

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

БАРИЛКО СЕРГІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ



УДК 677.017

**МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ
КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕКСТИЛЬНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Черкаси – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки і на кафедрі технології та дизайну текстильних матеріалів Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД) Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Здоренко Валерій Георгійович,
Київський національний університет технологій та дизайну, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гальченко Володимир Якович,
Черкаський державний технологічний університет, професор кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій

доктор технічних наук, професор
Кучерук Володимир Юрійович,
Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри метрології та промислової автоматичної

доктор технічних наук, професор
Куц Юрій Васильович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри приладів і систем неруйнівного контролю

Захист відбудеться “ 20 ” квітня 2021 року о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті за адресою: 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460, зал засідань, 1 корпус.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Черкаського державного технологічного університету за адресою: 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460.

Автореферат розісланий “ 19 ” березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



Ю.Ю. Бондаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з найважливіших задач, які актуальні для підприємств легкої промисловості, є забезпечення виробничого процесу виготовлення текстильних матеріалів із використанням систем оперативного контролю їх технологічних параметрів для забезпечення якісних характеристик конкурентоздатної продукції. Текстильні матеріали мають широкий спектр застосування. Вони використовуються для виготовлення різних елементів одягу, побутового текстилю, тканин та трикотажу технічного призначення, тощо. Сучасні прилади та системи контролю не дають можливості використовувати безперервний контроль технологічних параметрів в процесі виробництва, а в основному застосовується лабораторний контроль взятих зразків текстильного матеріалу. Це не дозволяє забезпечувати оперативне реагування на зміну величини технологічного параметру, який може виходити за регламентовані межі, в процесі виробництва контрольованого матеріалу, що знижує якість готової продукції та збільшує кількість браку і використаних енергоресурсів. Для практичної реалізації оперативного і безперервного моніторингу якості текстильних матеріалів необхідно розробити методологію побудови сучасних комп'ютеризованих систем контролю їх технологічних параметрів із використанням ультразвукових безконтактних методів прозвучування матеріалу із складною структурою. Для вирішення цього завдання спочатку необхідно отримати аналітичні залежності, які пов'язуватимуть технологічні параметри текстильних матеріалів із інформативними параметрами ультразвукових хвиль. Потім враховуючи отримані залежності потрібно розробити безконтактні методи контролю для різних технологічних параметрів текстильних матеріалів. Далі на основі отриманих методів можна вже розробляти різні комп'ютеризовані системи в залежності від технологічного параметру, який необхідно контролювати. Комп'ютеризовані системи для контролю технологічних параметрів в процесі виробництва повинні одночасною оброблювати декілька інформативних параметрів ультразвукових хвиль, що надходять на приймаючі перетворювачі для можливості врахування складної структури текстильного матеріалу. Такі системи необхідні для забезпечення можливості жорсткого дотримання основних технологічних параметрів впродовж процесів виготовлення продукції, які впливають як на споживчі властивості текстильних матеріалів, так і на їх фізико-механічні характеристики, у встановлених межах. І це є актуальним завданням.

Одними з таких параметрів є поверхнева густина та пористість текстильного матеріалу. На величину зміни цих параметрів впливає також регулювання натягу ниток текстильного матеріалу на технологічному обладнанні в процесі виробництва.

Для можливості контролю основних технологічних параметрів текстильних матеріалів із застосуванням сучасних комп'ютеризованих систем необхідно використовувати технічні комплекси з можливістю оперативного визначення необхідних значень в режимі реального часу. Для процесу виробництва важливим є регулювання заданої поверхневої густини та забезпечення однорідності структури текстильного матеріалу, зважаючи на фактичне значення контрольованого параметру. При дотриманні необхідної величини пористості з певним допуском її

значень забезпечуються належні експлуатаційні характеристики для різних текстильних матеріалів. Визначаючи фактичне значення пористості для готових текстильних полотен, можна забезпечувати оптимальну витрату спеціальних речовин для їх обробки та фарбування.

Контроль поверхневої густини та пористості текстильного полотна з врахуванням натягу ниток необхідно проводити із використанням комп'ютеризованих систем, застосовуючи безконтактні методи, оскільки тільки вони дають можливість оперативно реагувати на зміну величини цих параметрів безпосередньо в процесі самого виробництва.

