спосіб її стабілізації для конкретної ЕПТ обирається з урахуванням типу електродвигуна, діапазону регулювання, характеру зміни напруги, точності стабілізації тощо. Схема регулювання частоти обертання універсального електродвигуна, яку можна використовувати для приводу міксерів, швейних машин і інших подібних електроприладів представлена на рис. 6.37.

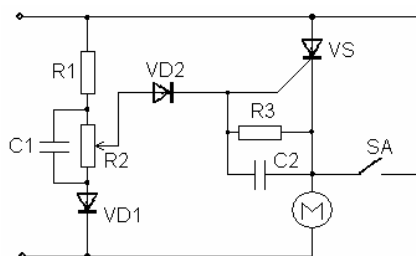


Рис. 6.37 – Схема регулювання частоти обертання універсального електродвигуна

Резистори $R1$, $R2$ і діод $VD1$ утворюють подільник напруги. Завдяки діоду $VD1$ струм в колі $R1$, $R2$ і $VD1$ протікає тільки в одному напрямі, що дозволяє зменшити потужність резисторів $R1$ і $R2$. Послідовно з обмоткою якоря електродвигуна M ввімкнений тиристор VS , керуючий електрод якого через діод $VD2$ з'єднаний з подільником напруги $R1$, $R2$. Діод $VD2$ захищає тиристор VS від попадання на його керуючий електрод негативного потенціалу відносно катода.

Частота обертання електродвигуна регулюється потенціометром $R2$, що змінює напругу, яка подається на керуючий електрод тиристора VS . При переміщенні повзуна потенціометра вгору збільшується амплітуда напруги на керуючому електроді. Це призводить до того, що тиристор VS переходить у провідниковий стан і знаходиться в ньому більшу частину півперіоду напруги джерела живлення, а частота обертання електродвигуна зростає. При переміщенні повзуна потенціометра в протилежному напрямі відбувається зворотний процес.

Якщо обмотка електродвигуна розрахована на номінальну напругу мережі, то максимальну частоту обертання можна отримати шунтуванням кола анод-катод тиристора VS ключем SA . В цьому випадку обмотка якоря електродвигуна M буде живитися безпосередньо від мережі протягом повного періоду напруги живлення.

Розглянута схема дозволяє стабілізувати частоту обертання, завдяки чому покращується якість регулювання при зміні навантаження. Частоту обертання стабілізує електро-рушійна сила, яка наводиться в обмотці якоря залишковим намагнічуванням протягом негативного півперіоду напруги живлення. Залишкове намагнічування визначається якостями сталі магнітопроводу і його попереднім станом. Стабілізація частоти обертання електродвигуна здійснюється наступним чином: якщо дійсна частота обертання електродвигуна перевищує задану, то ЕРС, яка наводиться залишковим намагнічуванням, більше напруги на потенціометрі $R2$. При цьому до діода $VD2$ прикладена негативна напруга, і він знаходиться в непровідниковому стані. На керуючий електрод тиристора VS не надходить вхідний сигнал, тому він знаходиться в непровідниковому стані. Енергія від джерела живлення не надходить до електродвигуна, і його частота обертання зменшується.

Коли частота обертання електродвигуна зменшується на стільки, що ЕРС, яка наводиться залишковим намагнічуванням, стає менше за напругу на потенціометрі $R2$, до діода $VD2$ прикладається позитивна напруга, і він переходить в провідниковий стан. На управляючий електрод VS поступає вхідний сигнал, який переводить його в провідниковий стан. До електродвигуна починає надходити енергія, частота обертання його знову збільшується. В усталеному режимі частота обертання електродвигуна коливається біля деякого середнього значення, яке визначається положенням повзуна регулятора $R2$.

Під час запуску однофазових асинхронних двигунів з пусковою обмоткою пусковий струм в 5...7 разів перевищує номінальний. Пускову обмотку виготовляють з дроту малого перерізу. Вона має велику густину струму, в наслідок чого навіть короточасне підключення її до джерела напруги призводить до значного нагрівання. Великий пусковий струм негативно впливає на роботу комутаційних пристроїв (вимикачі, терморегулятори тощо). В цьому випадку доцільно використовувати безконтактний пуск однофазних асинхронних двигунів з пусковою обмоткою (рис. 6.38).

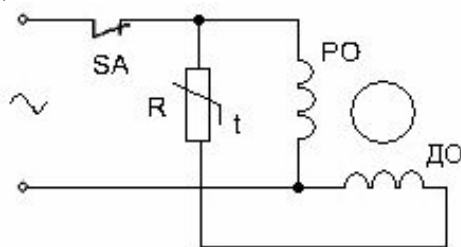


Рис. 6.38 – Схема безконтактного пуску однофазного АД

Схема безконтактного пуску однофазного асинхронного електродвигуна (рис. 6.38) використовується для пуску герметичних компресорів побутових холодильників. Електродвигун з'єднаний з джерелом живлення через контакти *SA* терморегулятора, який визначає температурний режим в камері холодильника. Допоміжна пускова обмотка *ДО* ввімкнена паралельно до основної робочої обмотки *РО* через термістор *R*. Коли температура в холодильній камері підіймається вище заданої, контакти *SA* терморегулятора замикаються та підключають робочу і допоміжну обмотки з послідовно ввімкненим термістором до джерела живлення. В початковий момент часу омичний опір *R* великий, і струм, що протікає через допоміжну обмотку *ДО*, недостатній для пуску електродвигуна (опір термістора зменшується зі збільшенням температури). Двигун знаходиться в нерухомому стані. Струм, який протікає через термістор, нагріває його, внаслідок чого опір зменшується, а струм відповідно збільшується. В деякий момент часу струм, що протікає через *ДО*, стає достатнім для пуску електродвигуна. Частота обертання ротора електродвигуна зростає. Одночасно збільшується й опір термістора *R*. Наприкінці періоду розгону електродвигуна опір *R* стає настільки великим, що через допоміжну обмотку протікає незначний струм, який не створює суттєвого впливу на нагрів. Тому можна вважати, що допоміжна обмотка після розгону електродвигуна вимикається від джерела живлення.

Електродвигуни деяких електропобутових приладів працюють в переривчасто-реверсивному режимі з великою частотою реверса. До таких приладів відносяться, наприклад, пральні машини барабанного типу, частота реверса електродвигунів яких складає до 240 на годину. При високій частоті реверса контакти програмного пристрою працюють в складному режимі, тому доцільно використовувати безконтактний реверс однофазного асинхронного електродвигуна (рис. 6.39).

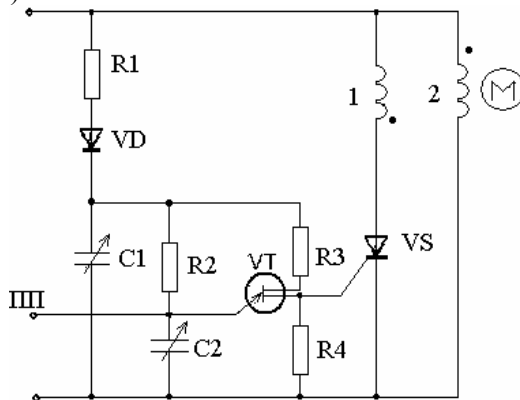


Рис. 6.39 – Схема безконтактного реверса однофазного АД

На статорі електродвигуна розташовані дві обмотки, які ввімкнені зустрічно-паралельно, а просторові осі збігаються між собою. Завдяки зустрічному вмиканню обмоток, при однаковому напрямі струмів в них створюються магнітні потоки протилежних напрямів. Обмотка 2 підключена безпосередньо до джерела живлення, обмотка 1 – через тиристор *VS*.

При вмиканні схеми до джерела живлення конденсатор *C1* заряджається через резистор *R1* і діод *VD*. Напряга з конденсатора *C1* подається на транзистор *VT*. Одночасно відбувається заряд конденсатора *C2* через резистори *R1*, *R2* і діод *VD*. Напряга з конденсатора *C2* подається на емітер транзистора *VT*, який з'єднаний з програмним ПП пральної машини. Коли напруга на конденсаторі *C2* дорівнює значенню напруги вмикання транзистора *VT*, останній відкривається, і на резисторі *R4* виникає імпульс напруги, який надходить на керуючий електрод тиристора *VS*. Тиристор переходить в стан провідника.

Протягом позитивного півперіоду напруги мережі живлення через обмотку 1 електродвигуна протікає струм. Напряг струму в обмотці 1 електродвигуна збігається з напрямом струму в обмотці 2. Проте завдяки зустрічному вмиканню обмоток, момент обертання, який

створюється обмоткою 1, направлений назустріч моменту, який створюється обмоткою 2. Відповідним підбором параметрів обмотки 1 можна досягнути того, щоб момент, який створюється обмоткою, був достатнім для реверсування. Переведення двигуна з реверсивного режиму роботи в режим безперервного обертання в одному напрямі забезпечується командоапаратом пральної машини. При замиканні відповідних контактів командоапарата шунтується конденсатор $C2$, і на керуючий електрод тиристора VS сигнали не надходять. Тиристор весь час знаходиться в неспровідниковому стані, а через обмотку 1 струм не протікає. Двигун працює тільки при ввімкненій обмотці 2.

Крім наведених схем керування електродвигунами, використовуються й інші схеми залежно від функціонального призначення електроприладу, але вони зустрічаються тільки в окремих випадках.

6.4.2. Керування технологічними параметрами в ЕПТ

Електропобутова техніка, яка випускається промисловістю в останні роки, як правило, автоматизована. Автоматизованими називаються такі технічні системи, в яких оператор (користувач) задає команди на початок, закінчення або аварійне зупинення їх роботи, а всі інші операції забезпечення необхідного режиму визначаються системою керування без участі оператора.

Як приклади розглянемо традиційні системи регулювання.

На рис. 6.40 наведена електрична схема регулювання температури нагрівання електроковдри. Датчиком температури є термістор $R4$ з непрямим підігрівом. Нагрівач EK вмикається до джерела живлення через тиристор VS , керування яким здійснюється транзисторами $VT1$ і $VT2$. Резистор $R1$ і конденсатор $C1$ утворюють коло живлення постійним струмом транзисторів $VT1$ і $VT2$. База і емітер транзистора $VT1$ з'єднані з діагоналлю моста ab , який складається з резисторів $R2, R3, R4, R5, R6$. Сигнал неузгодженості моста поступає на базу транзистора $VT1$, посилюється і подається на тиристор VS .

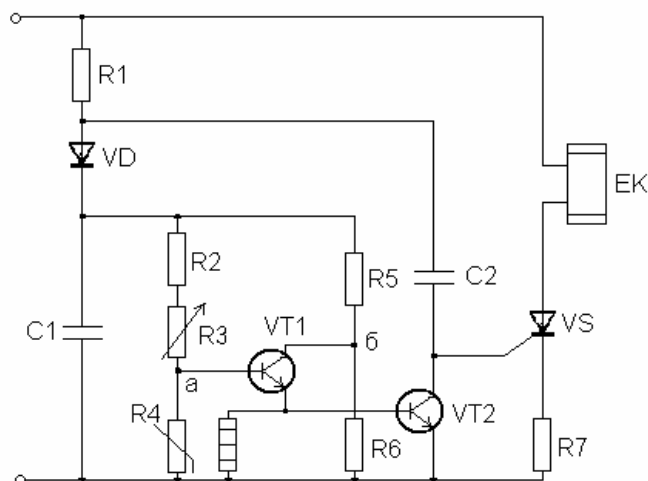


Рис. 6.40 – Схема регулювання температури електроковдри

Схема працює таким чином. Якщо в кімнаті низька температура, то опір термістора високий, і рівновага моста порушена. Сигнал неузгодженості, посилений транзисторами, поступає на керуючий електрод тиристора VS і переводить його в стан провідника. При цьому через нагрівальний елемент EK протікає струм навантаження, який викликає збільшення температури нагрівання електроковдри. Одночасно струм протікає через підігрівач термістора $R4$, що призводить до зростання температури, а отже до зменшення опору $R4$, при цьому сигнал неузгодженості на вході мостової схеми поступово зменшується. При певній температурі, яка визначається резисторами $R3, R4$, сигнал неузгодженості зменшується до нуля, а тиристор VS

закривається. При цьому струм через нагрівальний елемент EK не протікає. Температура нагрівання електроковдри зменшується до певної величини, встановленої уставкою роботи нагрівача. При певній температурі знову настає неузгодженість моста і описаний цикл повторюється. Конденсатор $C2$ призначений для зменшення рівня радіоперешкод.

На рис. 6.41 представлена схема регулювання температури миючого розчину в пральних і посудомийних машинах, де також використовується термістор $R6$, який ввімкнений в одне з плечей вимірювального моста $abcd$. Вихідна напруга моста залежить від опору термістора, а отже і від температури миючого розчину, але вона недостатня для безпосереднього приведення в дію виконавчого органу, який підключає нагрівальний елемент EK .

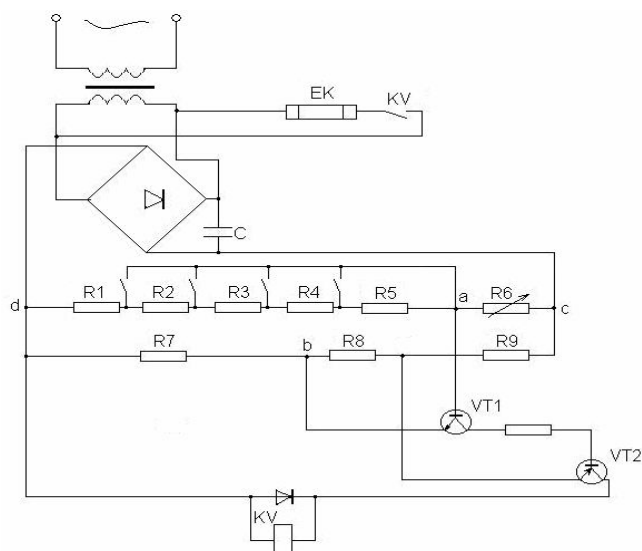


Рис. 6.41 – Схема регулювання температури миючого розчину пральних і посудомийних машин

Випрямлена напруга живить мостову схему, яка утворена резисторами $R1...R9$. Міст $abcd$ знаходиться в рівновазі за умови, що $R6 \cdot R7 = (R1 + R2 + R3 + R4 + R5) \cdot (R9 + R8)$. Під час зміни температури, наприклад, при збільшенні, відбувається неузгодження моста, і на виході з'являється сигнал, який керує ділянкою емітер – база транзистора $VT1$. Підсилений транзистором $VT1$ сигнал подається на вхід послідовно з'єднаного з ним транзистора $VT2$. На виході транзистора $VT2$ ввімкнена обмотка виконавчого реле KV . Якщо сигнал на виході досягає певного значення, реле KV спрацьовує і відмикає нагрівання рознімним контактом KV . Завдяки різній полярності транзисторів $VT1$ і $VT2$ відбувається часткова компенсація зміщення робочих точок характеристик, яка викликана змінюванням температури навколишнього середовища. Робочу температуру миючого розчину встановлюють шунтуванням окремих резисторів в гілці ad . Якщо резистори $R2...R5$ не закорочені, то сумарний опір гілки ad зavelикий. Для того, щоб міст знаходився в рівновазі, опір термістора $R6$ повинен бути великим. Якщо резистори $R2...R5$ закорочені, то опір гілки ad малий.

Для рівноваги моста в цьому випадку опір термістора $R6$ повинен бути малим. Більшому опору термістора відповідає нижча температура, а меншому опору – більш висока. Таким чином, при ввімкнених в плече ab резисторах $R2...R5$ температура миючого розчину мінімальна, а при закорочених – максимальна.

Якщо раніш були розглянуті схеми керування таким технологічним параметром як температура, то аналогічно можна було б розглянути й інші. Але найбільший інтерес представляє керування системами з декількома керованими параметрами, саме сукупність яких визначає якість результату (пральні машини, холодильники, гладильні преса тощо). У деяких випадках

під час розробки системи керування тою чи іншою ЕПТ бажано знати, де доцільніше встановити чутливі елементи (датчики), які реагують на зміну технологічних параметрів, або будь-які інші прилади контролю і регулювання.

З цією метою, окрім принципових схем (див. рис. 6.40, 6.41), використовуються функціональні схеми автоматизації, їх розробляють під час проектування систем автоматизації технологічних процесів взагалі і в електрообутовій техніці зокрема. При створенні функціональної схеми автоматизації спочатку складається спрощена принципова схема технологічного процесу, на яку наноситься відповідними умовними позначеннями апаратура автоматики: чутливі елементи, прилади, регулятори, виконавчі елементи тощо. Деякі функціональні вузли на цій схемі можуть зображуватися у вигляді прямокутників. На рис. 6.42 наведена функціональна схема автоматизації пральної машини.

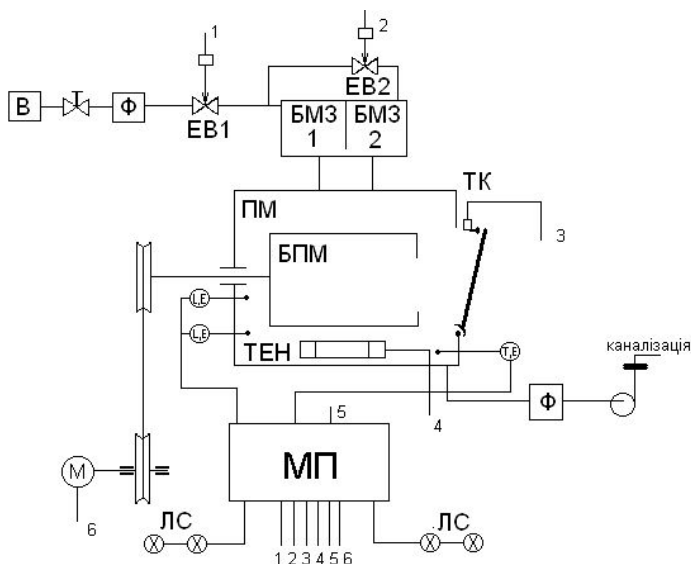


Рис. 6.42 – Функціональна схема автоматизації пральної машини

На схемі відображені такі елементи пральної машини *ПМ*: бак пральної машини *БПМ*, бункери миючих засобів *БМЗ*, трубопроводи подавання води *В* і відведення відпрацьованої води в каналізацію через фільтри *Ф*. На схемі наведені місця установки датчиків рівня рідини в пральній машині *L*, температури *T*, нагрівача *ТЕН* і технологічного контакту *ТК*. Інформація про рівень і температуру води в баку електричними каналами зв'язку передається до мікропроцесорного пристрою *МП*, який встановлений на корпусі пральної машини. Мікропроцесор за заданою програмою регулює подачу води в бункер миючих засобів, а потім й в бак пральної машини за допомогою електромагнітних клапанів *EB1* і *EB2*, та керує частотою обертання і реверсуваннюм електродвигуна *М*, вал якого зв'язаний з баком пральної машини *БПМ*. За допомогою сигнальних ламп *ЛС* мікропроцесор *МП* також видає інформацію про періоди і режими прання.

Таким чином, функціональні схеми автоматизації дають відомості про технологічний об'єкт і розташування засобів автоматизації (датчики контролю, технологічні контакти, електродвигуни та інші виконавчі елементи мікропроцесора).

Принцип роботи системи керування, її складові елементи, послідовність їх взаємодії відображаються на принципових електричних схемах (див. рис. 6.40, 6.41).

Електрична схема автоматизованої пральної машини, в якій режими прання задаються командоапаратом *МП* представлена на рис. 6.43. Командоапарат являє собою електромеханічний пристрій, що складається з синхронного мікроелектродвигуна, на валу якого розташовані диски з западинами. Поверхню дисків ковзають щупи, які вмикають або вимикають певні

контактні системи, що керують двошвидкісним електродвигуном $M2$ приводу барабана з тепловим захистом KK ; відцентровим електронасосом $M1$ тощо. Кожна певна западина на диску відповідає необхідному режиму роботи пральної машини. Електрична енергія до командоапарата подається від мережі через кінцеві вимикачі SQ , які визначають щільність зачинення люку, рівень розчину, його температуру тощо.

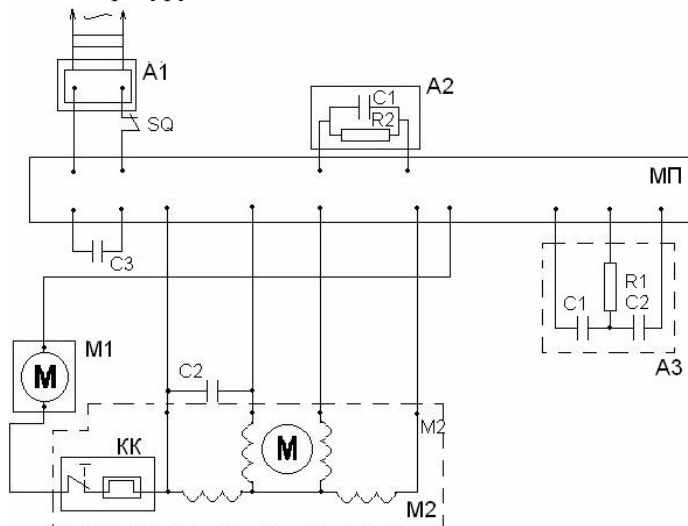


Рис. 6.43 – Електрична схема пральної машини

Конденсатори $C1...C3$, резистори $R1...R3$ і фільтри $A1...A3$ призначені для захисту електричних кіл від радіоперешкод, які створюються під час роботи контактних систем і колекторних двигунів.