Таким чином, здійснюючи постійний оперативний контроль поверхневої густини та пористості текстильних матеріалів з врахуванням їх натягу із використанням сучасних комп'ютеризованих систем, можна отримувати готову продукцію високої якості з мінімальними витратами сировини. Такий оперативний контроль дасть можливість забезпечувати задану формостійкість, жорсткість, теплозахисні властивості різних полотен, а також є важливим та актуальним для виробництва таких текстильних матеріалів. Це, у свою чергу, дасть змогу підвищити економічну ефективність текстильної продукції на ринку.

Питання безконтактного контролю поверхневої густини, пористості та натягу ниток на технологічному обладнанні, які напряду впливають на якість різних текстильних матеріалів, досліджували такі вчені: Скрипник Ю.О., Здоренко В.Г., Костюков А.Ф., Бобров П.М., Волосніков Ф.К., Козубенко В.А., Калінін В.А., Калінін Ц.І., Шляхтенко П.Г., Сокова Г.Г., Костін С.Л., Тернова Т.І., Колганов В.І., Комаров О.Б., Єрмолов І.М., Якунін М.А. та інші. В роботах вчених розглянуті методи та засоби, за допомогою яких можна визначати поверхневу густину, пористість, натяг та інші параметри для різних текстильних матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки і на кафедрі технології та дизайну текстильних матеріалів Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД), у межах програм науково-дослідних робіт КНУТД: "Створення ультразвукових методів та засобів контролю технологічних параметрів тканин", номер держреєстрації №0117U000739, та "Акустичний контроль властивостей трикотажних матеріалів із застосуванням елементів обчислювальної техніки", номер держреєстрації №0117U000740, у виконанні якої здобувач брав безпосередню участь в якості відповідального виконавця.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності комп'ютеризованих систем для контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів в процесі виробництва шляхом використання ультразвукових методів.

Для досягнення вказаної мети необхідно розв'язати такі *завдання*:

- провести аналіз сучасних методів та засобів контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів;
- розробити математичні моделі ультразвукового поля для проходження хвиль крізь текстильні матеріали та моделі поля для відбиття хвиль від них, які

дадуть можливість створити нові та удосконалити існуючі методи контролю технологічних параметрів цих матеріалів;

- розробити математичні моделі згасання амплітуди ультразвукових хвиль, що взаємодіють із складною структурою текстильних матеріалів, які дадуть можливість визначати частоту хвиль для різного діапазону контрольованих технологічних параметрів;

- розробити методи побудови та структури комп'ютеризованих систем контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів із врахуванням їхніх особливостей;

- створити експериментальні зразки комп'ютеризованих систем безконтактного контролю пористості, поверхневої густини та натягу текстильних матеріалів, що дасть можливість проводити оперативний моніторинг технологічних параметрів в режимі реального часу.

Об'єкт дослідження – процес оперативного контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів.

Предмет дослідження – моделі та методи побудови комп'ютеризованих систем контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів.

Методи дослідження. Дослідження базуються на основних положеннях: теорії розповсюдження ультразвукових хвиль в однорідному середовищі і в багатопаровому середовищі із складною структурою; математичного моделювання; диференціального та інтегрального обчислення; математичної статистики; технології ткацького та трикотажного виробництв; проектування та створення комп'ютеризованих систем контролю.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці методологічних основ побудови комп'ютеризованих систем контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів в процесі виробництва шляхом подальшого розвитку теорії розповсюдження ультразвукових хвиль.

А саме наукова новизна полягає у тому, що:

- удосконалено математичні моделі ультразвукового поля в матеріалах із складною структурою, що дозволило обґрунтувати використання в якості інформативних параметрів амплітуду, фазу та частоту ультразвукових коливань для контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів;

- вперше отримано математичні моделі згасання ультразвукових хвиль в пористих текстильних матеріалах, що дало можливість проводити їх контроль із зміною частоти хвиль для вибору товщини або поверхневої густини таких матеріалів;

- вперше теоретично обґрунтовано та розроблено безконтактний амплітудний метод контролю натягу ниток та амплітудний ультразвуковий метод контролю поверхневої густини текстильних матеріалів, що дало можливість проводити оперативний моніторинг цих технологічних параметрів із використанням комп'ютеризованих систем;

- вперше теоретично обґрунтовано та розроблено ультразвуковий амплітудно-фазовий метод контролю поверхневої густини текстильних матеріалів з

врахуванням їх пористості із використанням комп'ютеризованої системи, що дало можливість виключити вплив зміни структури контрольованого матеріалу;

- вперше розроблено безконтактний амплітудно-частотний метод контролю зміни пористості текстильних матеріалів із використанням комп'ютеризованої системи, застосування якого дозволило визначати розмір пор в текстильних матеріалах різного призначення;

- теоретично доведено доцільність використання та вдосконалено ультразвуковий безконтактний метод контролю зміни об'ємної щільності текстильних матеріалів із врахуванням впливу натягу самого полотна, що дозволило додатково визначати зміну товщини текстильних матеріалів із складною структурою.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що:

- запропоновано структурні схеми безконтактних комп'ютеризованих систем для контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів в процесі виробництва, що дозволило реалізувати їх на практиці;

- розроблено ультразвукову комп'ютеризовану систему контролю текстильних матеріалів, що дало можливість визначати їх пористість та натяг ниток для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання;

- розроблено ультразвукову комп'ютеризовану систему, яка дає змогу оперативно контролювати пористість та поверхневу густину текстильних матеріалів безпосередньо на технологічному обладнанні в процесі виробництва;

- розроблено програмне забезпечення комп'ютеризованих систем контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів, яке дає можливість оброблювати отримані значення напруг з перетворювачів системи та подальшою обробкою із зберіганням вимірювальної інформації у стандартних додатках MS Office в режимі реального часу;

- результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень знайшли практичне впровадження у навчальний процес на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки Київського національного університету технологій та дизайну;

- отримані результати досліджень сприяють підвищенню ефективності та модернізації існуючої системи контролю поверхневої густини готового полотна на ПРАТ ТФ "РОЗА" .

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи автор отримав самостійно. У друкованих працях, публікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 12, 18, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30] – розробка ультразвукових методів контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів; [4, 5, 31] – отримання основних виразів для ультразвукових хвиль, які взаємодіють з різними текстильними матеріалами з врахуванням згасання їхньої амплітуди; [8] – удосконалення методу ультразвукового контролю наявності розшарувань композиційних текстильних матеріалів; [11, 13] – постановка завдання та запропонована ідея контролю різних текстильних матеріалів для можливості їх безконтактного контролю; [14, 15, 16, 17, 32] – дослідження та аналіз взаємодії ультразвукових хвиль з текстильним матеріалом із складною структурою; [19, 20,

21] – отримання основних виразів для амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, які взаємодіють з текстильними матеріалами, та пов'язання їх з технологічними параметрами; [24] – удосконалення амплітудного методу виявлення дефектів в різних матеріалах.

З робіт, що опубліковані у співавторстві, у дисертаційній роботі використовуються виключно результати, отримані особисто здобувачем.

Апробація результатів дисертації. Отримані у дисертаційній роботі результати доповідались на таких наукових конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції наукової молоді та студентів (м. Євпаторія, 2013р.); III Міжнародній науково-практичній конференції “Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність” (м. Херсон, 2017р.); I Міжнародній науково-практичній конференції “Мехатронні системи: інновації та інжиніринг” (м. Київ, 2017р.); II Міжнародній науково-практичній конференції “Мехатронні системи: інновації та інжиніринг” (м. Київ, 2018р.); Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Молодь – науці і виробництву – 2018: Інноваційні технології легкої промисловості” (м. Херсон, 2018р.); Textile Research Institute, 49th IFKT International Congress (Łódź, Poland, 2018); IEEE Ukraine Student, Young Professional and Women in Engineering Congress (Kyiv, Ukraine, 2018); III Міжнародній науково-практичній конференції “Мехатронні системи: інновації та інжиніринг” (м. Київ, 2019р.); Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Молодь – науці і виробництву – 2019: Інноваційні технології легкої промисловості” (м. Херсон, 2019р.); XXI Міжнародна конференція з математичного моделювання (м. Херсон, 2020р.); I Всеукраїнська конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених “Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості” (м. Київ, 2020р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 32 роботи, в тому числі: 2 статті у журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus (при чому одна у виданні віднесеному до другого квартилю Q2, що прирівнюється до трьох публікацій, а ще одна - у виданні віднесеному до третього квартилю Q3, що прирівнюється до двох публікацій у фахових виданнях України), 16 наукових статей у фахових виданнях України, 2 патенти на корисну модель, 1 колективна монографія (розділ якої прирівнюється до однієї статті у фаховому виданні України), 11 тез доповідей на конференціях різних рівнів.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основна частина дисертації містить 272 сторінки друкованого тексту, 122 рисунка, 8 таблиць. Обсяг анотації двома мовами складає 10 сторінок. Повний обсяг дисертації викладено на 527 сторінках, у тому числі список використаних джерел із 428 найменувань на 39 сторінках та 6 додатків на 57 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, поставлено наукову задачу, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано мету роботи та задачі дослідження. Визначено новизну отриманих результатів та їх