Автоматизоване керування технологічними параметрами в побутових холодильниках здійснюється простими засобами автоматики, тому що тут не вимагається точного дотримання заданої температури (для короткочасного збереження продуктів в побутових умовах допустима зміна діапазону температур на $3...5\text{ }^{\circ}\text{C}$), тому в основному використовуються дилатометричні або манометричні перетворювачі. Залежно від класу холодильників в них реалізується пуск електродвигуна компресора з короткочасним перемиканням пускової обмотки або пускового конденсатора; здійснюється операція автоматичного відтанення за певною програмою; вмикання освітлення і вмикання вентиляторів при відкриванні дверей; вмикання нагрівача тощо.

Електрична схема холодильника наведена на рис. 6.44.

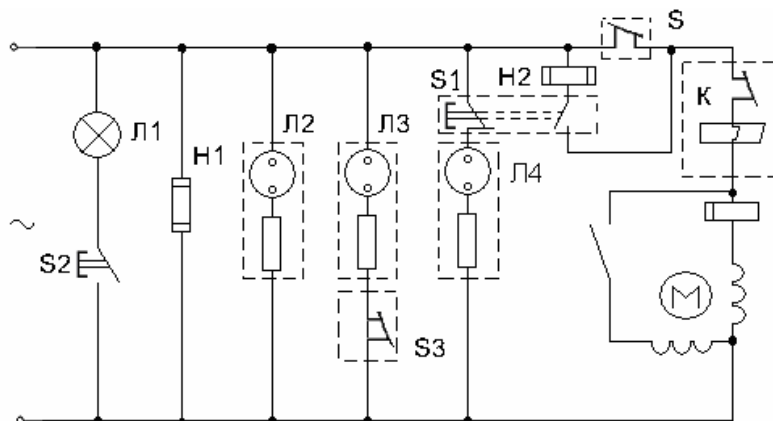


Рис. 6.44 – Електрична схема холодильника

При вмиканні холодильника загоряється індикаторна лампа $L2$, яка сигналізує про те, що до холодильника підведена напруга. Лампа $L3$ загоряється тоді, коли температура в низькотемпературній камері досягає значення $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче.

Датчик реле температури $S3$ температури вмикає і вимикає лампу $L3$. При установці кнопочного перемикача $S1$ в режим “заморожування” загоряється лампа $L4$. Температурний режим в камерах холодильника встановлюється за допомогою датчика реле температури S . Вимикач $S2$ вмикає і вимикає лампу $L1$ освітлення холодильної камери. Пуск електродвигуна і захист його обмоток від теплових і токових перевантажень здійснюється пускозахисним реле K . Нагрівач $H1$ призначений для нагрівання периметра дверей низькотемпературної камери, а нагрівач $H2$ – для відтанення “шуби” випарника. Відтанення низькотемпературної камери здійснюється при відмиканні холодильника від мережі і відчиненні дверей.

Електричні схеми міксерів (рис. 6.45) і кавомолок складаються, як правило, з колекторних двигунів і перешкодозахисних пристроїв (LC -, RC - або C -фільтрів). При натисканні на кнопку $SA1$ обмотками збудження $OB1$ і $OB2$ та ярним колом двигуна M протікає струм. Вал двигуна обертається з необхідною частотою. Електричні перешкоди, які виникають в колекторному колі двигуна, гасяться LC - або RC -фільтрами. Подібні електричні схеми мають також натирачі підлоги і пілососи.

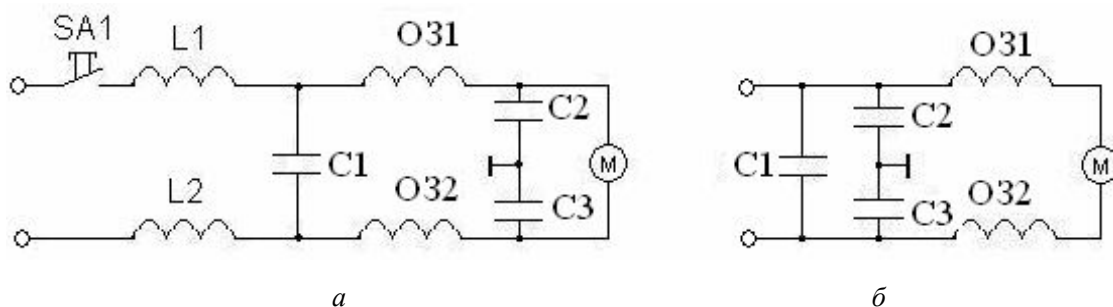


Рис. 6.45 – Електричні схеми міксерів з LC (а) та C (б) перешкодозахисними пристроями

Певний інтерес представляє електрична схема керування побутовим прасувальним пресом. Прасувальні преси можуть мати різноманітне конструктивне оформлення, але за схемою керування вони практично аналогічні. В загальному випадку прасувальний прес складається з прасувальної дошки і гладильного башмака, між якими розміщується виріб, що прасується. Основною задачею автоматизованого керування параметрами пресу є регулювання температури прасувального башмака і сигналізація про готовність преса до роботи та про закінчення процесу прасування. Електрична схема преса наведена на рис. 6.46.

У процесі прасування виробу прасувальний башмак короткочасно на $3\text{...}5$ с притискають до гладильної дошки, на якій знаходиться виріб, що прасується. Процес прасування повинен закінчитися за цей період. Якщо через 7 с після притиснення башмака до дошки він не буде відведений, то спеціальний пристрій, який вмонтовано в прес, відключає нагрівальний елемент від джерела живлення і подає попереджувальний сигнал.

При прасуванні башмак опускається на основу преса і розмикає контакти $SK1$ і $SK2$. Нормально замкнені контакти $SK1$ і $SK2$ зашунтовані конденсаторами $C2$ і $C6$, тому після розмикання через нагрівальні елементи $EK1$ і $EK2$ буде протікати струм, транзистор $VT6$ буде знаходитися в неспроможному стані і звуковий сигнал $B1$ теж буде відімкненим. Через $3\text{...}7$ с після початку заряду конденсаторів $C2$ і $C6$ транзистор $VT7$ переходить в неспроможний стан, обезструмлюється котушка реле $K1$, розмикається контакт реле $K1$ в колі керування симістора $VS1$. Симістор переходить в неспроможний стан, розмикаючи коло живлення електронагрівачів $EK1$ і $EK2$. Одночасно транзистор $VT6$ переходить в стан провідника і вмикається звуковий попереджувальний сигнал $B1$.

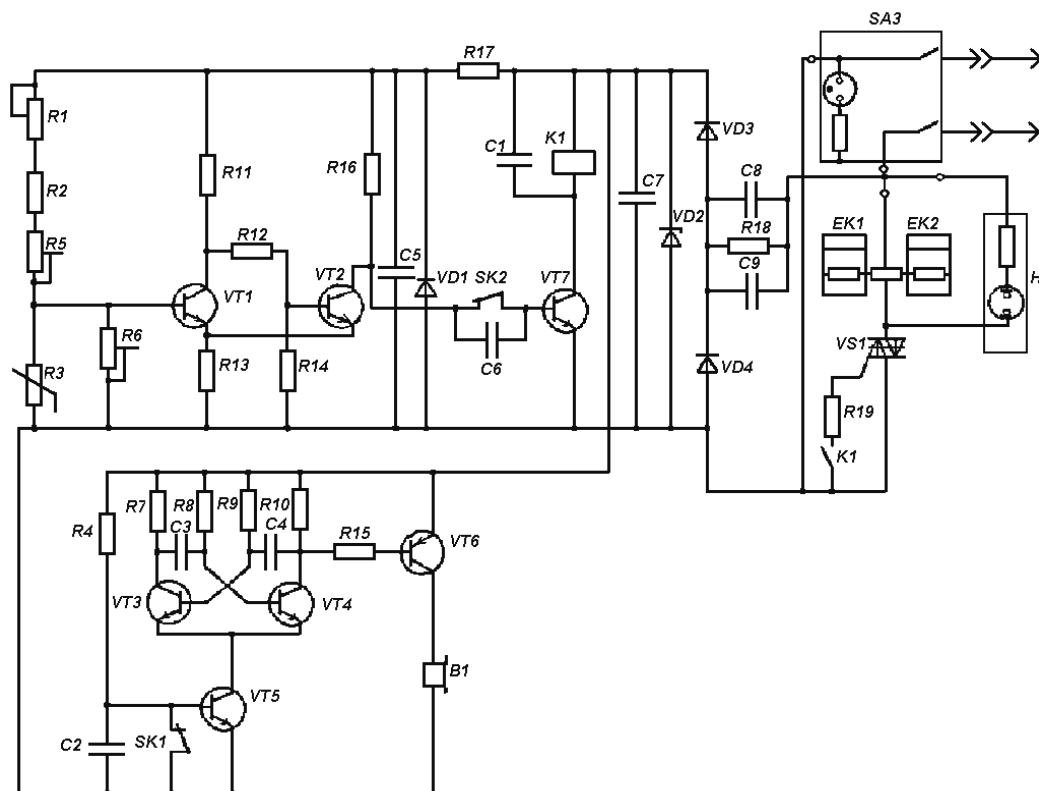


Рис. 6.46 – Електрична схема прасувального преса

Датчиком температури в цій схемі керування є терморезистор $R3$. Температурний режим роботи пресу вибирається змінним резистором $R1$.

При встановленні вимикача $SA3$ в стан роботи подається напруга в електричне коло, яке складається з послідовно ввімкнених нагрівачів $EK1$, $EK2$ і симістора $VS1$, і в коло електронного терморегулятора. Якщо температура нагрівання прасувального башмака нижче заданої, то значення опору терморезистора $R3$, який має негативний температурний коефіцієнт опору, більше, ніж його ж значення, яке відповідає заданій температурі. На базу транзистора $VT1$ подається позитивний потенціал. Транзистор $VT1$ відкритий, транзистор $VT2$ закритий. Транзистор $VT7$ знаходиться в провідниковому стані. Через обмотку реле $K1$ протікає струм, а його контакт $K1$ знаходиться в замкненому стані. На керуючий електрод симістора $VS1$ подається напруга, і він знаходиться в провідниковому стані. Напруга одночасно подається на електронагрівачі $EK1$, $EK2$ та світлову сигналізацію $HL1$. Зі збільшенням температури підшви башмака опір терморезистора $R3$ зменшується. При певному значенні опору терморезистора $R3$ транзистор $VT1$ закривається, $VT2$ відкривається, і $VT7$ переходить в непровідниковий стан. Котушка реле $K1$ знеструмлюється, контакт $K1$ розмикається, і симістор $VS1$ закривається, при цьому припиняється подача напруги на електронагрівачі $EK1$, $EK2$ та світловий індикатор $HL1$. Відбувається охолодження підшви башмака. При певній температурі підшви башмака транзистор $VT1$ знову відкривається, і описаний процес повторюється. Таким чином, ми маємо процес двопозиційного регулювання температури, який був розглянутий раніше.

6.4.3. Автоматизоване управління НВЧ-піччю

Основним елементом мікрохвильової печі є генератор НВЧ енергії, в якості якого використовують магнетрон (вакуумний діод), який, як правило, використовується в радіолокації.

Спрощена електрична схема живлення магнетрона наведена на рис. 6.47.

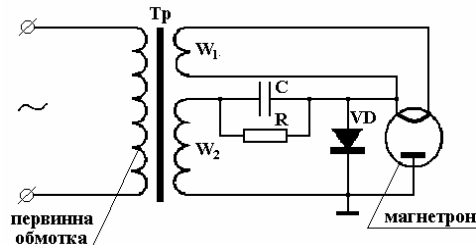


Рис. 6.47 – Характерна схема живлення магнетрона

Основним елементом живлення є спеціальний анодно-розжарювальний трансформатор-стабілізатор Tr . Номінальна ефективна напруга на його високовольтній обмотці W_2 складає 2100...2300 В, а номінальна напруга обмотки розжарювання W_1 – 3...3,2 В. Напруга живлення первинної обмотки трансформатора становить 220 В. Вторинна обмотка W_2 трансформатора ввімкнена до схеми подвоєння напруги, яка складається з конденсатора C і діода VD . Резистор R забезпечує розрядження конденсатора C при вимиканні печі. Напруга між анодом і катодом магнетрона, як правило, дорівнює 4000 В.

Магнетрон (рис. 6.48) складається з анодного блоку, який являє собою герметичний, товстостінний металевий циліндр з прорізаними порожнинами в стінках, що виконують роль об'ємних резонаторів. Резонатори утворюють кільцеву коливальну систему. В анодному блоці закріплений циліндричний катод, на внутрішній порожнині якого розташований підігрівач. Магнітне поле, що паралельно осі пристрою, утворюється зовнішніми магнітами (або електромагнітами). Під час нагрівання катод випромінює електрони, які починають рухатися в сторону анода. Але магніт, що закріплений на стінках циліндра, утворює магнітне поле, яке направлено перпендикулярно руху електронів. У зв'язку з цим електрони рухаються до аноду не прямо, а за спіраллю, яка розкручується. При достатньо сильному магнітному полі електрони починають рухатися по колу.

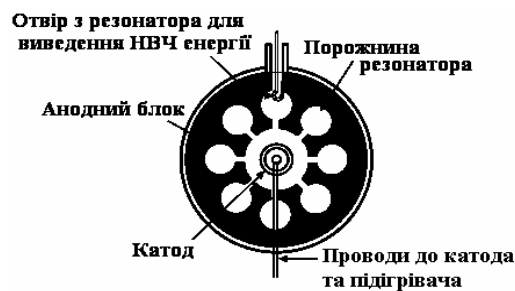


Рис. 6.48 – Схема конструкції магнетрона

Резонансні порожнини, які утворені вертикальними перегородками на внутрішній стінці корпусу анода, є визначальним чинником того, які хвилі будуть генеруватися в магнетроні. В них виникає резонанс, який є причиною того, що випадковий шум в межах простору електронів, що рухаються навкруги катода, перетворюється в електромагнітні коливання. З магнетрона по хвилеводу, який являє собою коротку металеву антену, електромагнітні хвилі попадають в камеру НВЧ-печі.

Потужність НВЧ-печі змінюється в широкому діапазоні від 500 до 2500 Вт. Практично у всіх побутових печах є можливість регулювання рівня потужності. Особливістю магнетронів, які використовуються у більшості НВЧ-печей, є їх неспроможність працювати не на всю потужність при включеному стані. Для регулювання потужності використовується широтно-імпульсна модуляція: магнетрон періодично включається і виключається відповідно до нала-

штування регулятора потужності. Співвідношення між циклами роботи і вистою магнетрона визначає величину потужності, що генерується.

Промисловістю випускаються НВЧ-печі як з електромагнітним, так і електронним управлінням. Силкові електричні блоки НВЧ-печей практично ідентичні за різних схем управління. Відмінність проявляється лише в тому, що замість контактів таймера використовуються контакти електромеханічних реле. В якості приклада розглянемо принципову електричну схему мікрохвильової НВЧ-печі “Samsung” (рис. 6.49).

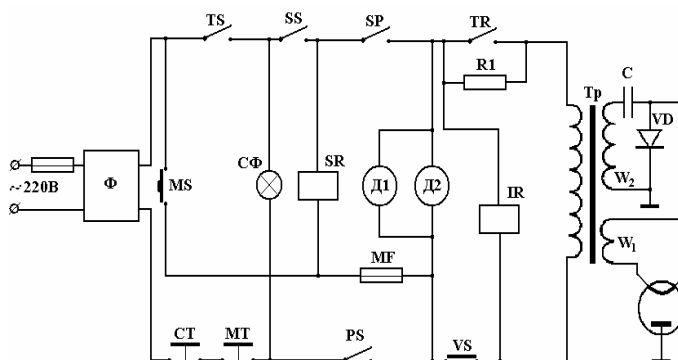


Рис. 6.49 – Принципова електрична схема НВЧ-печі

Вмикання НВЧ випромінювання забезпечується подачею живлення напругою 220 В на первинну обмотку високовольтного трансформатора Tr , для чого контакт MS розімкнений, а всі інші контакти електричного кола замкнені. Контакти CT і MT замкнені за умови, що температура камери і магнетрона не перевищує допустимі норму.

Мікроперемикачі у розімкненому стані PS та SS блокують включення магнетрона при відкритій дверці камери, а при її закритті – замикаються. Включення НВЧ-печі відбувається за встановленням таймера на певний час, при цьому контакти TS замикаються, на обмотку реле SR поступає напруга і його контакт SP замикається. Включаються електродвигуни таймера $D1$ та вентилятора $D2$ і на трансформатор через опір $R1$ подається напруга.

Мікроперемикач MS контролює надійну роботу елементів блокування дверей печі. У випадку, коли мікроперемикачі PS і SS не будуть розмикатись, включення печі з відкритими дверима приведе до перегорання запобіжника MF . В цьому випадку включення реле SR стане неможливим і генерації НВЧ потужності не відбудеться. Необхідно мати на увазі, що для узгодженої роботи мікроперемикач PS повинен замикатися пізніше, а розмикатися раніше ніж, відповідно, розімкнуться і замкнуться контакти MS . Порушення такої послідовності приведе до короткого замикання на вході системи управління з наступним перегоранням запобіжника.

Резистор $R1$ призначений для зниження пускового струму, він працює лише декілька мілісекунд до спрацьовування реле IR . Необхідність опору в системі регулювання визвано тим, що в початковий період високовольтний конденсатор розряджений і в позитивний півперіод вторинна обмотка трансформатора замкнена “накоротко”. Тому, під час включення НВЧ-печі відбувається різке підвищення струму.

Резистор $R1$ понижає пусковий струм на деякий час, протягом якого конденсатор поступово заряджається до номінального значення і НВЧ-піч плавно входить в робочий режим.

Мікроперемикач VS встановлений на таймері і слугує для регулювання потужності. При заданому рівні потужності, меншої ніж максимальна, мікроперемикач VS забезпечує періодичне відключення НВЧ-печі.

Фільтр Φ забезпечує зменшення радіоперешкод, які виникають під час роботи НВЧ-печі і потрапляють у зовнішнє коло системи живлення.

Залежності від моделі НВЧ-печі конструкція може змінюватись за рахунок введення додаткових елементів, але такі зміни практично не впливають на систему електричного регу-

лювання. Силовий блок магнетрона незмінний в різних моделях НВЧ-печі, але схеми керування можуть змінюватися залежно від елементів, що використовуються в конструкції (електромагнітне реле, мікроконтролер, мікропроцесори тощо).

Подальше удосконалення НВЧ-печей ґрунтується на одночасній дії мікрохвиль з іншими способами нагрівання під час термообробки продуктів, а також на більш ефективному використанні мікроконтролерів.

Справа в тому, що на сьогодні можливості мікроконтролерів використовуються недостатньо, в основному вони виконують функції таймерів. Це пов'язано в основному з тим, що відсутній зворотний зв'язок під час роботи печі, а відсутність постійної інформації про стан процесу термообробки продуктів не дає можливості завжди забезпечити якісний результат.

У сучасній мікрохвильовій техніці використовуються різні первинні перетворювачі, які в процесі термообробки продуктів вимірюють наступні параметри: температуру камери і продукту, масу продукту, початок пароутворення, абсолютну та відносну вологість в камері тощо.

6.5. Використання мікропроцесорної техніки у побутових машинах і приладах

В останні роки в різноманітних машинах та приладах ЕПТ (пральні машини, холодильники, кухонні комбайни, посудомийні машини та таке ін.) на зміну електромеханічним командоапаратам приходить мікропроцесорна техніка, на основі якої створені мікро-ЕОМ і мікроконтролери. У побутовій техніці використовуються мікропроцесорна техніка різноманітного функціонального призначення, але найбільший інтерес представляють мікропроцесори, які забезпечують функції керування визначеними параметрами (температура, тиск, час тощо) або інформують про стан цих параметрів.

У мікропроцесорних системах керування (МСК) побутової техніки здійснюється програмно-апаратне керування за допомогою мікроконтролерів, що надає можливість організувати гнучке керування об'єктом і дозволяє реалізовувати складні закони керування шляхом відповідного програмування МСК. В зв'язку з наявністю великої номенклатури мікроконтролерів від простих ПІС-контролерів до порівняно складних однокристальних мікро-ЕОМ, вони знаходять використання як в системах з простою, так і зі складною структурою.