практичне значення. Наведено дані щодо конкретної участі автора у роботі, її апробації, публікації та структуру дисертації.

У **першому розділі** виконано огляд існуючих і перспективних методів і засобів контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів. Показано, що з усіх методів найбільше за своїми характеристиками і можливостями підходять ультразвукові. Вони можуть забезпечити підвищення якісних характеристик готової продукції через застосування оперативного контролю із використанням комп'ютеризованих систем та внесення ними відповідних корегувань у виробничий процес.

Постановка узагальнених задач досліджень спрямована на розробку методології побудови і практичної реалізації комп'ютеризованих систем контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів із використанням ультразвукових безконтактних методів. Обґрунтовано, що для створення високотехнологічних безконтактних засобів та комп'ютеризованих систем контролю параметрів різних текстильних матеріалів, беручи до уваги зазначене вище, враховуючи мету дисертаційної роботи, необхідно виконати наступні узагальнені задачі: проаналізувати фізичні основи взаємодії ультразвукового випромінювання з різними текстильними матеріалами з пористою та із двошаровою структурою складових композиційних текстильних матеріалів (КТМ); провести аналіз використання різних параметрів ультразвукових хвиль у визначенні розшарувань складових КТМ; розробити безконтактний амплітудний метод визначення натягу текстильних матеріалів із використанням спеціалізованих хвилеводів із прямокутним перерізом; розробити безконтактний амплітудний метод визначення поверхневої густини текстильних полотен із врахуванням їхнього натягу; дослідити можливість застосування повздовжнього прозвучування текстильного матеріалу ультразвуковими хвилями для контролю його натягу; розробити безконтактний амплітудно-фазовий метод визначення поверхневої густини текстильних полотен з врахуванням їхньої складної просторової структури; провести експериментальні безконтактні виміри та порівняльний аналіз між вимірюваними значеннями технологічних параметрів текстильних полотен, отриманими за допомогою ультразвукових комп'ютеризованих систем, та із значеннями параметрів при застосуванні існуючих контактних методів.

Обґрунтовано актуальність застосування безконтактних ультразвукових методів оперативного контролю різних технологічних параметрів текстильних матеріалів із використанням комп'ютеризованих систем, які дадуть можливість підвищити якість готової продукції.

У **другому розділі** проаналізовано проходження імпульсного ультразвукового сигналу крізь двошарові (рис.1,а), одношарові складові КТМ з наскрізними порами та без них, а також проходження хвиль крізь тканини з різною структурною будовою та порами (рис.1,б,в). Розглянуто проходження плоскої ультразвукової хвилі крізь контрольований двошаровий матеріал з наскрізними порами при її нормальному падінні із навколишнього середовища (повітря) з акустичним опором Z_1 ($Z_1 = \rho_1 c_1$, де $\rho_1 c_1$ – об'ємна щільність середовища та швидкість розповсюдження в