Мікроконтролери в ЕПТ успішно замінюють командоапарати, які забезпечують жорстке керування технологічними процесами, що змінюються в часі.

6.5.1. Структура мікропроцесорних систем керування

Узагальнена структура МСК, побудованої на основі одного пристрою керування і з'єднаного з об'єктом керування декількома каналами зв'язку, наведена на рис. 6.50.

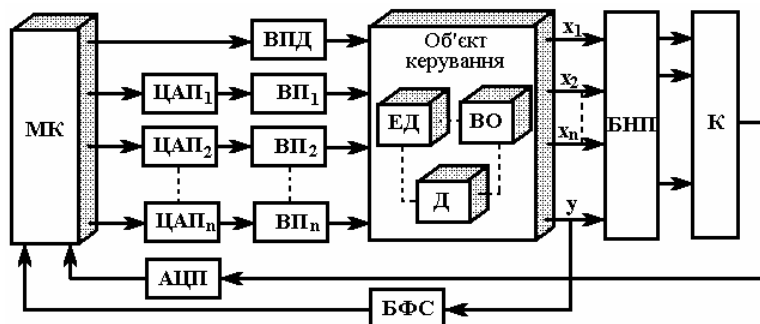


Рис. 6.50 – Структура мікропроцесорної системи керування

Як пристрій керування використовується мікропроцесорний контролер (МК), побудований на базі мікропроцесора певного типу. Інформація від датчиків (Д) про стан об'єкта ке-

рування (ОК) передається до МК через блок нормуючих перетворювачів (БНП), комутатор (К) і аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Нормуючі перетворювачі узгоджують рівні інформаційних сигналів на виході ОК з рівнями вхідних сигналів комутатора. АЦП перетворює аналогові сигнали з виходу об'єкта в цифровий код. Після перетворення цифрової інформації про стан об'єкта керування за певним алгоритмом, який зазвичай міститься в пам'яті МК, генеруються керуючі впливи, що надходять на вхід ОК через цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) та виконавчий пристрій (ВП).

Зазначимо, що якщо мультиплексування вхідних сигналів ОК на вході АЦП можливо практично завжди, то мультиплексування керуючих сигналів на вході МК часто неприпустимо. Така структура системи керування пояснюється необхідністю запам'ятовування кожного значення керуючого сигналу після зупинки обчислювального пристрою.

У побутовій техніці серед вихідних сигналів аналогового типу можуть бути і дискретні сигнали. Введення таких сигналів в МК здійснюється через блок формування сигналу (БФС). Він призначений для узгодження рівнів та потужностей дискретних сигналів з вхідними колами МК. За наявності декількох дискретних сигналів для їх введення в МК можна використовувати мультиплексування. Якщо на вході об'єкта керування є виконавчий пристрій дискретного типу (ВПД), наприклад, підсилювачі потужності, тиристорні перетворювачі, що працюють в ключовому режимі, то керуючий вплив генерується в МК і подається у ВПД без використання ЦАП. Центральне місце в МСК (див. рис. 6.50) займає мікропроцесорний контролер, а інші елементи – БНП, К, АЦП, ЦАП і ВП – забезпечують зв'язок МК з об'єктом керування. Часто їх об'єднують однією загальною назвою – пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО). Конструктивно всі елементи системи можуть розташовуватися на одній платі, яка розміщується в конструкції об'єкта керування ЕПТ.

Контролер може бути виконаний на базі певного типу мікропроцесора і декількох мікросхем підкріплення. При використанні МК як вбудованого засобу керування в окремо взяті об'єкти, технічні параметри МК і ПЗО можуть бути неуніфікованими, а тим самим системи керування різними об'єктами не взаємозамінні. Загальна вартість автоматизованої побутової техніки при цьому стає значною.

6.5.2. Структура мікропроцесорного контролера

Найважливішою ланкою мікропроцесорних систем керування (рис. 6.50) є мікроконтролер, який являється складним технічним пристроєм та призначений для обробки цифрової інформації. МК будується на основі обраного типу мікропроцесора (МП), що найкращим чином забезпечує необхідні функції мікропроцесорної системи в цілому. Типова структура МК наведена на рис. 6.51.

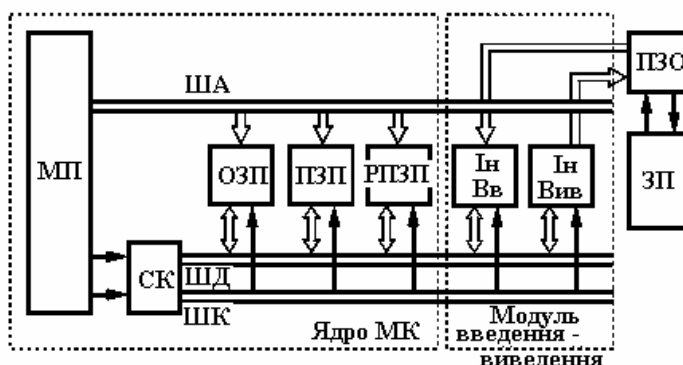


Рис. 6.51 – Структурна схема мікроконтролера

Контролер складається з двох основних частин: ядра і модуля введення–виведення. Ядро МК містить мікропроцесор (МП), системний контролер (СК) та пристрої пам'яті. В

структурі МК мікропроцесор виконує головну функцію: здійснює арифметичну та логічну обробку даних, що надходять від зовнішніх пристроїв (ЗП) системи, і разом з СК керує потоками інформації між всіма пристроями МК. Зв'язок МП з об'єктом керування здійснюється через ПЗО і шини системи: шину даних (ШД), шину адреси (ША) та шину керування (ШК). Підключення ПЗО до шини даних системи здійснюється через порти введення-виведення, які звичайно входять до складу інтерфейсу системи. Інтерфейс – сукупність програмних і апаратних засобів, що забезпечують обмін інформацією між МП та ЗП.

Інформація про стан об'єкта керування передається від датчиків до МП через ПЗО та **шину даних**. За цим же напрямом передаються керуючі сигнали від МП до об'єкта. Тому ШД МК двонаправлена. Її розрядність відповідає розрядності арифметико-логічного пристрою (АЛП) мікропроцесора і визначає діапазон двійкових чисел, що надаються.

Звернення до ЗП системи здійснюється через адресу, привласнену кожному зовнішньому пристрою. Адреса ЗП являє собою цифровий двійковий код, який передається в напрямі МП → ЗП. Передавання адреси системи здійснюється через однонаправлену **шину адреси**. Розрядність ША систем з різними мікропроцесорами може дорівнювати 8, 16, 32 двійкових розряду. Чим більша розрядність ША, тим більшу кількість адрес можна закодувати: для n -розрядної ША обсяг адресного простору $V = 2^n$.

Шина керування системи призначена для передавання системних керуючих сигналів від МП до ЗП і в зворотному напрямі. ШК побудована так, що кожним її проводом передається керуючий сигнал тільки в одному напрямі.

Системний контролер призначений для формування системних керуючих сигналів, які забезпечують необхідні операції між МП та ЗП, за рахунок використання деяких сигналів керування МП. Тому СК вважається первинним керуючим пристроєм системи або первинним автоматом, найважливішою задачею якого є забезпечення правильною взаємодією між всіма пристроями МК.

Для зберігання програм і даних ядро МК містить ОЗП (**оперативний запам'ятовуючий пристрій**), ПЗП (**постійний ЗП**) та РПЗП (**репрограмувальний ЗП**). ПЗП використовується тільки для збереження програм керування. Ці програми, розроблені та налагоджені на спеціальних засобах, заносяться в ПЗП в заводських умовах, і користувач змінити їх не може. РПЗП відрізняються тим, що користувач може змінити їх зміст.

ОЗП використовується для збереження даних, необхідних для виконання основної програми керування. Звернення до комірок пам'яті адресне. Адреси (n -розрядні двійкові числа) виставляються на шину адреси лічильником команд мікропроцесора. Частина розрядів ША подається безпосередньо до мікросхем пам'яті, а решта (старші) розрядів використовується в схемі дешифрації для вибірки мікросхем пам'яті.

Будь-який алгоритм керування МП реалізується керуючою програмою, яка являє собою цифрові двійкові коди, що розміщені в комірках ПЗП. Щоб визначити, що повинен робити МП в певний момент часу, він повинен дістати код операції з комірки пам'яті, де цей код зберігається. Процедура зчитування коду операції реалізується таким чином. МП подає до ША адресу комірки пам'яті, на ШК формується системний керуючий сигнал читання пам'яті ЗП і дані (вміст ЗП) через ШД поступають в МП. Після визначення коду операції відбувається виконання самої операції: або пересилання даних між МП та комірками пам'яті, або пересилання даних між МП та ОК. В останньому випадку дані будуть передаватися в напрямі МП → ШД → модуль введення – виведення → ПЗО → ОК або в зворотному напрямі.

Особливістю керуючих контролерів є те, що до їх складу не входять засоби налагоджування програм. Користувач має тільки можливість серед набору програмних модулів скласти конфігурацію контуру керування, користуючись спеціальними командами на пульті керування.

Мікропроцесори класифікують:

1) за способом обробки інформації на однокристальні (в яких нарощування розрядності оброблюваних слів забезпечується тільки програмним шляхом) та розрядно-модульні (у яких нарощування розрядності оброблюваних слів забезпечується однотипними секціями);

2) за способом формування системи команд на мікропроцесори з можливістю розробки нової системи команд користувача (доступний рівень мікропрограмного керування) та мікропроцесори, що використовують тільки одну стандартну систему команд (мікропрограмний рівень керування недоступний).

Приклад розрахунку періоду квантування МП. Під час програмування реальної системи керування з мікропроцесором, який використовується в якості регулятора, необхідно враховувати час обробки інформації про стан об'єкта керування та генерування керуючого сигналу. Припустимо, що об'єкт керування представлений двигуном постійного струму (ДПС), навантаженням і підсилювачем потужності. Аналоговий об'єкт (ДПС) і МП зв'язані через аналогово-цифровий (АЦП) і цифро-аналоговий (ЦАП) перетворювачі. Таким чином, всю систему можна розглядати як цифрову систему керування з періодом квантування T секунд.

Метою керування є підтримування швидкості навантаження $\omega(t)$ на рівні постійного значення ω_d . Тоді помилка між частотою обертання, що задається ω_d , і швидкістю навантаження визначається як:

$$e(t) = \omega_d - \omega(t). \quad (6.43)$$

На вході МП діє дискретний сигнал помилки $e(kT)$, $k = 0, 1, 2, \dots$, а сигнал на виході МП позначимо $u(kT)$. Припустимо, що МП повинен виконувати цифрові обчислення для реалізації функції пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора, який в безперервній формі описується як:

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt. \quad (6.44)$$

Інтеграл в рівнянні (6.44) може бути записаний у вигляді:

$$x(t) = \int_{t_0}^t [\omega_d - \omega(\tau)] d\tau + x(t_0), \quad (6.45)$$

де t_0 – початковий момент часу; $x(t_0)$ – початкове значення $x(t)$.

Для обчислення визначеного інтеграла використовуються різні чисельні методи. Будемо використовувати метод трапецій і припустимо $t = kT$, $t_0 = (k-1) \cdot T$. Тоді визначений інтеграл у виразі (6.45) записується:

$$\int_{(k-1)T}^{kT} [\omega_d - \omega(t)] dt \approx \omega_d T - \frac{T}{2} \{ [\omega(kT) + \omega[(k-1) \cdot T]] \}, \quad (6.46)$$

де $k = 1, 2 \dots$

Отже, значення інтеграла у виразі (6.46) для $t = kT$ може бути обчислене за швидкістю, яка задається ω_d і значенням $\omega(kT)$ і $\omega[(k-1) \cdot T]$. Однак, у дійсності мікропроцесору потрібне кінцевий час для обчислення інтеграла (6.46), тобто має місце тимчасова затримка. Припустимо, вона дорівнює одному періоду квантування T . Це означає, що права частина виразу (6.46) визначає результат обчислення інтеграла в момент $t = (k+1) \cdot T$:

$$x[(k+1) \cdot T] = \omega_d T - \frac{T}{2} \{ \omega(kT) + \omega[(k-1) \cdot T] + x(kT) \}. \quad (6.47)$$

Зазначимо, що як початкове значення $x(t)$ використовується $x(kT)$, а не $x[(k-1) \cdot T]$. Якщо підставити $x[(k+1) \cdot T]$ в інтеграл (6.44), одержимо дискретну форму $u(t)$:

$$u[(k+1) \cdot T] = K_p [\omega_d - \omega[kT]] + K_I x[(k+1) \cdot T]. \quad (6.48)$$

Саме це керування прикладається до системи з двигуном постійного струму при $t = (k+1) \cdot T$, де $k = 0, 1, 2, \dots$. Керування змінюється кожні T секунд і залишається постійним між моментами вмикання.

6.5.3. Практична реалізація мікропроцесорної системи керування для ЕПТ

Структурна схема, яка реалізує керування технологічними параметрами (температурою, тиском тощо) та інформує про стан цих параметрів наведена на рис. 6.52.

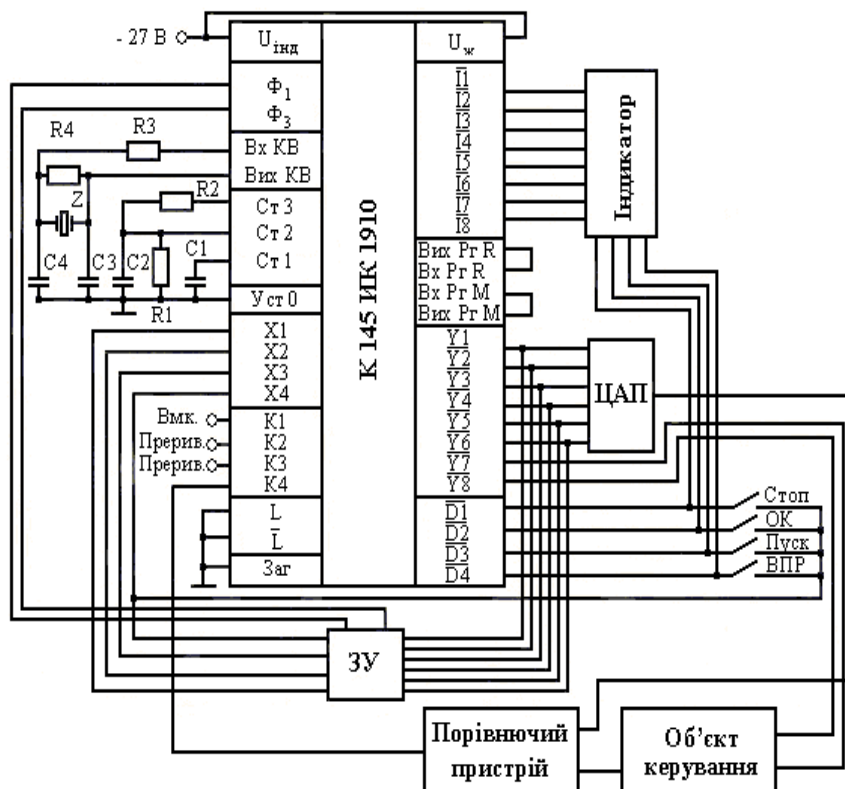


Рис. 6.52 – Схема керування технологічним об'єктом на основі мікропроцесора

У схемі використовується мікроконтролер, виконаний на базі великої інтегральної схеми (ВІС) зі зовнішнім запам'ятовуючим пристроєм і цифровим аналоговим перетворювачем (див. рис. 6.53).

Для керування режимами роботи ВІС слугує клавіатура *S*. Клавішами “Стоп” і “Пуск” здійснюється відповідно зупинка та запуск програми регулювання. Клавіша “УП” задає режим введення значення регульованої величини, а клавіша “ВПР” – режим введення параметрів регулювання.

Для збудження внутрішнього задавального генератора ВІС використовується кварцовий резонатор *Z*, який забезпечує час вимірювання регульованого параметра не більш 0,5 с. Якщо висока стабільність задавального генератора не обов'язкова, то кварцовий резонатор і відповідні опори *R3* і *R4* та конденсатори *C3* і *C4* можна виключити зі схеми. Сигнал про стан керуваного параметра в об'єкті керування поступає на порівняльний пристрій (компаратор), де порівнюється з сигналом з ЦАП, який відповідає заданому значенню регульованого параметра. З ЦАП інформація про задане значення регульованого параметра поступає на вхід *K4* ВІС. У ВІС шляхом послідовного наближення реального і заданого значення регульованого параметра на виходах *Y1...Y6* формується сигнал, який відповідає вимірюваному аналоговому сигналу. Сигнали з виходів *Y7* і *Y8* призначені для керування виконавчим пристроєм за певною програмою, яка записана в постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП) ВІС або попередньо записана у зовнішнє ЗП. З виходів *Y1...Y8* сигнали, які пропорційні значенню регульованого параметра, поступають на індикатор, де відображається інформація про його стан.

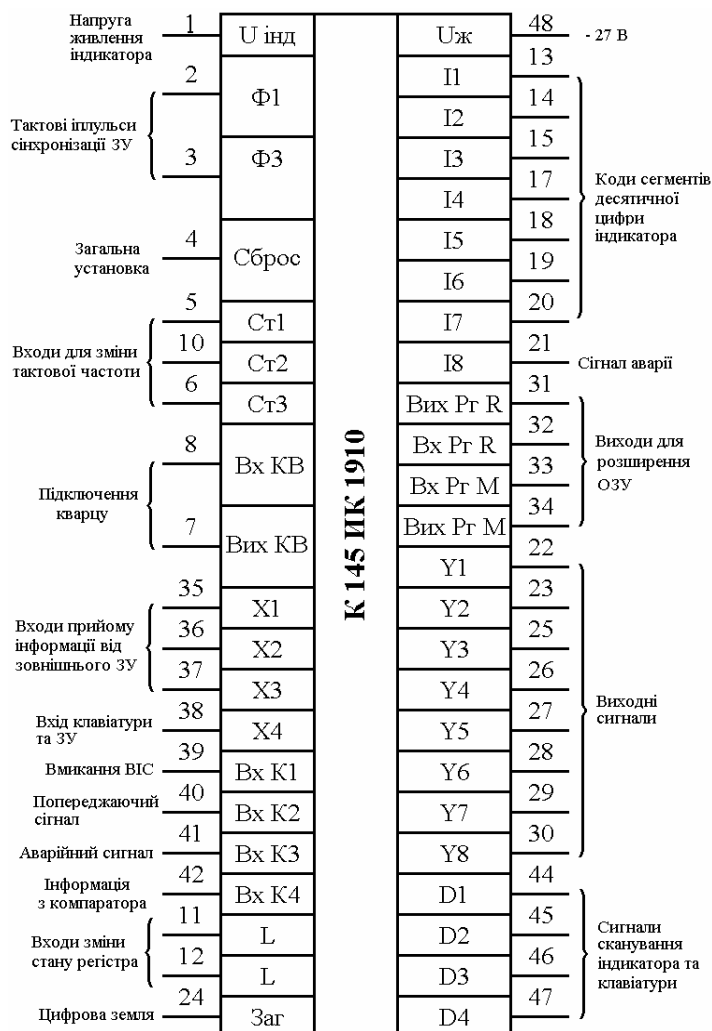


Рис. 6.53 – Приклад великої інтегральної схеми з виводами різноманітного функціонального призначення

Сьогодні випускається ряд серій однокристальних мікро-ЕОМ, які призначені для систем керування параметрами в електрообутовій техніці. Застосування однокристальних мікро-ЕОМ, які реалізують на одній ВІС функції введення–виведення, зберігання та обробки даних, дозволяє досягти максимальної простоти і дешевизни систем керування. Однокристальні мікро-ЕОМ програмується в процесі виготовлення, і їх виробництво економічно вигідно для партій більш 10000 шт., тому їх доцільно використовувати в серійному виробництві ЕПТ.

Схема електронного секундоміра, яка реалізована на однокристальній мікро-ЕОМ наведена на рис. 6.54.

На вхід *D4* подаються імпульси від зовнішнього генератора з частотою 50 Гц. Входи *R0...R3* використовуються для сканування індикатора і опитування клавіатури. З виходів *Q0...Q7* поступають сигнали в кодованому вигляді на вхід індикатора. Кодовані сигнали відповідають виконанню жорсткої програми часового циклу, яка записана при виготовленні ВІС.

При натисканні на кнопку “Пуск” починається відлік часу з відображенням на чотирирозрядному індикаторі десятих часток секунди, секунд, хвилин тощо. Скидання показників або зупинка відліку часу відбувається при натисканні на кнопки “ОК” або “Стоп”. По-

дібна структурна схема може бути використана для керування різноманітними технологічними параметрами в електрообутовій техніці.