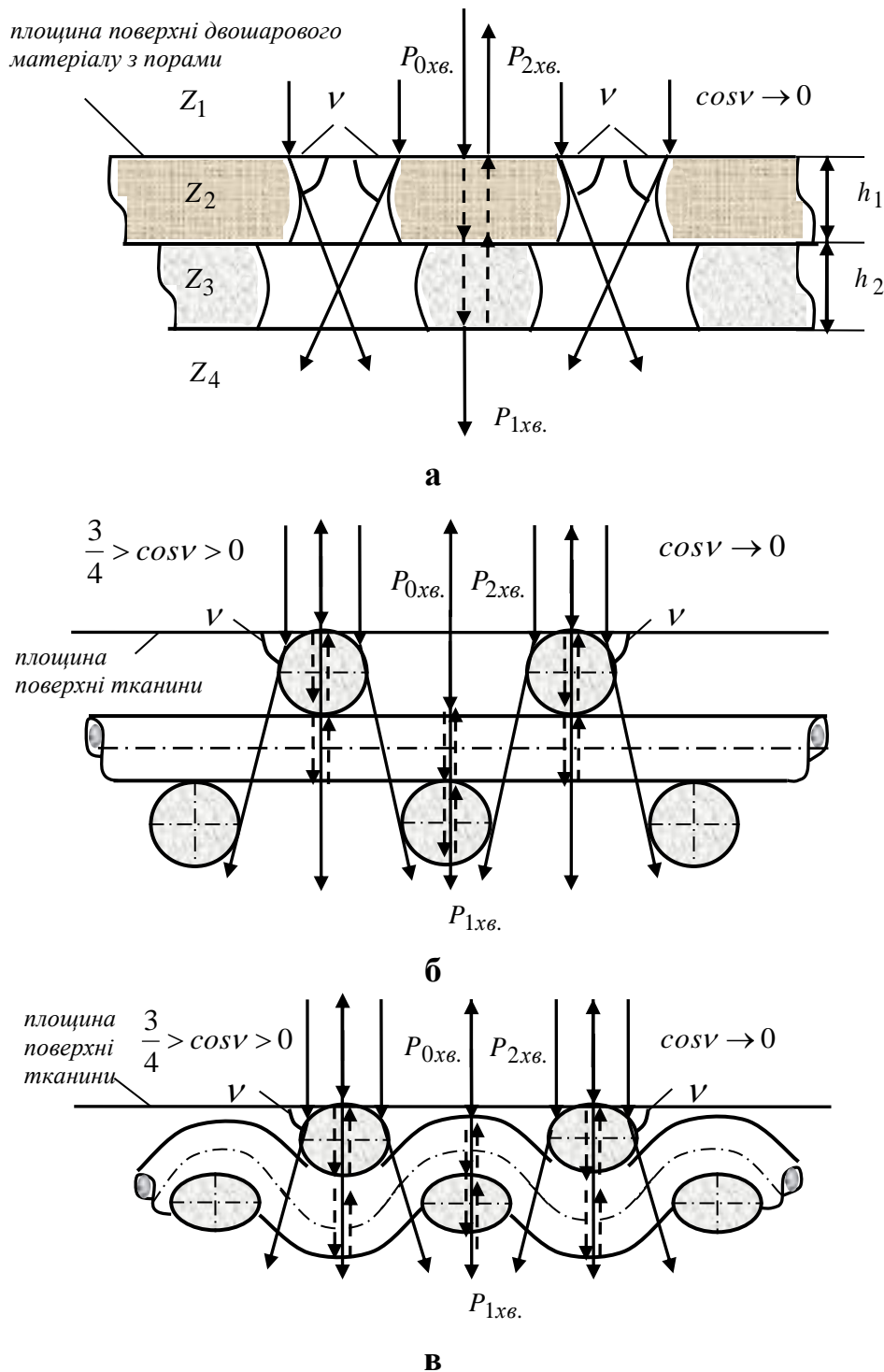


Рис. 1. Проходження ультразвукових хвиль крізь різні матеріали:

- а – двошаровий матеріал з наскрізними порами;
 б – одношарова тканина з товщиною в три середні діаметри нитки основи та утку; в – одношарова тканина з товщиною в два середні діаметри нитки основи та утку

Також падаючий ультразвуковий сигнал можна представити функцією зміни тиску в хвилі $P_{0xv}(t')$, а сигнал, що відбивається від матеріалу, можна показати як $P_{2xv}(t')$. Якщо в двошаровому матеріалі наявні пори, то за їх загальний об'єм та