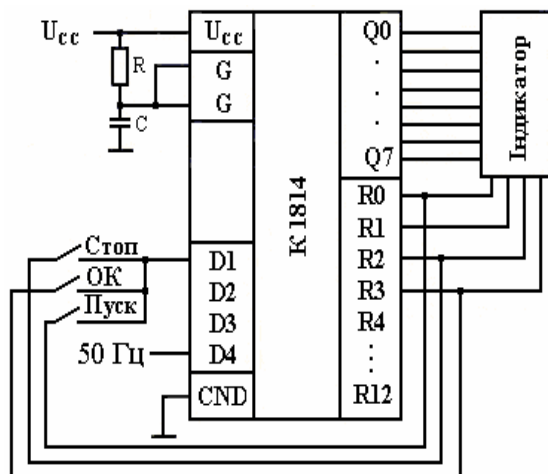


Рис. 6.54 – Структурна схема однокристалльної мікро-ЕОМ, яка реалізує функції секундоміра

На рис. 6.55 показана структурна схема, яка ілюструє принцип роботи системи автоматичного заповнення бака миючим розчином до раціонального рівня залежно від кількості білизни в пральній машині з верхнім завантаженням.

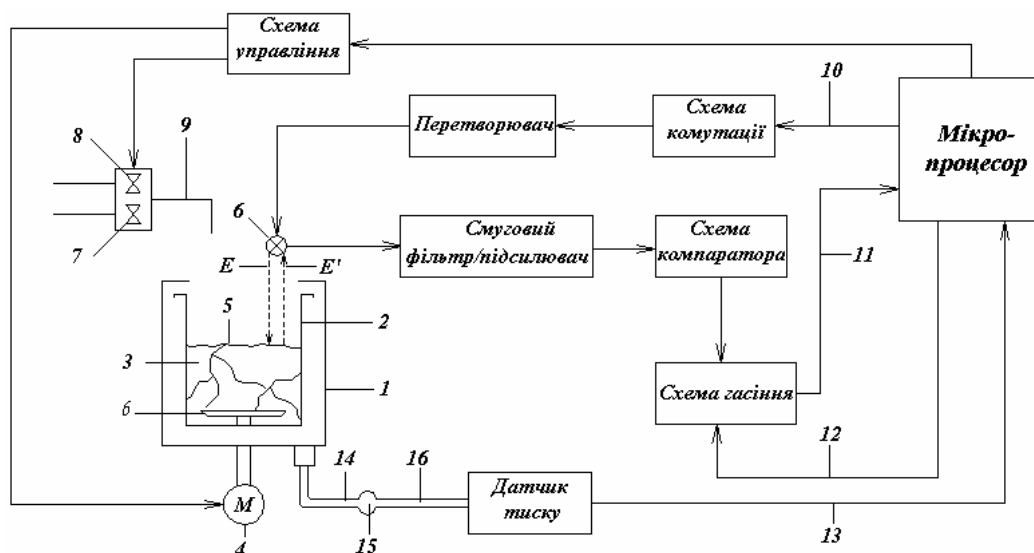


Рис. 6.55 – Структурна схема системи автоматичного визначення кількості завантаженої білизни в пральну машину

Розглянемо послідовність роботи системи. Мікропроцесор, типу СОР820 фірми “National Semiconductor”, створює імпульси керування ультразвуковим датчиком відстані 6 й передає їх по лінії 10 через схему комутації та перетворювач, які формують високовольтні імпульси, необхідні для роботи датчика. При надходженні цих імпульсів електроакустичний перетворювач датчика 6 випромінює ультразвукові хвилі E , що спрямовані вниз у пральний барабан 2. Ультразвукова хвиля E проходить вниз до завантаженої білизни 3 і відбивається від її поверхні 5. Виникає зворотна хвиля E' , яка розповсюджується у напрямі до перетворювача.

Перетворювач працює по черзі в якості передавача ультразвукової хвилі E та приймача відбитої від поверхні білизни хвилі E' . Після цього дві хвилі накладаються одна на одну та перетворюються в імпульс напруги.

Отриманий імпульсний сигнал через смуговий фільтр та підсилювач сигналу подається на схему компаратора, який пропускає тільки сигнали, амплітуда яких перевищує фіксоване граничне значення. Сигнал з компаратора потрапляє на схему гасіння, яка одночасно отримує також вихідний імпульсний сигнал лінією 12 від мікропроцесора, що є сигналом помилкового спрацьовування компаратора зі схеми електричних імпульсів збудження по лінії 10 або будь-який шум, який не сприймається за правильний сигнал і, в подальшому, мікропроцесор отримує лише імпульс, що відповідає ультразвуковий зворотній хвилі E' . Таким чином, датчик працює в якості передавача і приймача. Вихідний сигнал зі схеми гасіння по лінії 11 є сигналом, що визначає відстань від поверхні білизни до ультразвукового датчика.

За сигналом, який передається лінією 11 до мікропроцесора, останній розраховує відстань від поверхні завантаженої білизни до датчика та необхідний рівень миючого розчину для забезпечення раціонального режиму прання. На основі отриманих значень, мікропроцесор посилає вхідний сигнал на схему управління, яка, у свою чергу, керує електромагнітними клапанами дроселів 8 та 7 для подачі, відповідно, холодної та гарячої води до бака пральної машини 1.

Окрім визначення необхідного рівня миючого розчину мікропроцесор контролює процес заповнення бака пральної машини миючою речовиною. Вода потрапляє в пральний бак через сопло 9, а її рівень контролюється датчиком тиску. Датчик тиску включає в себе первинний трубопровід 14, взаємозв'язаний з камерою 15, і вторинний трубопровід 16, який взаємозв'язаний з електронним датчиком тиску пневматичного типу. Цей датчик генерує сигнали прямокутної форми, частота яких є функцією тиску, що надходять до лінії 13. По цій лінії мікропроцесор може контролювати рівень пральної рідини в барабані 2. Як тільки рівень рідини, що визначається електронним датчиком тиску, буде відповідати розрахованому, мікропроцесор припинить подачу рідини за допомогою електромагнітних клапанів 8 та 7.

Особливістю системи є те, що мікропроцесор одночасно направляє вихідний сигнал на схему управління, що здійснює керування двигуном 4, який обертає пральний барабан 2 під час розповсюдження ультразвукових хвиль E . Таким чином, за рахунок виконання декількох циклів вимірювання вдається уникнути грубих помилок при визначенні рівня білизни в пральному барабані, зв'язаних із нерівностями її поверхні, та визначити необхідну кількість миючого розчину. Система автоматичного визначення кількості завантаженої білизни в пральну машину на основі ультразвукового датчика відстані дозволяє зменшити витрати миючої рідини; уникнути додаткових енерговитрат, що характерні для методів визначення моменту інерції системи барабан – білизна; забезпечити мінімальну тривалість циклу вимірювання.

Розглянемо приклад використання мікропроцесорної системи керування в холодильниках Samsung серії RL33. На рис. 6.56 наведена блок-схема МСК. Дана система побудована відповідно структурної схеми, розглянутої раніше (див. рис. 6.50). Інформація про стан ОК надходить як у аналоговому вигляді, так і в цифровому, тому процес керування холодильника здійснюється за тим самим принципом.

МСК відповідно до встановленої користувачем програми та режиму роботи апарата на основі інформації, отриманої від датчиків, забезпечує функціонування виконавчих пристроїв холодильника. Основою МСК холодильника є мікроконтролер (рис. 6.56) типу TMP87CC40N, розташований на основній електронній платі. До його складу входять процесорне ядро, набір таймерів, ОЗП, ПЗП, різноманітні порти введення–виведення тощо. Для забезпечення роботи МК використовується мікросхема початкового скидання (Reset) і кварцовий резонатор (4 МГц).

Джерелом живлення елементів плати являються лінійні стабілізатори напруги. Напруга +5 В використовується для живлення процесора і схеми Reset, а +12 В – інтегральних багатоканальних ключів. Живлення на стабілізатори подається від мережевого трансформатора.

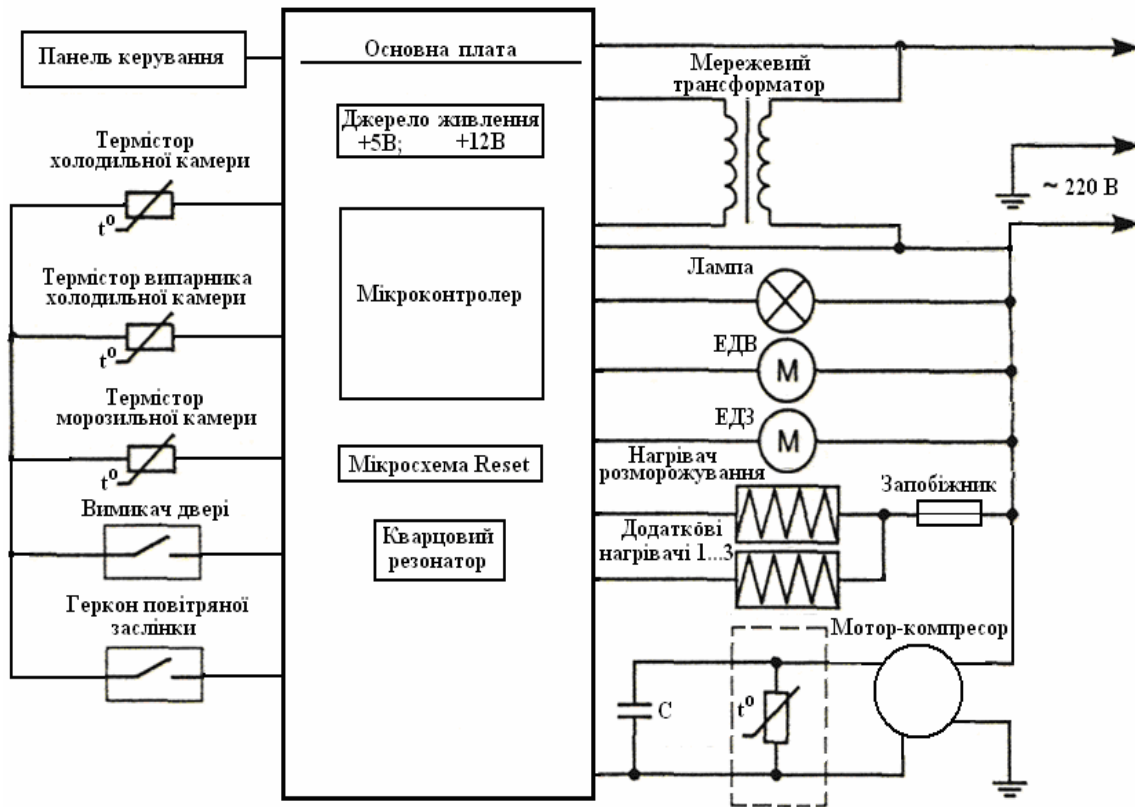


Рис. 6.56 – Блок-схема мікропроцесорної системи керування холодильником

Розглянемо склад пристроїв, наведених на рис. 6.56.

- мотор-компресор;
- датчики температури – термістори (терморезистори з від’ємним температурним коефіцієнтом). Вони використовуються для контролю температур в холодильній і морозильній камерах, на корпусі конденсатора, а також температури оточуючого середовища;
- електродвигун вентилятора ЕДВ. Використовується в системі “No frost”;
- електродвигун привода повітряної заслінки ЕДЗ;
- нагрівальні елементи. Використовуються для підвищення ефективності роботи системи танення;
- контактні датчики-перемикаючі пристрої. Використовуються для контролю закриття дверей, для ввімкнення повітряної заслінки.
- панель керування – електронна плата з розташованими світлодіодними індикаторами та кнопками керування.

Зовнішні силові елементи холодильника (компресор, нагрівачі, електричні клапани, соленоїди) керуються симістрами, які отримують сигнал керування від мікроконтролера через ключові схеми.

Схемотехніка сучасного холодильника з мікропроцесорною системою керування доволі проста і ремонтпридатна.

Як видно з наведеного, мікропроцесори набули широкого застосування в побутовій техніці: в побутових приладах (пральні і швейні машини, пилососи тощо), в побутовій радіоелектронній апаратурі (відеомагнітофони, радіоприймачі тощо). Їх використання дозволяє реалізувати нові функції в системах і пристроях, підвищувати комфортність цих систем, зменшувати енергоспоживання, спрощувати та підвищувати якість керування.

6.6. Система керування параметрами у виробках ЕПТ з використанням принципів Fuzzy Logic

6.6.1. Загальні відомості

В останні роки в області автоматичного керування різними технічними пристроями й, зокрема, у виробках побутової техніки використовуються розвиток систем з алгоритмами керування на основі так званій “нечіткій логіці” (Fuzzy Logic). Наприклад, в Японії запатентовано більш ніж 3000 відповідних пристроїв в цій галузі. Слово “фаззи” (fuzzy) стало символом високої якості, популярності та комерційного успіху нових промислових виробів на світовому ринку.

Поясненням широкого використання нечіткої логіки і, відповідно, нечіткого керування є наступні обставини. По-перше, нечітка логіка підтримує розробку швидкого прототипу технічного пристрою з подальшим ускладненням його функціональності. По-друге, нечітка логічна модель простіша для розуміння, ніж аналогічна математична модель на основі диференціальних або різницевих рівнянь. По-третє, нечіткі моделі виявляються простішими для своєї апаратної реалізації в порівнянні з класичними алгоритмами керування технічними системами.

На шляху розвитку нечітких систем прийнято виділяти три періоди. Перший період (кінець 1960 – початок 1970-х років) характеризується розвитком теоретичного апарату нечітких множин. В другому періоді (70–80-ті роки) з’являються перші практичні результати в галузі нечіткого керування складними технічними системами (парогенератор з нечітким керуванням). Одночасно приділяється увага питанням створення експертних систем, побудованих на нечіткій логіці, розробки нечітких контролерів. Нарешті, в третьому періоді, який триває з кінця 80-х років до сьогодні, з’являються пакети програм для побудови експертних систем, а області використання нечіткої логіки значно розширилися. Вона використовується в автомобільній, аерокосмічній і транспортній промисловості, в електропобутовій техніці, в сфері фінансів, аналізу та прийняття рішень управління.

Математичний апарат. Характеристикою нечіткої множини являється функція приналежності (Membership Function). Позначимо як $MF_C(x)$ – ступінь приналежності до нечіткої множини C , що являє собою узагальнення поняття характеристичної функції звичайної множини. Тоді нечіткою множиною C буде множина упорядкованих пар виду $C = \{MF_C(x)/x\}$, $MF_C(x) \in [0,1]$. Значення $MF_C(x) = 0$ означає відсутність належності до множини, $MF_C(x) = 1$ – повну належність.

Проілюструємо це на простому прикладі. Формалізуємо неточне визначення “гарячий чай”. Як x (область міркувань) буде виступати шкала температури в градусах Цельсія. Очевидно, що вона буде змінюватися від 0 до 100 °С. Нечітка множина для поняття “гарячий чай” може мати вигляд:

$$C = \{0/0; 0/10; 0/20; 0,15/30; 0,30/40; 0,60/50; 0,80/60; 0,90/70; 1/80; 1/90; 1/100\}.$$

Отже, чай температурою 60 °С відносять до множини “гарячий” зі ступенем приналежності 0,80. Для однієї людини чай температурою 60 °С може виявитися гарячим, для іншої – не надто гарячим. Саме в цьому і проявляється нечіткість завдання відповідної множини.

Логічні операції з нечіткими висловлюваннями. Нечітке висловлювання-пропозиція, відносно якої робиться висновок про ступінь істинності або хибності в теперішній час. Ступінь істинності приймає значення з діапазону $[0, 1]$. Для нечітких висловлювань визначені логічні операції на основі класичного максимумного підходу, реалізованого в так званих трикутних нормах (t -норми) та конормах (s -норми), серед яких основними, необхідними для розрахунків, є **кон’юнкція** – нечітке логічне “І”:

$$T(A \wedge B) = \min\{T(A), T(B)\}, \quad (6.49)$$

тобто ступінь істинності кон’юнкції висловлювань (A, B) збігається зі ступенем істинності менш істинного висловлювання;

– **алгебраїчний здобуток** ступенів істинності кон’юнкції нечітких висловлювань:

$$T(A \wedge B) = T(A) \cdot T(B), \quad (6.50)$$

– **диз’юнкція** – нечітке логічне “АБО”

$$T(A \vee B) = \max \{T(A), T(B)\}, \quad (6.51)$$

тобто ступінь істинності диз’юнкції висловлювань збігається зі ступенем істинності більш істинного висловлювання;

– **алгебраїчна сума** ступенів істинності диз’юнкцій нечітких висловлювань:

$$T(A \vee B) = T(A) + T(B) - T(A) \cdot T(B). \quad (6.52)$$

Для опису нечіткої множини вводяться поняття нечіткої і лінгвістичної змінних. **Нечітка змінна** описується набором (α, X, A) , де α – це назва змінної, X – універсальна множина (область міркувань), A – нечітка множина на X . Значеннями лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні, тобто лінгвістична змінна знаходиться на більш високому рівні, ніж нечітка змінна. Кожна **лінгвістична змінна** складається з:

- назви β ;
- множини своїх значень, яка також називається базовою терм-множиною T . Елементи T є назвами нечітких змінних;
- універсальної множини X – область визначення нечіткої змінної, яка входить в β ;
- синтаксичної процедури G , за якою генеруються нові терми з використанням слів природної або формальної мови;
- семантичної процедури M , за допомогою якої кожному значенню лінгвістичної змінної ставиться у відповідність нечітка підмножина множини X .

Розглянемо таке нечітке поняття як “Вік людини”. Це є назвою лінгвістичної змінної. Сформуємо для неї базову терм – множину, що складається з трьох нечітких змінних: “Молодий”, “Середній”, “Вище середнього”, і задаємо область міркувань у вигляді $X = [0; 100]$ (років). Останнє, що залишилось зробити – побудувати **функції приналежності** для кожного лінгвістичного терму з базової терм-множини T .

Серед типових форм кривих для завдання функцій приналежності найбільш розповсюджені трикутна, трапецоїдна і Гауса (рис. 6.57).

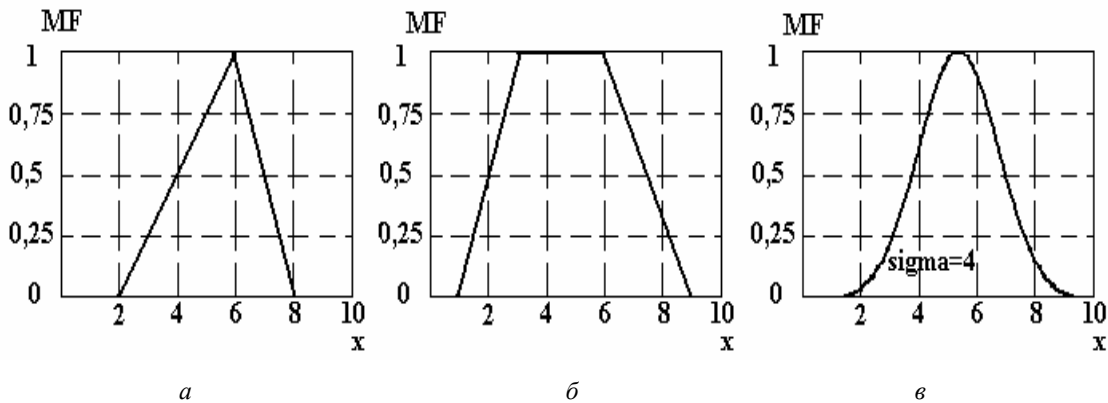


Рис. 6.57 – Типові форми функцій приналежності: *a* – трикутна; *b* – трапецоїдна; *c* – Гауса

Трикутна функція приналежності (рис. 6.57, *a*) визначається трійкою чисел (a, b, c) . Її значення в точці x розраховується за виразом:

$$MF(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (6.53)$$

Якщо $(b - a) = (c - a)$, отримаємо симетричну трикутну функцію приналежності, яка може бути однозначно задана двома параметрами з трійки (a, b, c) .

Для завдання трапецієдної функції (рис. 6.57, б) необхідна четвірка чисел (a, b, c, d) :

$$MF(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (6.54)$$

Якщо $(b - a) = (d - c)$, отримаємо симетричну трапецієдну функцію. Функція приналежності Гауса (рис. 6.57, в) описується формулою:

$$MF(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-c}{2\sigma} \right)^2 \right]$$

та оперує двома параметрами: параметр c визначає центр нечіткої множини, параметр σ відповідає за крутість функції.

Сукупність функцій приналежності для кожного терму з базової терм-множини T звичайно зображуються разом на одному графіку (рис. 6.58). Так, для людини 48 років ступінь приналежності до множини “Молодий” дорівнює 0, “Середній” – 0,47; “Вище середнього” – 0,20.

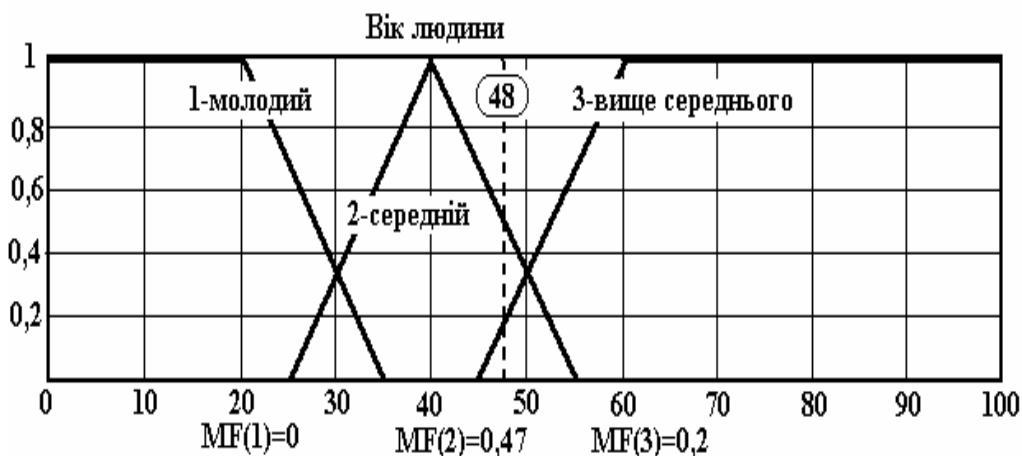


Рис. 6.58 – Опис лінгвістичної змінної “Вік людини”

Кількість термів в лінгвістичній змінній рідко перевищує 7.

6.6.2. Системи нечіткого виведення

Нечітке виведення займає центральне місце в нечіткій логіці та системах нечіткого виведення. Процес нечіткого виведення являє собою деяку процедуру або алгоритм отримання загальних нечітких висновків на основі окремих нечітких умов, які сформульовані у вигляді нечітких висловлювань відносно значень лінгвістичних змінних.

Нечіткі лінгвістичні висловлювання можуть бути трьох видів:

1) висловлювання “ $\beta \in \alpha$ ”, де α – значення відповідне окремому лінгвістичному терму з базової терм-множини T лінгвістичної змінної β ;

2) висловлювання “ $\beta \in \nabla \alpha$ ”, де ∇ – модифікатор відповідний таким словам, як “ДУЖЕ”, “БІЛЬШЕ АБО МЕНШЕ”, “БАГАТО БІЛЬШЕ” та іншим, які можуть бути отримані з використанням процедур G і M даної лінгвістичної змінної;

3) складені висловлювання, які створені з висловлювань видів 1 та 2 і нечітких логічних операцій у вигляді відношень “І”, “АБО”, “ЯКЩО–ТО”, “НІ”.

Правила нечітких продукцій. Основною особливістю нечітких правил в системах нечіткого виведення є те, що умови і висновки окремих нечітких правил формулюються у вигляді нечітких висловлювань виду 1...3 відносно значень тих чи інших лінгвістичних змінних. Найбільш поширений варіант правила нечіткої продукції записується так:

$$\text{ПРАВИЛО}\langle\#\rangle: \text{ЯКЩО } “\beta_1 \in \alpha” \text{, ТО } “\beta_2 \in \alpha'” \text{,} \quad (6.55)$$

де висловлювання “ $\beta_1 \in \alpha$ ” – умова цього правила нечіткої продукції; “ $\beta_2 \in \alpha'$ ” – нечіткий висновок (вважається, що $\beta_1 \neq \beta_2$).

Наведемо інші варіанти запису правил нечіткої продукції:

$$\text{ПРАВИЛО}\langle\#\rangle: \text{ЯКЩО } “\beta_1 \in \alpha” \text{ І } “\beta_2 \in \alpha'” \text{, ТО } “\beta_3 \in \nu”$$

або

$$\text{ПРАВИЛО}\langle\#\rangle: \text{ЯКЩО } “\beta_1 \in \alpha” \text{ АБО } “\beta_2 \in \alpha'” \text{, ТО } “\beta_3 \in \nu” \quad (6.56)$$

де висловлювання “ $\beta_1 \in \alpha$ ”, “ $\beta_2 \in \alpha'$ ” – підумови правила; “ $\beta_3 \in \nu$ ” – висновок складеного правила ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$).

$$\text{ПРАВИЛО}\langle\#\rangle: \text{ЯКЩО } “\beta_1 \in \alpha” \text{ ТО } “\beta_2 \in \alpha'” \text{ І } “\beta_3 \in \nu”$$

або

$$\text{ПРАВИЛО}\langle\#\rangle: \text{ЯКЩО } “\beta_1 \in \alpha” \text{ ТО } “\beta_2 \in \alpha'” \text{ АБО } “\beta_3 \in \nu” \text{,} \quad (6.57)$$

де висловлювання “ $\beta_2 \in \alpha'$ ”, “ $\beta_3 \in \nu$ ” – підвисновки цього правила нечіткої продукції ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$).

Основні етапи нечіткого виведення. Системи нечіткого виведення (СНВ) широко використовуються для керування технічними пристроями і процесами. Створювання та використання СНВ включає в себе низку етапів, реалізація яких виконується за допомогою основних положень нечіткої логіки.

Інформацією, що надходить на вхід СНВ, являються виміряні деяким чином вхідні змінні, що відповідні реальним змінним процесу керування. Інформація, що формується на виході СНВ, відповідає вихідним змінним, які являються керуючими змінними процесу керування. СНВ призначені для перетворення значень змінних процесу керування у вихідні змінні на основі використання правил нечіткої продукції.

У загальному випадку механізм нечіткого виведення включає шість етапів: формування бази правил СНВ; фазифікація змінних; агрегування підумов; нечітких правилах продукції; активізація або композиція підвисновків; акумулювання висновків нечітких правил продукції та дефазифікація кожної вихідної змінної.

Формування бази правил системи нечіткого виведення. База правил СНВ призначена для формального представлення емпіричних знань або знань експертів проблеми, що досліджується. База правил нечіткої продукції – це сукупність правил, в яких умови і висновки сформульовані в термінах нечітких лінгвістичних висловлювань.

База правил містить кінцеву множину нечіткої продукції у вигляді “Якщо–То” та функції приналежності для відповідних лінгвістичних термів, і подається в формі структурованого тексту:

$$\begin{aligned} \text{Правило}_1: & \text{ЯКЩО “Умова}_1” \text{ ТО “Висновок}_1” (F_1) \\ \text{Правило}_2: & \text{ЯКЩО “Умова}_2” \text{ ТО “Висновок}_2” (F_2) \end{aligned} \quad (6.58)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\text{Правило}_n: \text{ЯКЩО “Умова}_n” \text{ ТО “Висновок}_n” (F_n),$$

де $F_i (i \in \{1, 2, \dots, n\})$ – вагові коефіцієнти відповідних правил. Вони можуть приймати значення від 0 до 1.

Таким чином, під час формування бази правил необхідно визначити множину правил нечіткої продукції $P = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ у вигляді (6.58), множину вхідних лінгвістичних змінних $V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ та множину вихідних лінгвістичних змінних $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j\}$. База правил нечіткої продукції вважається заданою, якщо задані множини P, V, W .

Вхідна $\beta_i \in V$ або вихідна $w_j \in W$ лінгвістична змінна вважається заданою або визначеною, якщо для неї визначено базова терм – множина з відповідними функціями приналежності MF кожного терму, а також дві процедури G й M . Найбільш розповсюджений опис функцій приналежності термів за формулами (6.53) або (6.54). При цьому для зручності запису використовують спеціальні скорочення для найменування окремих термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Загальноприйняті скорочення для значень основних термів лінгвістичних змінних у системах нечіткого виведення

Символічне позначення	Англомовна нотація	Україномовна нотація
NB	Negative Big	Від’ємне велике
NM	Negative Middle	Від’ємне середнє
NS	Negative Small	Від’ємне мале
ZN	Zero Negative	Від’ємне близьке до нуля
Z	Zero	Нуль, близьке до нуля
ZP	Zero Positive	Додатне близьке до нуля
PS	Positive Small	Додатне мале
PM	Positive Middle	Додатне середнє
PB	Positive Big	Додатне велике

Фазифікація (Fuzzification) – введення нечіткості. Метою етапу є встановлення відповідності між конкретним (зазвичай – чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виведення та значенням функції приналежності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної.

Формально процедура фазифікації виконується наступним чином. Перед початком цього етапу відомі конкретні значення всіх вхідних змінних СНВ, тобто множина значень $V' = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, в якій кожне $a_i \in X_i$, де X_i – універсум лінгвістичної змінної β_i . Значення a_i отримані або від датчиків, або іншим, зовнішнім щодо СНВ способом. Далі розглядається кожна підумова вигляду “ $\beta_i \in \alpha'$ ” правил нечіткого виведення, де α' – деякий терм з відомою функцією приналежності $MF(x)$. При цьому значення a_i використовується як аргумент $MF(x)$, і знаходиться кількісне значення $b'_i = MF(a_i)$. Це значення і є результатом фазифікації підумови “ $\beta_i \in \alpha'$ ”.

Етап фазифікації вважається закінченим, якщо знайдені всі значення $b'_i = MF(a_i)$ для кожної підумови всіх правил системи нечіткого виведення. Цю множину значень позначимо як $B = \{b'_i\}$.

Агрегатування (Aggregation) – процедура визначення ступеня істинності умов кожного з правил системи нечіткого виведення.

Розглядається кожна умова правил СНВ. Якщо умова правила записана у виді 1 або 2, то ступінь його істинності дорівнює відповідному значенню b'_i . Якщо умова складається з декількох підумов (6.56), то ступінь істинності визначається як результат нечіткої кон'юнкції за формулами (6.49), (6.50), а нечіткої диз'юнкції – (6.51), (6.52). При цьому значення b'_i використовуються в якості аргументів відповідних логічних операцій і знаходяться кількісні значення істинності всіх умов правил СНВ.

Етап агрегатування вважається закінченим, якщо знайдені всі значення ступенів істинності b''_i для кожного правила R_i бази P системи нечіткого виведення. Цю множину значень позначимо як $B' = \{b''_i\}$.

Активізація (Activation) – процес знаходження ступеня істинності кожного підвисновку правил нечіткої продукції.

Якщо висновок правила подано у вигляді (6.55) або (6.56), то ступінь його істинності дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення b''_i на ваговий коефіцієнт F_i правила (не заданий ваговий коефіцієнт вважається рівним 1). Якщо висновок має вигляд (6.57), причому лінгвістичні змінні в під висновках попарно не рівні одна одній, то ступінь істинності кожного з них дорівнює алгебраїчному добутку відповідного значення b''_i на коефіцієнт F_i . Так знаходяться всі значення c_k ступенів істинності під висновків для кожного правила R_i . Після знаходження множини $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, де q – загальна кількість підвисновків в базі правил, визначаються функції приналежності кожного з підвисновків для вихідних лінгвістичних змінних, що розглядаються. Для чого використовують методи, які є модифікацією того чи іншого методу нечіткої композиції.

$$\text{min – активізація } \mu'(y) = \min\{c_i, MF(y)\}; \quad (6.59)$$

$$\text{prod – активізація } \mu'(y) = c_i \cdot MF(y); \quad (6.60)$$

$$\text{average – активізація } \mu'(y) = 0,5 \cdot (c_i + MF(y)); \quad (6.61)$$

де $MF(y)$ – функція приналежності терму, який є значенням деякої вихідної змінної w_j , що задана універсумом Y .

Акумуляція (Accumulation) являє собою процедуру знаходження функції приналежності кожної вихідної лінгвістичної змінної множини $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j\}$. Виконується з метою об'єднання всіх ступенів істинності висновків (підвисновків) для отримання функції приналежності кожної вихідної змінної, тому що підвисновки, що відносяться до одної і тієї лінгвістичної змінної, приналежать до різних правил.

На основі відомих значень істинності всіх підвисновків для кожного правила послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $w_j \in W$ і об'єднуються нечіткі множини $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$, що відносяться до неї. Етап акумуляції вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові функції приналежності нечітких множин їх значень C'_1, C'_2, \dots, C'_s , де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил.

Дефазифікація (Defuzzification) являє собою процедуру знаходження звичайного (не нечіткого) значення кожної вихідної лінгвістичної змінної множини $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j\}$. Виконавчі механізми, що використовуються в системах керування, здатні прийняти команди у формі кількісних значень відповідних змінних керування. Саме за цією причиною необхідно перетворювати нечіткі множини в деякі конкретні значення змінних.

Послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $w_j \in W$ та нечітка множина C'_j , яка відноситься до неї. Визначаються у вигляді кількісного значення $y_j \in R$ за одним з методів дефазифікації.

Метод центра тяжіння (Centre of Gravity, COG) розраховується за формулою:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot MF(x) dx}{\int_{\min}^{\max} MF(x) dx}, \quad (6.62)$$

де y – результат дефазифікації; x – змінна відповідна вихідної лінгвістичної змінної w_j ; $MF(x)$ – функція приналежності нечіткої множини, яка відповідна вихідної змінної w_j після етапу акумуляції; \min та \max – ліва та права точки інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної w_j .

За цим методом значення вихідної змінної дорівнює абсцисі центра тяжіння площі, обмеженої графіком кривої функції приналежності відповідної вихідної змінної.

Метод центра площі (Centre of Area, COA). Центр площі дорівнює $y = u$, де значення u знаходиться з рішення рівняння:

$$\int_{\min}^u MF(x) dx = \int_u^{\max} MF(x) dx \quad (6.63)$$

Тобто, центр площі дорівнює абсцисі, яка поділяє площу, що обмежена графіком кривої функції приналежності відповідної вихідної змінної, на дві рівні частини. Іноді центр площі називають бісектрисою площі.

Алгоритми нечіткого виведення розрізняються головним чином видом правил, що використовуються, логічних операцій та різновидом методу дефазифікації.

Формально, наприклад, **алгоритм Мамдані** може бути визначеним наступним чином:

– формування бази правил систем нечіткого виведення. Виконання етапу збігається з розглянутим раніше;

– фазифікація вхідних змінних. Виконання етапу збігається з розглянутим раніше;

– агрегування підумов в нечітких правилах продукції. Для знаходження ступеня істинності умов кожного з правил нечіткої продукції використовуються парні нечіткі логічні операції. Ті правила, ступінь істинності яких відрізняється від нуля, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків;

– активізація підвисновків в нечітких правилах продукції. Здійснюється за формулою (6.59), при цьому для скорочення часу виведення враховуються тільки активні правила нечітких продукцій;

– акумулювання висновків нечітких правил продукції. Здійснюється за формулою (6.47) для об'єднання нечітких множин, що відповідають термам підвисновків, які відносяться до одних і тих самих вихідних лінгвістичних змінних;

– дефазифікація вихідних змінних. Традиційно використовується метод центра тяжіння (6.62) або метод центра площі (6.63).

Під час рішення практичних задач нечіткого моделювання можуть одночасно використовуватися декілька алгоритмів нечіткого виведення з метою отримання найбільш адекватних результатів.

6.6.3. Використання систем нечіткого виведення в задачах керування

Одним з основних напрямів практичного використання систем нечіткого виведення є рішення задач керування різними об'єктами або процесами. В цьому випадку побудова нечіткої моделі ґрунтується на формальному уявленні характеристик досліджуваної системи в тер-

мінах лінгвістичних змінних. Оскільки крім алгоритму керування, основними поняттями систем керування є вхідні та вихідні змінні, то саме вони розглядаються як лінгвістичні змінні під час формування баз правил в системах нечіткого виведення.

Модель нечіткого керування ґрунтується на замінюванні класичної системи керування системою нечіткого керування, в якості якої використовуються системи нечіткого виведення. Модель нечіткого керування (рис. 6.59) будується з врахуванням необхідності реалізації всіх етапів нечіткого виведення згідно обраному алгоритму.

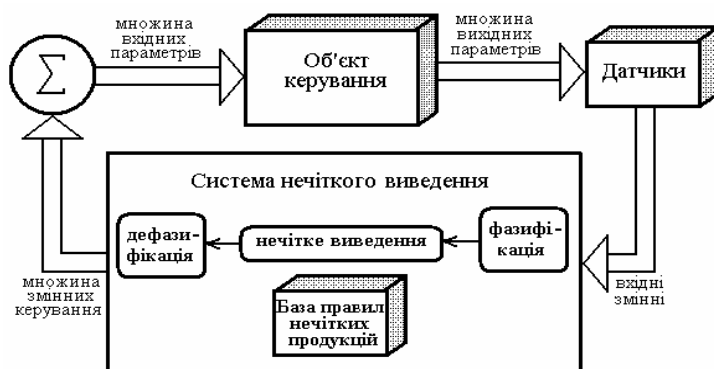


Рис. 6.59 – Модель нечіткого керування

Таким чином, під нечітким керуванням (Fuzzy Control) розуміється область використання загальної методології теорії нечітких множин і нечіткої логіки для вирішення практичних задач керування. Нечітке керування виникло як технологія, що здатна розширити можливості автоматизації виробництва і призначена для вирішення прикладних задач в галузі керування, які в загальному випадку можуть бути реалізовані за допомогою контролерів, що програмуються.

Розглянемо приклад побудови моделі системи нечіткого керування.

Нечітка модель керування побутовим кондиціонером повітря. В приміщенні встановлений побутовий кондиціонер, який дозволяє охолоджувати або нагрівати повітря в цьому приміщенні. Найбільш комфортні умови в приміщенні створюються при деякій стабільній температурі повітря. Через те, що температура оточуючого середовища зовні приміщення змінюється протягом доби та значно залежить від погодних умов, дестабілізується температура повітря і в приміщенні, що призводить до необхідності ручного регулювання режиму роботи побутового кондиціонера. Задача полягає в створенні автоматичного регулювання кондиціонера для забезпечення постійної температури повітря в приміщенні (рис. 6.60). Припустимо, що в якості алгоритму нечіткого виведення використовується алгоритм Мамдані.

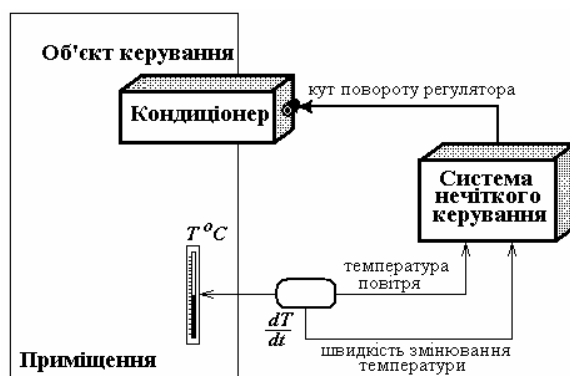


Рис. 6.60 – Ілюстрація моделі нечіткого керування побутовим кондиціонером

Змістовна постановка задачі. Досвід використання побутових кондиціонерів доводить, що процес охолодження або нагрівання повітря в приміщенні володіє деякою інерційністю, а саме, після вмикання режиму “Холод” відбувається нагнітання холодного повітря, в зв’язку з чим температура повітря поступово знижується. При цьому в момент відключення цього режиму температура продовжує спадати протягом невеликого, але кінцевого проміжку часу. Те ж саме спостерігається під час включення і відключення режиму “Тепло”. Припустимо, що в моделі кондиціонера, яка розглядається, вмикання режиму “Холод” здійснюється поворотом регулятора ліворуч, а режиму “Тепло” – праворуч відносно деякої точки, в якій кондиціонер вимкнений.