ньому ультразвукової хвилі). Сам матеріал з товщиною першого шару h_1 , що має акустичний опір Z_2 ($Z_2 = \rho_2 c_2$, де $\rho_2 c_2$ – об'ємна щільність складового першого шару матеріалу та швидкість розповсюдження в його середовищі ультразвукової хвилі відповідно), другий шар матеріалу з товщиною шару h_2 , що має акустичний опір Z_3 ($Z_3 = \rho_3 c_3$, де $\rho_3 c_3$ – об'ємна щільність складового другого шару матеріалу та швидкість розповсюдження в його середовищі ультразвукової хвилі відповідно), останній шар спирається на середовище з акустичним опором Z_4 . Ультразвуковий імпульсний сигнал, що пройшов контрольований двошаровий матеріал з врахуванням часу t' розповсюдження звуку в ньому, можна показати у вигляді функції зміни тиску в хвилі $P_{1xv}(t')$.

форму відповідає величина $\cos \nu$, де ν – кут між напрямом розповсюдження хвиль, які проходять крізь пори, і поверхнею двошарового матеріалу. Одиничну амплітуду падаючої ультразвукової хвилі на поверхню двошарового матеріалу у відносних безрозмірних одиницях, яка має при розповсюдженні дзвіноподібну форму (характерно для випромінювання більшості перетворювачів), можна подати для подальшого порівняння, як:

$$A_0(t) = e^{-\left(\frac{t \ln 2}{\tau_0}\right)^2} \cdot \cos(\omega_0 t). \quad (1)$$

де t – поточний час; τ_0 – тривалість імпульсу; ω_0 – колова частота заповнення імпульсного сигналу.

Амплітуду хвилі імпульсного сигналу, який пройшов два шари матеріалу у відносних одиницях з врахуванням часової затримки хвиль в середовищах складових матеріалу, можна представити як:

$$A_{Wp}(t') = 2 \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \cdot \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4} \right) \cdot \sum_{N=0}^{\infty} V_L^N \cdot \cos \left(\omega_0 \left(\frac{(h_1 + h_2) \cos \nu}{c_{23}} b(2N+1) - t \right) \right) \times \\ \times \exp \left[- \frac{\left(\frac{(h_1 + h_2) \cos \nu}{c_{23}} b(2N+1) - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot (2N+1)(h_1 + h_2) \cos \nu \right], \quad (2)$$

$$V_L = 1 - \left(1 - \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \cdot \frac{Z_3 - Z_4}{Z_3 + Z_4} \right) \left(1 + \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \left(1 + \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} \right), \quad (3)$$

де $b = \omega / \omega_0$ – коефіцієнт відношення несучої колової частоти та колової частоти заповнення імпульсного сигналу; α_3 – загальний коефіцієнт згасання ультразвукових хвиль у матеріалі; c_{23} – середня швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі в матеріалі; N – кількість перевідбивань хвиль, що дорівнює 0, 1, 2, 3, ..., ∞ .

Проведено аналіз відбиття імпульсного ультразвукового сигналу від двошарових (рис. 1,а), одношарових складових КТМ з наскрізними порами та без них, а також відбиття хвиль від тканин з різною структурною будовою та порами (рис. 1,б,в). Одержано залежності амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, які відбиваються від матеріалу, до хвиль, що тільки падають на нього, від товщин плоских шарів композиційних матеріалів з порами, від умовних товщин тканин з різною структурною будовою та від поверхневої густини цих тканин.

Амплітуду хвилі імпульсного сигналу, відбитого від двох шарів матеріалу, у відносних одиницях з врахуванням наскрізних пор в середовищах складових матеріалу можна показати так:

$$\begin{aligned}
A_{Vp}(t') = & \sqrt{V_L} \cdot \sum_{N=0}^{\infty} V_L^N \cdot \left(\cos \left(\omega_0 \left(\frac{2Nb(h_1+h_2)\cos\nu}{c_{23}} - t \right) \right) \times \right. \\
& \times \exp \left[- \frac{\left(\frac{2Nb(h_1+h_2)\cos\nu}{c_{23}} - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot 2N(h_1+h_2)\cos\nu \right] - \\
& - \cos \left(\omega_0 \left(\frac{b(2N+2)(h_1+h_2)\cos\nu}{c_{23}} - t \right) \right) \times \\
& \left. \times \exp \left[- \frac{\left(\frac{b(2N+2)(h_1+h_2)\cos\nu}{c_{23}} - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot (2N+2)(h_1+h_2)\cos\nu \right] \right).
\end{aligned} \tag{4}$$