Для врахування цієї особливості процесу керування та вилучення додаткових витрат, пов’язаних з частим вмиканням і вимиканням вказаних режимів, необхідно розглядати в якості вихідного параметра не тільки температуру повітря в приміщенні, але й швидкість її зміни. У цьому випадку емпіричні знання про досліджувану область можуть бути представлені у вигляді **евристичних правил**, що використовуються за ручним регулюванням температури повітря в приміщенні з кондиціонером, якщо температура повітря в приміщенні:

- 1) **дуже тепла**, а швидкість зміни температури **додатна**, то слід включити режим “Холод”, повернувши регулятор кондиціонера на **дуже великий кут ліворуч**;
- 2) **дуже тепла**, а швидкість зміни температури **від’ємна**, то слід включити режим “Холод”, повернувши регулятор кондиціонера на **невеликий кут ліворуч**;
- 3) **тепла**, а швидкість зміни температури **додатна**, то слід включити режим “Холод”, повернувши регулятор кондиціонера на **великий кут ліворуч**;
- 4) **тепла**, а швидкість змінювання температури **від’ємна**, то кондиціонер слід **виключити**;
- 5) **дуже холодна**, а швидкість зміни температури **від’ємна**, то слід включити режим “Тепло”, повернувши регулятор кондиціонера на **дуже великий кут праворуч**;
- 6) **дуже холодна**, а швидкість зміни температури **додатна**, то слід включити режим “Тепло”, повернувши регулятор кондиціонера на **невеликий кут праворуч**;
- 7) **холодна**, а швидкість зміни температури **від’ємна**, то слід включити режим “Тепло”, повернувши регулятор кондиціонера на **великий кут праворуч**;
- 8) **холодна**, а швидкість зміни температури **додатна**, то кондиціонер слід **виключити**;
- 9) **дуже тепла**, а швидкість змінювання температури **дорівнює нулю**, то слід включити режим “Холод”, повернувши регулятор кондиціонера на **великий кут ліворуч**;
- 10) **тепла**, а швидкість зміни температури **дорівнює нулю**, то слід включити режим “Холод”, повернувши регулятор кондиціонера на **невеликий кут ліворуч**;
- 11) **дуже холодна**, а швидкість змінювання температури **дорівнює нулю**, то слід включити режим “Тепло”, повернувши регулятор кондиціонера на **великий кут праворуч**;
- 12) **холодна**, а швидкість зміни температури **дорівнює нулю**, то слід включити режим “Тепло”, повернувши регулятор кондиціонера на **невеликий кут праворуч**;
- 13) в межах **норми**, а швидкість зміни температури **додатна**, то слід включити режим “Холод”, повернувши регулятор кондиціонера на **невеликий кут ліворуч**;
- 14) в межах **норми**, а швидкість зміни температури **від’ємна**, то слід включити режим “Тепло”, повернувши регулятор кондиціонера на **невеликий кут праворуч**;
- 15) в межах **норми**, а швидкість зміни температури **дорівнює нулю**, то кондиціонер слід **виключити**.

Ця інформація використовується під час побудови бази правил системи нечіткого виведення, яка дозволяє реалізувати цю модель нечіткого керування.

Побудова бази нечітких лінгвістичних правил. Для формування бази правил систем нечіткого виведення необхідно попередньо визначити вхідні та вихідні лінгвістичні змінні. Очевидно, в якості однієї з вхідних лінгвістичних змінних слід використовувати температуру повітря в приміщенні x_1 – “**температура повітря**”, а в якості другої вхідної лінгвістичної змінної x_2 – “**швидкість змінювання температури повітря**”. В якості вихідної лінгвістичної

змінної використовуємо кут повороту регулятора вмикання режимів “Холод” і “Тепло” кондиціонера y – “*кут повороту регулятора*”. Для запису правил будемо використовувати загально прийняті скорочення термів вхідних і вихідних змінних (див. табл. 6.1).

Система нечіткого виведення містить 15 правил нечіткої продукції, що подані за формою (6.56), наступного вигляду:

- ПРАВИЛО_1: ЯКЩО “ $x_1 \in PB$ ” І “ $x_2 \in PS$ ” ТО “ $y \in NB$ ”
 ПРАВИЛО_2: ЯКЩО “ $x_1 \in PB$ ” І “ $x_2 \in NS$ ” ТО “ $y \in NS$ ”
 ПРАВИЛО_3: ЯКЩО “ $x_1 \in PS$ ” І “ $x_2 \in PS$ ” ТО “ $y \in NM$ ”
 ПРАВИЛО_4: ЯКЩО “ $x_1 \in NS$ ” І “ $x_2 \in PS$ ” ТО “ $y \in Z$ ”
 ПРАВИЛО_5: ЯКЩО “ $x_1 \in NB$ ” І “ $x_2 \in NS$ ” ТО “ $y \in PB$ ”
 ПРАВИЛО_6: ЯКЩО “ $x_1 \in NB$ ” І “ $x_2 \in PS$ ” ТО “ $y \in PS$ ”
 ПРАВИЛО_7: ЯКЩО “ $x_1 \in NS$ ” І “ $x_2 \in NS$ ” ТО “ $y \in PM$ ”
 ПРАВИЛО_8: ЯКЩО “ $x_1 \in NS$ ” І “ $x_2 \in PS$ ” ТО “ $y \in Z$ ”
 ПРАВИЛО_9: ЯКЩО “ $x_1 \in PB$ ” І “ $x_2 \in Z$ ” ТО “ $y \in NM$ ”
 ПРАВИЛО_10: ЯКЩО “ $x_1 \in PS$ ” І “ $x_2 \in Z$ ” ТО “ $y \in NS$ ”
 ПРАВИЛО_11: ЯКЩО “ $x_1 \in NB$ ” І “ $x_2 \in Z$ ” ТО “ $y \in PM$ ”
 ПРАВИЛО_12: ЯКЩО “ $x_1 \in NS$ ” І “ $x_2 \in Z$ ” ТО “ $y \in PS$ ”
 ПРАВИЛО_13: ЯКЩО “ $x_1 \in Z$ ” І “ $x_2 \in PS$ ” ТО “ $y \in NS$ ”
 ПРАВИЛО_14: ЯКЩО “ $x_1 \in Z$ ” І “ $x_2 \in NS$ ” ТО “ $y \in PS$ ”
 ПРАВИЛО_15: ЯКЩО “ $x_1 \in Z$ ” І “ $x_2 \in Z$ ” ТО “ $y \in Z$ ”

Фазифікація вхідних змінних. В якості терм-множини першої лінгвістичної змінної використовуємо множину $T_1 = \{“дуже холодна”, “холодна”, “в межах норми”, “тепла”, “дуже тепла”\}$ або в символічному вигляді $T_1 = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$ з функціями приналежності, які зображені на рис. 6.61. При цьому температура повітря вимірюється в градусах Цельсія.

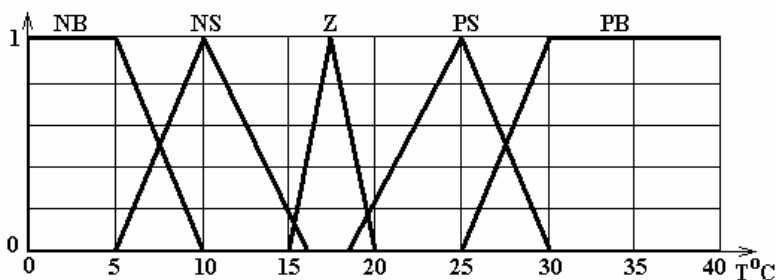


Рис. 6.61 – Графіки функцій приналежності для термів вхідної лінгвістичної змінної “Температура повітря”

В якості терм-множини другої лінгвістичної змінної використовуємо множину $T_2 = \{“від’ємна”, “дорівнює нулю”, “додатна”\}$ або в символічному вигляді $T_2 = \{NS, Z, PS\}$ з функціями приналежності, які зображені на рис. 6.62. Швидкість зміни температури повітря вимірюється в градусах Цельсія за хвилину.

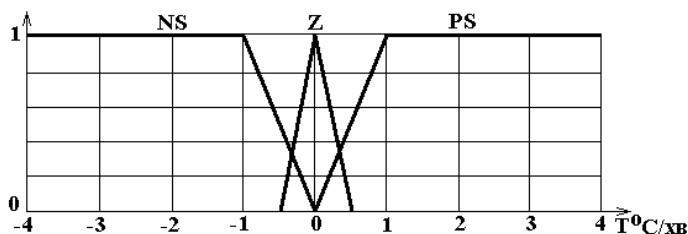


Рис. 6.62 – Графіки функцій приналежності для термів вхідної лінгвістичної змінної “Швидкість зміни температури”

В якості терм-множини вихідної лінгвістичної змінної використовуємо множину $T_3 = \{\text{“дуже великий кут ліворуч”}, \text{“великий кут ліворуч”}, \text{“невеликий кут ліворуч”}, \text{“виключити кондиціонер”}, \text{“невеликий кут праворуч”}, \text{“великий кут праворуч”}, \text{“дуже великий кут праворуч”}\}$ або в символічному вигляді $T_3 = \{\text{NB}, \text{NS}, \text{Z}, \text{PS}, \text{PB}\}$ з функціями приналежності, що зображені на рис. 6.63. Кут повороту регулятора вимірюється в кутових градусах. При цьому поворот регулятора праворуч означає вмикання режиму “Тепло” та позитивний напрямок відліку, а поворот ліворуч – включення режиму “Холод” і негативний напрямок відліку.

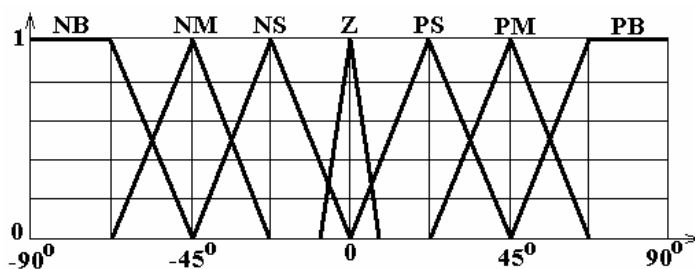


Рис. 6.63 – Графіки функцій приналежності для термів вихідної лінгвістичної змінної “Кут повороту регулятора”

Використовуючи як алгоритм виведення алгоритм Мамдані, розглянемо приклад його виконання за умов поточної температури повітря 20°C та додатної зміни її швидкості $+0,2^\circ\text{C/хв}$.

Фазифікація першої вхідної лінгвістичної змінної дає значення ступеня істинності 0,15 для терму PS, а фазифікація другої нечіткої змінної – значення 0,5 для терму Z та значенню 0,2 для терму PS. Відповідні підумови використовуються в правилах нечіткої продукції з номерами 3 і 10. Ці правила вважаються активними і використовуються в поточному процесі нечіткого виведення.

Агрегування підумов правила 3 дає в результаті число 0,15 та правила 10 – також число 0,15. Наступним етапом нечіткого виведення є активізація висновків в нечітких правилах продукції. Оскільки всі висновки правил 1...5 задані у вигляді нечітких лінгвістичних висловлювань першого виду, а вагові коефіцієнти правил за замовченням дорівнюють 1, то активізація правил 3 і 10 приводить до двох нечітких множин.

Акумулявання висновків нечітких правил продукції з використанням операції max – диз’юнкції (6.03) для правил 3 і 10 призводить у результаті до нечіткої множини, функція приналежності якої зображена на рис. 6.64.

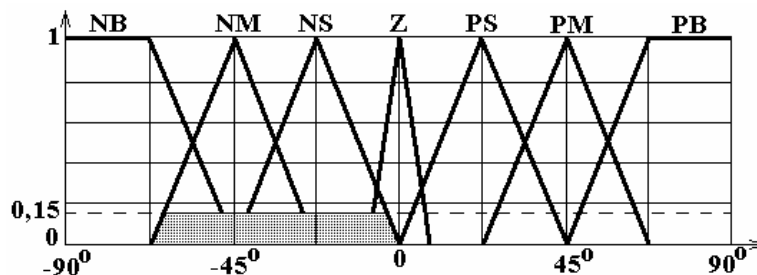


Рис. 6.64 – Графіки функцій приналежності для термів вихідної лінгвістичної змінної “Кут повороту регулятора” після акумулявання

Дефазифікація вихідної лінгвістичної змінної “Кут повороту регулятора” за методом центра площини (6.63) для значень функції приналежності, наведеної на рис. 6.64, дає значення керуючої змінної, яке дорівнює повороту регулятора кондиціонера ліворуч на кут 34° (приблизне значення). Це значення відповідає вмиканню режиму “Холод” на третину своєї потужності та є результатом рішення задачі нечіткого виведення.

Для реалізації алгоритму нечіткого керування розглянутого прикладу необхідно організувати вимірювання температури повітря в приміщенні в деякі дискретні моменти часу. При цьому, чим менший інтервал вимірювання цієї температури, тим вище точність регулювання температури повітря.

Що стосується практичної реалізації власної процедури нечіткого керування, то для цієї мети необхідно використовувати спеціальні нечіткі контролери ПЛК (логічні контролери, що програмуються). Вони мають можливість реалізовувати програму нечіткого виведення, яка записана, наприклад, на мові нечіткого керування або мові FCL (Fuzzy Control Language). Мова FCL створена для представлення нечітких моделей систем керування, зокрема, моделей ПЛК у вигляді структурованого тексту, що може бути інтерпретований як програма на мові високого рівня.

6.6.4. Використання системи Fuzzy Control в пральних машинах

Провідні фірми-виробники пральних машин (наприклад, “Bosch”) широко використовують системи Fuzzy Control для контролю процесів прання, полоскання та віджимання, що дозволяє отримати чисту білизну з мінімальними витратами води, електроенергії та часу.

На відміну від пральних машин з виключно програмним керуванням, де всі дії залежать від заданої користувачем програми, машини з Fuzzy Control виконують додаткові вимірювання деяких параметрів. У відповідності з отриманими результатами пральна машина коректує параметри і операції програми, обраної користувачем.

До параметрів, що контролюються, відносяться тип білизни, що обробляється; кількість білизни; кількість піни; величина дисбалансу. За результатами вимірювання створюються коректувальні дії до направлення і ритму обертання барабана; тривалості виконання програми; необхідної кількості води; оптимальної швидкості віджимання.

Схематично нечітке керування пральною машиною наведено на рис. 6.65.

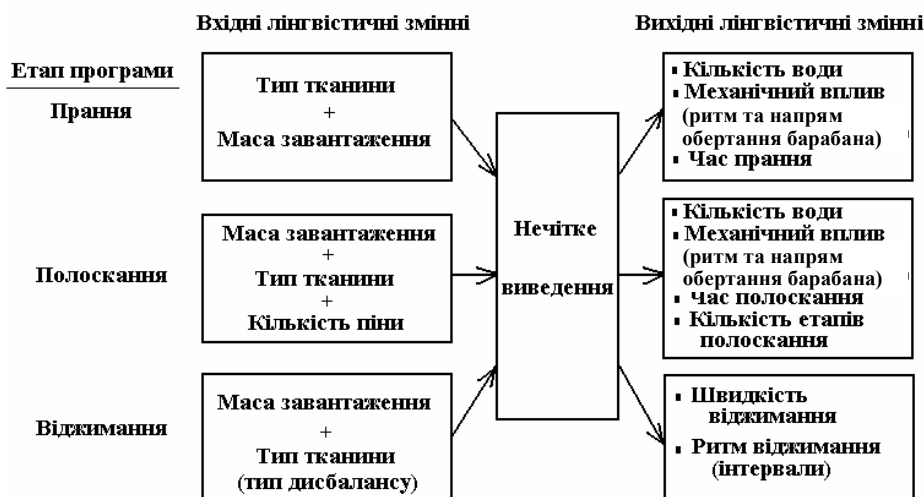


Рис. 6.65 – Схема керування пральною машиною за допомогою Fuzzy Control

Розглянемо приклад керування пральною машиною за допомогою контролера Fuzzy Logic (див. рис. 6.66). На вхід мікропроцесора надходить інформація про ступінь забруднення білизни й тип забруднення. Вихідним параметром є час прання. Інформацію про ступінь і тип забруднення білизни отримують від одного й того ж оптичного датчика прозорості миючого розчину, який розташований в баку пральної машини. Про ступінь забрудненості судять по прозорості миючого розчину: чим нижче забруднення білизни, тим прозоріше вода. “Прозорість розчину” є першим вхідним параметром.



Рис. 6.66 – Схема мікроконтролера системи Fuzzy Logic, що керує роботою пральної машини

Тип забруднення можна характеризувати швидкістю зміни прозорості розчину (тобто, часом його насичення). Жирові забруднення малорозчинні у воді, і їхня концентрація в розчині повільніше виходить на рівень насичення. Забруднення низької жирності розчиняються краще, і розчин у баку пральної машини стає насиченим за коротший проміжок часу. “Час насичення розчину” є другим вхідним параметром.

Виходячи з викладеного, можна побудувати дві функції приналежності: в одному випадку аргументом є ступінь забруднення білизни (рис. 6.67, а), в іншому – тип забруднення (рис. 6.67, б). Як діапазон зміни аргументу приймається інтервал значень від 0 до 100. Значення вихідного параметра “ЧАС ПРАННЯ” (чітка величина, яка вимірюється у хвиликах) визначається за допомогою набору нечітких правил “якщо події відповідають певним вимогам, то повинно бути виконана наступна дія”. Наприклад: “Якщо прозорість розчину низька й час насичення розчину великий, то час прання великий”, або, що те саме: “Якщо ступінь забруднення високий і забруднення жирове, то час прання великий”.

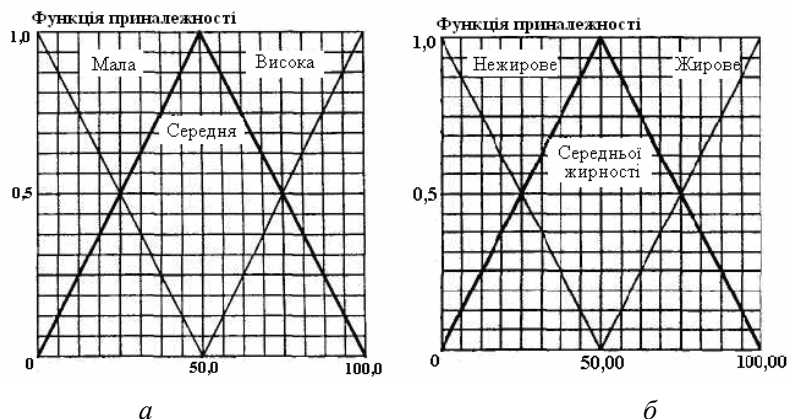


Рис. 6.67 – Функція приналежності для аргументу: а – “ступінь забруднення”; б – “тип забруднення”

У таблиці 6.2 наведені нечіткі правила для пральної машини, в якій відображується залежність часу прання від ступеня і типу забруднення.

Таблиця 6.2

Тип забруднення	Ступінь забруднення		
	Малий	Середній	Високий
Нежирове	Дуже малий	Малий	Середній
Середньої жирності	Середній	Середній	Великий
Жирове	Великий	Великий	Дуже великий

Час прання

У такому вигляді величина (регульований параметр) “Час прання” чітко визначена: дуже велике – 60 хв; велике – 40 хв; середнє – 20 хв; мале – 12 хв; дуже мале – 8 хв.

У цьому прикладі для керування пральної машини розглядається тільки один вихідний параметр “Час прання”. В реальних системах керування роботою пральної машини за подібним принципом можуть розглядатися і інші параметри (“Рівень води”, “Швидкість обертання

при віджиманні” і таке ін.), а серед вхідних параметрів, окрім розглянутих раніше, можуть бути використані “Жорсткість води”, “Завантаження білизни”, “Тип білизни”.

Набір нечітких правил у цьому випадку являє собою багатопараметричну таблицю, згідно з якою приймаються рішення (рис. 6.68).

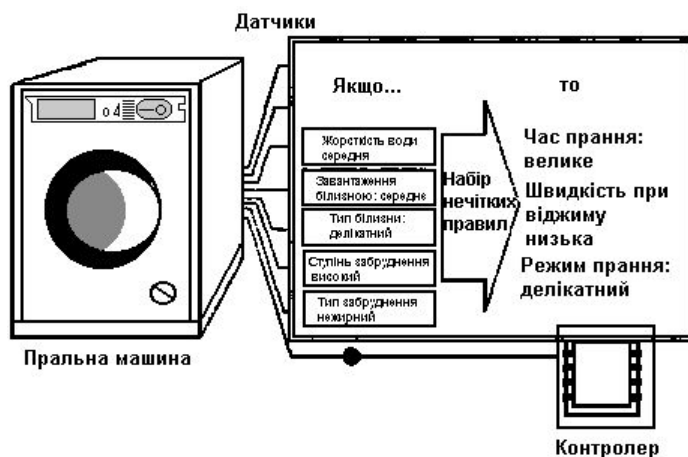


Рис. 6.68 – Прийняття рішень системою керування по набору значень вхідних параметрів

Число можливих варіантів програми прання при цьому може досягати декількох сотень, чим і відзначаються якісні відмінності пральних машин з системою керування Fuzzy Logic від машин з електромеханічними системами керування.

Системи автоматичного керування з використанням принципів “нечіткої логіки” можуть використовуватись при керуванні технологічними процесами в інших виробках ЕПТ (холодильниках, кухонних комбайнах, посудомийних машинах тощо).

6.7. Захист елементів автоматики та навколишнього середовища

Функціонування машин повинно забезпечувати комфортні умови життєдіяльності людини. В той же час в електропобутовій техніці мають місце часті вмикання і вимкання нагрівальних елементів, комутація електричних кіл автоматичними перемикаючими пристроями, що є причиною виникнення радіоперешкод та шумів

Радіоперешкоди та шуми. Радіоперешкоди виникають в електричних колах при різких коливаннях напруги і струму. Інтенсивними джерелами радіоперешкод є колекторні електродвигуни постійного і змінного струмів, які широко використовуються в приводах побутових електроприладів.

Відрізняють короткочасні і тривалі радіоперешкоди. До короткочасних перешкод відносяться радіоперешкоди: тривалістю не більш 0,2 с; кількість імпульсів за хвилину менше 30; кількість імпульсів в будь-якому двох секундному інтервалі не більше 2. Ці радіоперешкоди зазвичай сприймаються при прослуховуванні радіоприймачів у вигляді клацання. Тривалі радіоперешкоди мають вигляд безперервного тріску або виючого тону, що ускладнює радіо і телеприймання. Такі радіоперешкоди мають тривалість більше 1 с.

Безпосереднє джерело радіоперешкод (колекторний електродвигун, командоапарат і таке ін.) зветься елементом, що створює перешкоди. Радіоперешкоди від елемента, який створює радіоперешкоди, і всього електроприладу, в склад якого він входить, розповсюджуються за двома напрямками: електричною мережею живлення, до якої ввімкнений прилад, або безпосереднім випромінюванням в ефір.

Електричною мережею живлення радіоперешкоди розповсюджуються на великі відстані симетрично або несиметрично. При симетричному-перешкоди розповсюджуються обома

дротами мережі живлення, замикаючись через еквівалентний високочастотний опір мережі живлення Z_H (рис. 6.69, *a*).

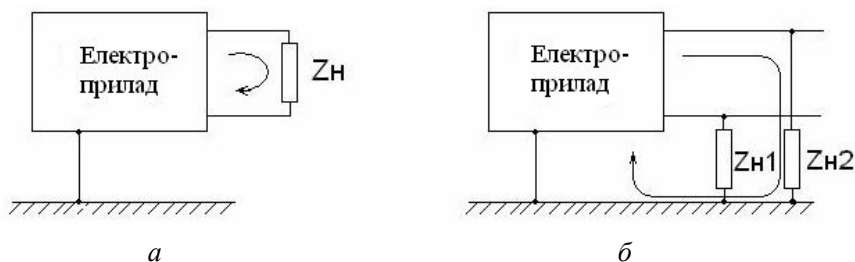


Рис. 6.69 – Схеми розповсюдження радіоперешкод у електричній мережі:
a – симетричне; *б* – несиметричне

При несиметричному розповсюдженні перешкоди розповсюджуються обома дротами мережі живлення і землею, замикаючись через еквівалентні високочастотні опори Z_{H1} , Z_{H2} відносно землі (рис. 6.69, *б*). Розповсюдження радіоперешкод електричною мережею живлення здійснюється найінтенсивніше на низьких радіочастотах, на високих частотах здійснюється випромінювання в ефір. Радіоперешкоди, які створюються побутовими електроприладами, характеризуються двома параметрами: напругою і напруженістю електромагнітного поля. Під напругою радіоперешкод розуміється високочастотна напруга, яка вимірюється між затискачем вмикання зовнішнього провідника і корпусом приладу. Під напруженістю електромагнітного поля розуміється напруженість електромагнітного поля високої частоти, створювана в результаті роботи побутового електроприладу. Рівні значень напруги і напруженості поля радіоперешкод вимірюються в децибелах (дБ).

Рівень радіоперешкод, що створюються колекторними електродвигунами постійного і змінного струмів, зазвичай перевищує граничнодопустимий, тому необхідно приймати додаткові заходи для зниження їх рівня. Для боротьби з радіоперешкодами використовуються три основні методи:

- 1) збільшення навантаження на джерело радіоперешкод як на генератор високої частоти шляхом вмикання паралельно джерелу перешкод конденсаторів, реактивний опір яких зменшується пропорційно частоті;
- 2) збільшення внутрішнього опору джерела перешкод шляхом послідовного вмикання високочастотних дроселів, реактивний опір яких збільшується пропорційно частоті;
- 3) екранування джерела радіоперешкод.

Наведені методи боротьби з радіоперешкодами застосовуються незалежно один від одного або в різноманітних комбінаціях. Застосування перших двох методів дозволяє зменшити рівень радіоперешкод як за напругою, так і за напруженістю поля, а третій метод дозволяє знизити тільки рівень напруженості поля радіоперешкод.

Для заглушення радіоперешкод використовуються радіоподібні пристрої. Для вивчення і розрахунку таких пристроїв джерело радіоперешкод подається у вигляді генератора високої частоти з електрорушійною силою E , який має внутрішній опір Z_i й навантажений еквівалентним високочастотним опором електричної мережі Z_H (див. рис. 6.70, *a*).

Напруга радіоперешкод U_H , у цьому випадку розраховується за формулою:

$$U_H = \frac{E \cdot Z_H}{Z_i + Z_H}. \quad (6.64)$$

Перешкодозахисні пристрої (фільтри) поділяють на декілька груп: ємнісні фільтри, які складаються з одного конденсатора або комбінації декількох; індуктивні фільтри з одним або декількома дроселями; індуктивно-ємнісні фільтри, які складаються з комбінації дроселів і конденсаторів; комбіновані фільтри, які є комбінацією з перших трьох груп фільтрів.

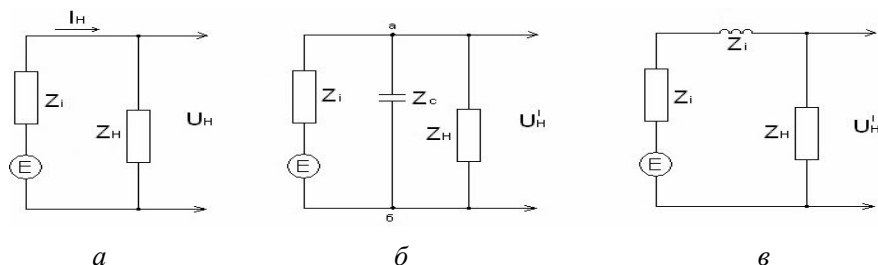


Рис. 6.70 – Схеми вмикання джерела радіоперешкод:
***a* – без перешкодзахисних пристроїв; *б* – з паралельно ввімкненим конденсатором;**
***в* – з послідовно ввімкненим дроселем**

На рис. 6.70, *б* зображена схема найпростішого ємнісного фільтра, який складається з одного конденсатора, ввімкненого паралельно джерелу перешкод. Опір кола між точками *a* і *б* визначається з виразу:

$$Z_a = \frac{Z_H Z_C}{Z_H + Z_C}, \quad (6.65)$$

де Z_C – опір конденсатора.

Загальний опір кола $Z_{заг}$ розраховується за формулою:

$$Z_{заг} = Z_i + \frac{Z_H Z_C}{Z_H + Z_C}. \quad (6.66)$$

Струм, що протікає через джерело радіоперешкод, визначається як:

$$I = \frac{E}{Z_{заг}} = \frac{E}{Z_i + \frac{Z_H Z_C}{Z_H + Z_C}}, \quad (6.67)$$

Враховуючи вирази (6.65) і (6.67), напруга радіоперешкод U'_H на виході електричного кола з врахуванням ємнісного фільтра дорівнює:

$$U'_H = I \cdot Z_a = \frac{E \cdot Z_H \cdot Z_C / (Z_H + Z_C)}{Z_i + \frac{Z_H Z_C}{Z_H + Z_C}}. \quad (6.68)$$

Ефективність дії перешкодзахисних фільтрів характеризується коефіцієнтом зменшення рівня радіоперешкод K_{Π} , який показує відношення напруги радіоперешкод U_H при відсутності фільтра до напруги радіоперешкод U'_H за наявності фільтра.

Коефіцієнт радіоперешкод K_{Π} з врахуванням (6.64) і (6.68) запишемо у вигляді:

$$K_{\Pi} = \frac{U_H}{U'_H} = \frac{Z_i + Z_H Z_C / (Z_H + Z_C)}{(Z_i + Z_H) Z_C / (Z_H + Z_C)}$$

або після перетворень:

$$K_{\Pi} = 1 + \frac{Z_i Z_H}{Z_C (Z_i + Z_H)}. \quad (6.69)$$

Якщо конденсатор має чисто ємнісний опір, то $Z_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ і вираз (6.69) матиме вигляд:

$$K_{\Pi} = 1 + \frac{Z_i Z_H \cdot \omega \cdot C}{Z_i + Z_H}, \quad (6.70)$$

де ω – частота радіоперешкод; C – ємність конденсатора.

З виразу (6.70) зрозуміло, що ефективність подолання радіоперешкод конденсатором, ввімкненим паралельно їх джерелу, зростає зі збільшенням частоти останніх.

Схема найпростішого індуктивного фільтра з одного дроселя, ввімкненого послідовно з джерелом радіоперешкод, наведена на рис. 6.70, в. Струм, який протікає в колі джерела радіоперешкод, визначається як:

$$I = \frac{E}{Z_i + Z_L + Z_H}.$$

Тоді напруга радіоперешкод в електричному колі з послідовно включеним дроселем визначається із виразу:

$$U'_H = \frac{EZ_H}{Z_H + Z_L + Z_i}, \quad (6.71)$$

Коефіцієнт зменшення рівня радіоперешкод визначається за формулами (6.64) і (6.71)

$$K_{\Pi} = \frac{U_H}{U'_H} = \frac{Z_H + Z_L + Z_i}{Z_H + Z_i} = 1 + \frac{Z_L}{Z_H + Z_i}$$

або, враховуючи, що $Z_L = \omega L$:

$$K_{\Pi} = 1 + \frac{\omega L}{Z_i + Z_H}, \quad (6.72)$$

де L – індуктивність котушки.

З виразу (6.72) зрозуміло, що ефективність заглушення радіоперешкод дроселем, ввімкненим послідовно їх джерелу, теж зростає зі збільшенням частоти останніх.

Аналізуючи вирази (6.70) і (6.72), можна зробити висновок, що використання конденсаторів ефективно при великих значеннях опорів Z_i і Z_H , а дроселя – при малих. В ємнісному фільтрі (рівняння (6.70)) при рівності нулю одного з опорів Z_i і Z_H коефіцієнт зменшення рівня радіоперешкод дорівнює одиниці. Зі збільшенням Z_i і Z_H другий член правої частини рівняння (6.70) відрізняється від нуля, і коефіцієнт K_{Π} зростає.

В схемі з індуктивним фільтром при рівності значень опорів Z_i і Z_H нескінченності другий член правої частини рівняння (6.72) дорівнюватиме нулю, а коефіцієнт зменшення рівня напруги радіоперешкод – одиниці. Зі зменшенням опорів Z_i і Z_H коефіцієнт K_{Π} зростатиме, відповідно зростатиме і ефективність захисту.

Під час вивчення конденсаторних фільтрів передбачалося, що опір їх має чисто ємнісний характер і змінюється зворотно пропорційно частоті. В реальних конденсаторах, окрім ємнісної складової, є активні і індуктивні складові. Активна складова обумовлена втратами в діелектрику, а індуктивна складова – індуктивністю конденсаторних секцій, виводів і монтажних дротів. Повний опір конденсатора визначається із виразу:

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + \left(\omega L_C - \frac{1}{\omega C_C} \right)^2},$$

де R_C – активна складова опору конденсатора; L_C – індуктивність конденсатора; C_C – ємність конденсатора; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота; f – частота джерела радіоперешкод.

Зі збільшенням частоти джерела радіоперешкод індуктивна складова опору $X_{LC} = \omega L_C$, зростає, а ємнісна складова $X_{CC} = \frac{1}{\omega C_C}$ зменшується. При рівності значень складових X_{LC} та X_{CC} повного опору Z_C настає послідовний резонанс, частота якого дорівнює:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_c C_c}}.$$

Повний опір конденсатора на частоті резонансу дорівнює активній складовій R_C і має максимальне значення. Для отримання найбільшої ефективності заглушення радіоперешкод ємність конденсатора необхідно обирати таким чином, щоб частота резонансу знаходилась в середині того діапазону, який захищається.

Дроселі, як і конденсатори, є одними з основних елементів, які використовуються в схемах зменшення радіоперешкод, що створюються побутовими електроприладами. Під час розгляду дроселя як перешкодозахисного пристрою припускалось, що він має чисто індуктивний опір. Реальний дросель крім індуктивного опору має активну і ємнісну складові опору. Повний опір дроселю запишеться у вигляді:

$$Z_L = \sqrt{\frac{R_L^2 \omega^2 L_L^2}{(1 - \omega^2 L_L C_L)^2 + \omega^2 R_L^2 C_L^2}},$$

де R_L – активна складова опору дроселя; L_L – індуктивність дроселя; C_L – ємність дроселя.

Із зростанням частоти джерела радіоперешкод індуктивна складова опору дроселя $X_L = \omega L_L$ зростає, а ємнісна $X_C = 1/\omega C_L$ зменшується. При рівності значень індуктивної і ємнісної реактивної складових настає паралельний резонанс, частота якого дорівнює:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_L C_L}} \sqrt{\frac{L_L / C_L - R_L^2}{L_L / C_L}}.$$

Повний високочастотний опір дроселя при частоті резонансу має максимальне значення:

$$Z_L = \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2}.$$

Для найбільшої ефективності захисту від радіоперешкод необхідно обирати параметри дроселя таким чином, щоб частота резонансу знаходилась в середині діапазону, який захищається.

В електропобутовій техніці широко застосовуються послідовні і паралельні схеми включення конденсаторів і дроселів як окремо, так і в поєднаннях, що забезпечують ефект заглушення радіоперешкод. Типові схеми перешкодозахисних пристроїв для зменшення рівня симетричних та несиметричних радіоперешкод наведені на рис. 6.71.

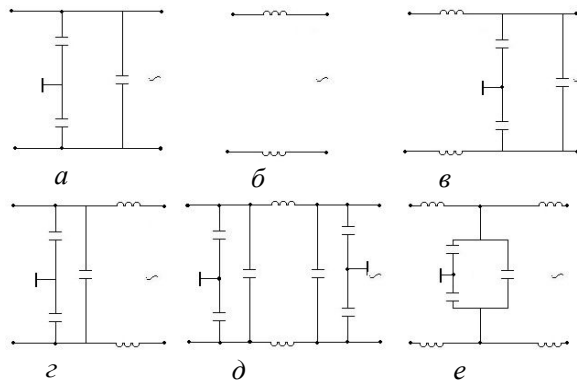


Рис. 6.71 – Типові схеми перешкодозахисних фільтрів:

a – ємнісний; $б$ – індуктивний; $в$ – Г-подібний з індуктивним входом; $г$ – Г-подібний з ємнісним входом; $д$ – П-подібний з ємнісним входом; $е$ – Т-подібний з індуктивним входом

Схеми ємнісного та індуктивного фільтрів (рис. 6.71, а, б) відрізняються від схем, які зображені на рис. 6.70, б, в наявністю додаткового конденсатора або дроселя для захисту від несиметричних радіоперешкод; Г-подібний індуктивно-ємнісний фільтр з індуктивним входом (рис. 6.71, в) застосовується: при великому внутрішньому опорі джерела перешкоди і малому опорі мережі живлення; П-подібний індуктивно-ємнісний фільтр (рис. 6.71, д) застосовується при великих внутрішніх опорах джерела перешкод і мережі живлення; Т-подібний індуктивно-ємнісний фільтр (рис. 6.71, е) використовується при малих опорах джерела радіоперешкод і мережі живлення.

Сучасні автоматизовані побутові прилади мають значну кількість елементів з контактними системами, які можуть також бути джерелами радіоперешкод. Для їх заглушення використовуються різноманітні електричні схеми, які включають конденсатори і дроселі.

Під час роботи електропобутових приладів виникають шуми, які несприятливо діють на слухові органи людини. Проблема шумової дії набуває особливого значення в зв'язку зі зростанням числа одночасного використання приладів в побуті. Тому рівень шуму, що створюють побутові прилади, нормується. Граничнодопустимі рівні шуму, що створюють деякі види електроприладів, наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Граничнодопустимі рівні шуму

Вид приладу	Коректований рівень звукової потужності, дБ*		
	А	В	С
Пилососи потужністю, Вт			
До 600	75	78	80
Вище 600	76	80	83
Холодильники з корисним об'ємом, дм ³			
До 200	40	42	53
200–400	43	45	55
Вище 400	50	55	60
Пральні машини			
При пранні	60	65	74
При віджиманні	68	75	85
Центрифуги для віджиманні білизни	65	72	75
Тепловентилятори	45	53	65
Прасувальні машини	67	70	74
Центробіжні соковижималки	75	78	83

Примітка. * А, В, С – три ступені коректованого рівня звукової потужності, які визначаються категорією якості виробів.

Захист ЕПТ від перепадів напруги. Електропобутові машини та прилади живляться в основному від однофазної мережі змінного струму. Нормативним значенням напруги живлення, що забезпечує безпечну та надійну експлуатацію ЕПТ, вважається напруга $220 \text{ В} \pm 10 \%$. Але за останні роки значно знизилась якість електроенергії, яка надходить до споживачів. Це пов'язано з багатьма факторами, основними з яких є застарілий технічний стан електророзподільного обладнання та кабельних комунікацій і підвищене навантаження на електромережу. В містах України протягом 2011 року спостерігалися випадки падіння напруги в мережі до 160–170 В, а в сільській місцевості – до 130 В. У нічний час траплялось підвищення напруги до 250–260 В. У цілому сучасний стан електромережі практично за всіма регіонами України характеризується відхиленням напруги на рівні $\pm 15 \%$, що призводить до виходу з ладу ЕПТ.

Єдиним недорогим і надійним рішенням проблеми перепадів напруги є використання стабілізаторів напруги. Стабілізатор напруги – це пристрій, який нормалізує напругу електричного струму від 200 В до 240 В та захищає від імпульсних стрибків.

Класифікація стабілізаторів напруги. Стабілізатори напруги змінного струму розрізняють за кількістю фаз в мережі живлення (однофазні і трифазні), за потужністю (від 1 кВт до 100 кВт) та за принципом дії.

Ферорезонансні стабілізатори напруги працюють за принципом ферорезонансу-явища, внаслідок якого виникає підсилене коливання електромагнітного поля між трансформаторами. Трансформатори складаються з двох або більше котушок дроту, намотаних на металеві стрижні, і однієї або декількох ємностей. Стрижні розділені між собою і знаходяться на певній відстані один від одного. Ферорезонансні стабілізатори являються самими простими та надійними, використовуються в аеропортах, метро, на стратегічних об'єктах. Цей тип стабілізаторів в Україні не виготовляється.

Електромеханічні (сервоприводні) стабілізатори напруги – самий дешевий тип стабілізаторів. Основу схеми складає керований автотрансформатор *ТА*, який ввімкнений в первинну обмотку вольтододаткового трансформатора *ТВ1* (рис. 6.72). Вторинна обмотка *ТВ2* вмикається в розрив фази мережі.

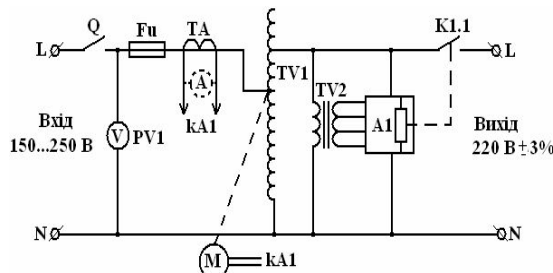


Рис. 6.72 – Функціонально-структурна схема електромеханічного стабілізатора напруги

Функцію поворотної ручки-двигуна автотрансформатора виконує слідкуюча електронна система керування *A1* з використанням електродвигуна *M*. Якщо система керування виявила відхилення напруги за межі допустимого, формується сигнал двигуну, який в свою чергу в залежності від команди переміщує вугільний контакт (щітку) в потрібному напрямі.

Даний тип стабілізаторів дозволяє безперервно й плавно регулювати вихідну напругу електричної мережі без викривлення синусоїдальної форми. Недоліки – наявність деталей, що швидко зношуються внаслідок тертя, а також повільна реакція (0,5...1 с) на різкі стрибки напруги.

Тиристорні (симісторні) стабілізатори напруги – самі швидкодіючі та універсальні типи стабілізаторів. Принцип дії заснований на автоматичній комутації обмоток автотрансформатора за допомогою електронних силових ключів-тиристорів (симісторів), рис. 6.73.

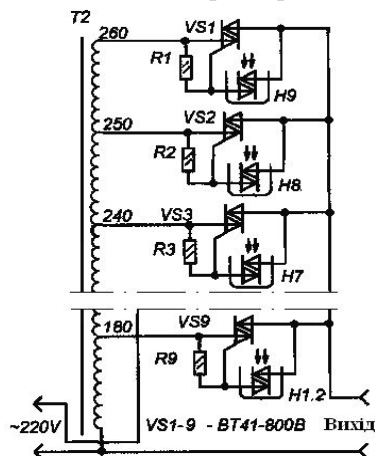


Рис. 6.73 – Принципова схема силових ключів автотрансформатора

Симістрові ключі $VS1...VS9$ управляються від мікросхеми системи керування через оптопари $H1...H9$. Оптопари ввімкнені так, що при зниженні вхідної напруги на 10 В відбувається переключення на підвищуючий вивід (на наступні 10 В) автотрансформатора, і навпаки. Напруга на виході змінюється ступінчасто.

До переваг тиристорних стабілізаторів відносять безшумність, високу швидкодію (2...12 мс), довговічність, найкраще співвідношення якості, ціни та надійності. Вони не потребують технічного обслуговування, мають велику перевантажувальну здатність і підходять у 95 % випадків до мережі України.

Релейні стабілізатори напруги – стабілізатори напруги зі ступінчастим регулюванням. Даний тип отримав найбільше розповсюдження як самий доступний за ціною. Стабілізація напруги відбувається переключенням обмоток силового трансформатора за допомогою електро-механічного реле, що є їх суттєвим недоліком. Крім того, контакти силових реле мають малий ресурс працездатності. Але такий тип стабілізаторів швидко реагує на зміну напруги (20...30 мс), не впливає на форму мережевої синусоїди.

Стабілізатори з фазоімпульсним регулюванням або широтно-імпульсним модулюванням (ШІМ). Відносяться до стабілізаторів з плавним регулюванням і високою швидкодією. Блок керування порівнює вхідну напругу з напругою 220 В і, за необхідністю, коректує амплітуду й форму синусоїди. Суттєвим недоліком даного типу є викривлення синусоїди, що впливає на працездатність електродвигунів. Тобто ці стабілізатори можуть використовуватися там, де немає споживачів з електродвигунами. Стабілізатори з подвійним перетворюванням. У цих стабілізаторах змінний струм спочатку за допомогою випрямляча перетворюється на постійний, а потім інвертором здійснюється перетворення постійного струму в змінний. Під час перетворень формується частота, амплітуда і форма вихідної змінної напруги. У подібних приладів дуже широкий діапазон вхідних напруг (від 100 В до 400 В). Використовуються, як правило, для захисту дорогого музикального і медичного обладнання. Через ціну і інші проблеми практично в побуті не застосовуються.

Вибір моделі стабілізатора здійснюється за критерієм необхідної потужності, для чого розраховується сумарна потужність, що споживається навантаженнями.

Потужність, що споживається конкретним пристроєм, можна узнати з паспорта або інструкції з експлуатації. В таблиці 6.4 наведені приблизні середні значення потужності побутової техніки.

Таблиця 6.4 – Значення середньої потужності, що споживається ЕПТ

Споживач	Потужність, Вт	Споживач	Потужність, Вт
Пральна машина	2300	Пилосос	До 2000
Холодильник	До 200	Праска	1500
Кондиціонер	До 1500	Фен	1500
Морозильна камера	200	Гриль	До 2000
Посудомийна машина	2000	Міксер	400
Очищувач повітря	300	Блендер	600
Тепловентилятор	2000	Фритюрниця	1000
Вентилятор	100	Тостер	2000
Кухонний комбайн	До 1000	Кавомолка	180
НВЧ-піч	2500	Духовка	2000
Соковижималка	500	Бойлер	До 1500
Електрочайник	2000	Кавоварка	До 2000
М'ясорубка	До 1000	Вафельниця	2000
Кавоварка-еспресо	До 2000	Телевізор	60
Електроплита	До 10000	Підсилювач	400
Електрокамін	2500	Комп'ютер	135

Під час визначення потужності враховується повна потужність S , що споживається електроприладом, та складається з активної Pa (Вт) й реактивної Q (В·А) потужності залежно від типу навантаження.

У приладах з активним навантаженням вся споживана електроенергія перетворюється в інші види енергії (теплову, світлову і таке ін.), тобто активна потужність витрачається на здійснення приладом корисної роботи та покриття втрат в ньому. В деяких пристроях дана складова є основною, наприклад, праски, лампи розжарювання, обігрівачі, електроплити. Якщо їх потужність складає 1 кВт, для їх живлення достатньо встановити стабілізатор потужністю 1 кВ·А.

Решту навантажень відносять до реактивних і поділяють на індуктивні та ємнісні. Наприклад, пристрої з електродвигунами, електронна, складна побутова техніка завжди мають реактивну складову потужності, що забезпечує створення електромагнітних полів двигуна та інших його елементів й безпосередньо корисної роботи не виробляє.

Зв'язок між повною і активною потужностями встановлюється за допомогою коефіцієнта потужності:

$$\cos \varphi = \frac{Pa}{S} = \frac{Pa}{\sqrt{Pa^2 + Q^2}}. \quad (6.73)$$

Кут φ , як відомо, визначає зсув фаз напруги мережі і струму приладу: якщо він споживає реактивну потужність, то існує зсув фаз $\varphi \neq 0$ і $\cos \varphi \neq 1$. Якщо реактивна потужність не споживається, то $\varphi = 0$ і $\cos \varphi = 1$. Прилад, який споживає реактивну потужність, додатково навантажує електромережу і створює додаткові втрати напруги та енергії в її елементах.

Якщо на пристрої вказано активну потужність і $\cos \varphi$, то для визначення повної потужності необхідно скористатись формулою (6.73). Наприклад, на дрилі написано “600 Вт” та “ $\cos \varphi = 0,6$ ”. Тоді, повна потужність, що споживається приладом, дорівнює $600/0,6 = 1000$ (В·А). У випадку, коли $\cos \varphi$ не вказаний, його значення приймають 0,7. Рекомендується обирати модель стабілізатора напруги з 20 % запасом від потужності, що споживається навантаженням. При цьому, по-перше, забезпечується “дбайливий” режим роботи стабілізатора та збільшується термін дії, а по-друге, створюється резерв потужності для підключення нового обладнання.

Під час встановлення загального стабілізатора для живлення групи споживачів або всіх пристроїв, що є в оселі, необхідно визначити суму їх потужності, тобто врахувати так званий коефіцієнт одночасності. Це обумовлено тим, що є вірогідність вмикання всіх апаратів, які мають пускові струми, одночасно. У всякому випадку, за наявності декількох холодильників після короткочасного відключення електроенергії всі вони запускаються в момент подання напруги.

Розрахунок потужності стабілізатора необхідно виконувати з врахуванням високого пускового струму побутового пристрою. Будь який електродвигун під час вмикання споживає енергії в декілька разів більше, ніж у звичайному режимі. У випадку, коли до складу навантаження входить електродвигун, який є основним споживачем в даному пристрої (наприклад, холодильник, водяний насос), його паспортну потужність необхідно збільшити на відповідний коефіцієнт (табл. 6.5) для уникнення перевантажень стабілізатора в момент вмикання пристрою.

Таблиця 6.5 – Кратність пускових струмів k_i пристроїв з електродвигунами

Побутовий пристрій	k_i	Побутовий пристрій	k_i
Холодильник	5	Пральна машина	3
Морозильник	5	НВЧ-піч	2
Кондиціонер	5	Дриль	1,5
Перфоратор	3	Прилад для очищення під тиском	5
Болгарка	2	Імпульсний повітряний обігрівач	2
Пилка	2	Шліфувальна машина	2
Рубанок	2	Водяний насос	7

Останнім етапом визначення необхідної потужності стабілізатора є збільшення отриманої максимальної потужності побутових приладів на коефіцієнт, що враховує ступінь зміни напруги в електромережі (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 – Коефіцієнт зміни напруги електромережі

Напруга, В	130	150	170	210	220	230	250	270
Коефіцієнт	1,77	1,55	1,35	1,10	1,05	1,10	1,35	1,55

Приклад розрахунку потужності побутового стабілізатора напруги. Припустимо, що необхідно підібрати побутовий стабілізатор для випадку, коли в стаціонарному режимі працюють холодильник (потужністю 200 Вт), телевизор (60 Вт), кондиціонер (1500 Вт), електричні лампи (200 Вт), при цьому напруга в електромережі може спадати до 170 В.

Врахуємо, що холодильник та кондиціонер під час включення споживають більшу потужність, ніж за стандартним режимом. Може статися, що обидва одночасно будуть вмикатися, наприклад, після зникнення електроенергії в момент, коли знову з'явиться струм. Сумарна потужність складає:

$$200 \cdot 5 + 60 + 1500 \cdot 5 + 200 = 8760 \text{ Вт.}$$

Одночасно зі стаціонарними пристроями можуть вмикатися пилосос (800 Вт), праска (1000 Вт) і електрочайник (1000 Вт), тоді загальне навантаження може збільшитися на 800...2800 Вт. У цьому випадку не будемо враховувати пусковий струм пилососа, тому що практично неможливо вмикання пилососа одночасно з холодильником і кондиціонером. Але запас потужності, який врахований раніше, дозволяє не перевантажувати стабілізатор напруги. Максимальна потужність дорівнюватиме:

$$8760 + 2800 = 11560 \text{ Вт.}$$

Повністю, з врахуванням коефіцієнта зміни напруги в мережі (див. табл. 6.6) отримаємо:

$$11500 \cdot 1,35 = 15606 \text{ Вт.}$$

Таким чином, для цього прикладу необхідно обрати побутовий стабілізатор напруги потужністю не менш 16 кВт.

Встановлення стабілізатора напруги здійснюється тільки кваліфікованим електриком.

На рис. 6.74 наведена принципова схема вмикання однофазного стабілізатора напруги, яка є універсальною і використовується практично для всіх стабілізаторів.



Рис. 6.74 – Схема вмикання однофазного стабілізатора напруги

Після відмикання вхідного автомата в розподільному щиті необхідно перевірити відсутність фази на виході автомата. Фазний дріт від основного автомата переривається і подається на вхід стабілізатора (необхідне чітке дотримання полярності). Фазний дріт з виходу стабілізатора вмикається безпосередньо в навантаження дома. Нульовий дріт подається на клему "нуль" стабілізатора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Деменков Н. П. Нечеткое управление в технических системах : учеб. пособие / Н. П. Деменков. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
2. Пирс Дж. Электроны, волны и сообщения / Дж. Пирс. – Москва : Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1961. – 350 с.
3. ДСТУ 2721–94 (ГОСТ 8051–93). Машини пральні побутові. Загальні технічні умови. – Київ : Держ. стандарт України, 1999. – 53 с.
4. Електричні машини та електропривод побутової техніки : підручник / М. Г. Попович, Л. Ф. Артеменко [і др.] ; за ред. М. Г. Поповича. – 2-ге вид. – Київ : Либідь, 2004. – 356 с.
5. Кампе-Немм А. А. Автоматическое двухпозиционное регулирование / А. А. Кампе-Немм. – Москва : Наука, 1967. – 160 с.
6. Клубович В. В. Ультразвуковая обработка материалов / В. В. Клубович, А. В. Степаненко. – Москва : Наука и техника, 1981. – 296 с.
7. Копылов И. П. Электрические машины / И. П. Копылов. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
8. Корякин-Черняк С. Л. Стиральные машины от А до Я / С. Л. Корякин-Черняк. – Москва : СОЛОН–Пресс, 2005. – 298 с.
9. Лебедев В. С. Технологические процессы машин и аппаратов в производствах бытового обслуживания / В. С. Лебедев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздат, 1991. – 336 с.
10. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ–Петербург, 2005. – 736 с.
11. Лепашев Д. А. Электрические приборы бытового назначения : учеб. для сред. спец. учеб. заведений / Д. А. Лепашев. – 3-е изд. – Москва : Легпромбытиздат, 1991. – 272 с.
12. Лир Э. В. Электробытовые машины и приборы : справочник / Э. В. Лир, И. В. Петко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Київ : Техника, 1990. – 270 с.
13. Михайлов В. І. Теоретико-методологічні засади оцінювання якості пральних машин : монографія / В. І. Михайлов. – Київ : Киев. нац. торг.-екон. ун-т, 2008. – 216 с.
14. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод / В. В. Москаленко. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
15. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посібник / М. Г. Попович [и др.]. – Київ : Либідь, 2005. – 680 с.
16. Руденко В. С. Преобразовательная техника / В. С. Руденко, В. И. Сенько, И. М. Чиженко. – Київ : Вища школа, 1983. – 424 с.
17. Сапунов Г. С. Ремонт микроволновых печей / Г. С. Сапунов. – Москва : СОЛОН–Пресс, 2003. – 272 с.
18. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б. Ю. Семенов. – Москва : СОЛОН–Пресс, 2005. – 416 с.
19. Соколова Е. М. Электрическое и электромеханическое оборудование: общепромышленные механизмы и бытовая техника : учеб. пособие / Е. М. Соколова. – Москва, 2011. – 224 с.

ЗМІСТ

Передмова	3
------------------------	---

Розділ 1. Машини для обробки білизни

1.1. Пральні машини	5
1.2. Віджимання	28
1.3. Сушіння та принцип дії сушильних машин	31
1.4. Прасування та принцип дії прасувальних машин	34

Розділ 2. Холодильники та морозильники

2.1. Охолодження харчових продуктів	39
2.2. Заморожування харчових продуктів	40
2.3. Класифікація побутових холодильників.....	43
2.4. Компресійні холодильники.....	45
2.5. Термоелектричні холодильники.....	71
2.6. Абсорбційні холодильники.....	77
2.7. Побутові морозильники.....	79
2.8. Багатокамерні холодильники.....	80

Розділ 3. Машини для прибирання приміщень

3.1. Фізико-механічні основи вакуумного збирання пилу	83
3.2. Побутові електропилососи	86
3.3. Вибір вимог до повітровсмоктувального агрегату і пристрою регулювання витрат повітря	92
3.4. Розрахунок втрат тиску в аеродинамічному тракті пилососа	94
3.5. Розрахунок геометричних розмірів вхідної щілини насадки та втрати тиску в ній	95

Розділ 4. Прилади мікроклімату

4.1. Параметри комфорту повітряного середовища.....	98
4.2. Кондиціонери	98
4.3. Зволожувачі повітря	109
4.4. Електричні очищувачі повітря.....	110

Розділ 5. Кухонні машини та прилади

5.1. Посудомийні машини	112
5.2. Універсальні кухонні машини	120
5.3. Соковижималки	121
5.4. Електром'ясорубки	123
5.5. Електроміксери	125
5.6. Електрокавомолки	126
5.7. Електрокавоварки	127
5.8. Мікрохвильові печі	128

Розділ 6. Автоматизація в електропобутовій техніці

6.1. Загальні відомості	134
6.2. Електродвигуни побутової техніки	135
6.3. Перетворюючі елементи в пристроях керування електропобутової техніки	149
6.4. Автоматичне керування технологічними параметрами	161
6.5. Використання мікропроцесорної техніки у побутових машинах і приладах	179
6.6. Система керування параметрами у виробках ЕПТ з використанням принципів Fuzzy Logic	188
6.7. Захист елементів автоматики та навколишнього середовища	201
Література	211



Спеціальність “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” відноситься до галузі техніки, що включає сукупність засобів, способів і методів людської діяльності, створених для керування режимами роботи і регулювання параметрів електротехнічного та електромеханічного устаткування, перетворення різних видів електричної і механічної енергії. Без цих фахівців не обходиться жодна галузь виробництва. Скільки людина буде використовувати електроенергію, стільки й вони будуть необхідні.

Однією з важливих дисциплін, що вивчаються в рамках підготовки фахівців, є дисципліна “Електропобутова техніка”. Сьогодні складно уявити собі побут людини без використання електропобутової техніки. Побутова техніка пройшла етапи становлення від простих механічних пристроїв до складних інтелектуальних систем. У сучасній побутовій техніці наявна значна кількість мехатронних систем, що представляють собою інтеграцію механічної, енергетичної та керуючої підсистем в єдиному конструкторському блоці. Зокрема, в побуті використовуються пральні та швейні машини з вбудованими мікропроцесорами, роботи-пилососи, холодильники з блоком електронного керування, пристрої з вбудованими інтелектуальними системами тощо. Як показують дослідження маркетингових фірм, ринок побутової техніки динамічно розвивається і має значний потенціал розвитку.

Навчальний план спеціальності “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” побудований таким чином, що студенти **отримують фундаментальну підготовку:**

– **за сучасними комп’ютерними технологіями:** обчислювальна техніка та програмування; пакети прикладних програм; системи автоматизованого проектування в галузі; комп’ютерні технології в електромеханіці, моделювання електромеханічних систем, основи мехатроніки;

– **за спеціальними дисциплінами:** теоретичні основи електротехніки; електроніка і мікросхемотехніка; мікропроцесорні пристрої та системи керування; електричні апарати; електричні машини; спеціальні електричні машини; теорія електроприводу; теорія автоматичного керування; ремонт, експлуатація та діагностика електропобутової техніки; сервісне обслуговування обладнання галузі тощо.

Рівень підготовки спеціалістів дозволяє програмувати на різних алгоритмічних мовах мікроконтролери та мікро-ЕОМ; проектувати сучасні електромеханічні, мехатронні та робототехнічні системи; складати структурні схеми апаратних і програмних засобів комп’ютерного керування; використовувати сучасні підходи до побудови адаптивних, оптимальних та інтелектуальних систем комп’ютерного керування; вирішувати інженерні задачі на підприємствах електротехнічного профілю; створювати комп’ютерні бази постачальників (обладнання та запчастини); використовувати спеціалізовані комп’ютерні програми для проектування електропобутової техніки, інших електричних та електротехнічних пристроїв.

Сфера діяльності майбутніх фахівців:

– підприємства з проектування, виробництва, експлуатації, сервісу та збуту електромеханічного обладнання різних типів;

- експлуатація і ремонт електропобутової техніки та інших електромеханічних апаратів, машин, пристроїв та систем;
- підприємства з проектування, виготовлення та реалізації мехатронних систем та інтелектуальних пристроїв;
- дилерські, представницькі та консультативні фірми з продажу та сервісного обслуговування електропобутової техніки;
- розподільчі енергокомпанії та служба енергонагляду;
- науково-дослідні лабораторії вищих навчальних закладів, коледжів, технікумів.

Посади, які можуть займати випускники:

- керівник науково-дослідного підрозділу з науково-технічної підготовки виробництва;
- викладач спеціальних дисциплін в технікумах, коледжах та училищах;
- керівник виробничого підрозділу з виробництва електропобутової техніки;
- дистриб'ютор, дилер, менеджер, представник фірм-постачальників електричного, електротехнічного та електромеханічного обладнання;
- головний електрик (енергетик), технік з експлуатації електричного, електротехнічного та електромеханічного устаткування;
- експерт-консультант з енергозбереження та енергоефективності.

Особливості підготовки фахівців

Підготовка фахівців за спеціальністю “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” здійснюється у Хмельницькому національному університеті – кафедрою машин та апаратів, а також у Київському національному університеті технологій та дизайну – кафедрою електромеханічних систем.

З метою забезпечення високого рівня підготовки фахівців на цих кафедрах створені спеціалізовані комп'ютерні класи, працюють наукові гуртки під керівництвом провідних викладачів. Студенти щорічно виступають з доповідями на міжнародних, всеукраїнських та регіональних наукових конференціях, публікують наукові статті, беруть участь в олімпіадах із загальнотехнічних та фахових дисциплін, у конкурсах наукових робіт тощо.

Студенти мають змогу навчатись на військовій кафедрі, після отримання диплому бакалавра можуть здобути другу вищу освіту та отримати подвійний міжнародний диплом за кваліфікаційним рівнем “магістр”.

Контактна інформація випускових кафедр

м. Хмельницький, вул. Інститутська 5,
навчально-виробничий корпус № 3, ауд. 516.

м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2,
навчальний корпус № 1, ауд. 1-0107.

Завідувач кафедри канд. техн. наук, доц.
Поліщук Олег Степанович

Завідувач кафедри д-р техн. наук, проф.
Злотенко Борис Миколайович

Телефони для довідок:
кафедра: 38 098 792 82 10,
приймальна комісія: (0382) 67 27 55
e-mail: KafedraMA@i.ua
сайт кафедри: <http://ma.khnu.km.ua/index.html>
форум кафедри: https://vk.com/xnu_kma

Телефони для довідок:
кафедра: 38 044 256 29 03,
приймальна комісія: 38 044 256 29 75
e-mail: kems@knutd.com.ua
сайт кафедри:
<http://knutd.com.ua/university/faculties/tosu/tosuems/>

Навчальне видання

*Петко Ігор Валентинович,
Бурмістенков Олександр Петрович,
Біла Тетяна Яківна,
Скиба Микола Єгорович*

ЕЛЕКТРОПОБУТОВА ТЕХНІКА

Підручник для студентів вищих навчальних закладів

Відповідальний за випуск: **В. С. Яремчук**

Художнє оформлення обкладинки: **Ю. В. Вавринчук**

Технічне редагування, коректування і верстка: **В. П. Карпанасюк, О. В. Чопенко**

Підписано до друку 7.03.2017.

Формат 30×42/2. Папір офс. Гарн. Times New Roman.

Друк різнографією. Ум. друк. арк. – 18,36. Обл.-вид. арк. – 15,10.

Тираж 100. Зам. № 13/13–17

Віддруковано в редакційно-видавничому центрі ХНУ
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1
Свідоцтво про внесення в Державний реєстр,
серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.