За допомогою отриманих виразів (1), (2) та (4) на рис.2 наведені змодельовані ультразвукові сигнали та зміна їх амплітуд A_0 , A_{Wp} , A_{Vp} , що проходили або відбивались від різних шарів КТМ з порами, при яких $\cos\nu = 0,002$ (середнє значення для пористих текстильних матеріалів).

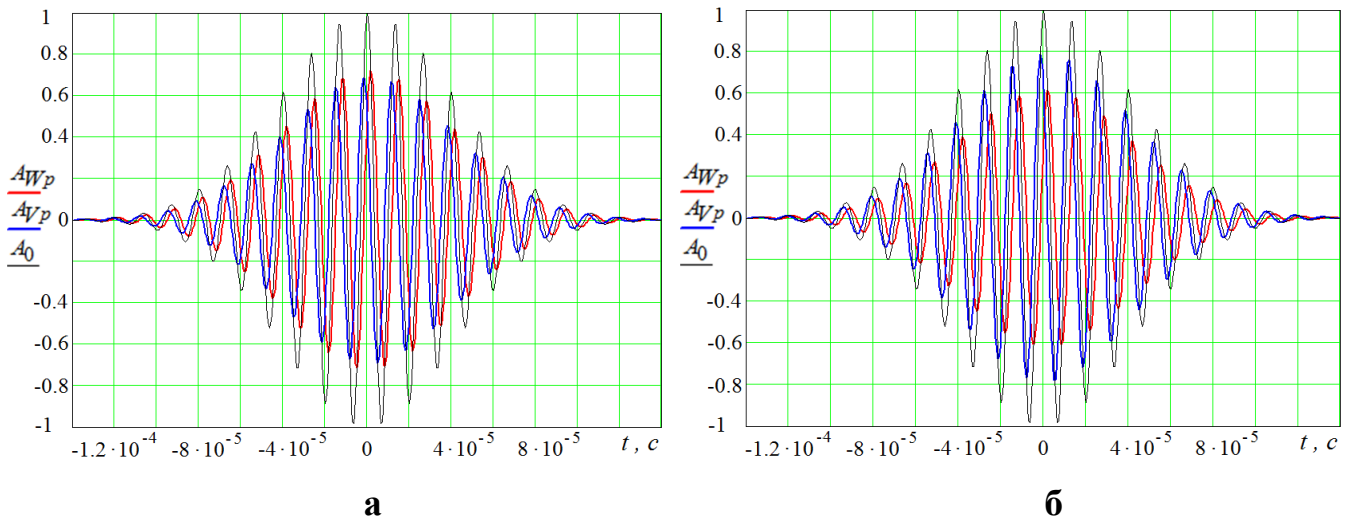


Рис. 2. Зміна амплітуд A_0 , A_{Wp} , A_{Vp} для шарів КТМ з порами із $\cos\nu = 0,002$:

а – зміна амплітуд зонduючих хвиль для шару КТМ з $h = 0,6$ мм;

б – зміна амплітуд зонduючих хвиль для шару КТМ з $h = 0,8$ мм

Проведений аналіз показав, що отримані вирази для імпульсних ультразвукових сигналів, які можуть взаємодіяти з матеріалами з різною структурою, можна використати для створення нових методів та

комп'ютеризованих систем безконтактного контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів.

Показано залежності відносних змін модулів комплексних коефіцієнтів проходження $\delta_{|W|}$ та відбиття $\delta_{|V|}$ для текстильних матеріалів від параметрів $m_s / (\rho_2 \lambda_2)$ та α_s , а також для КТМ від параметрів h_1 / λ_2 та α_s , де h_1 – товщина полімерного шару КТМ.

$$\delta_{|W|} = \left(|W| \sqrt{1 + \left(\frac{\pi f \rho_2 h_1 \cos v}{Z_1} \right)^2} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

$$\delta_{|V|} = \left(|V| \sqrt{1 + \left(\frac{Z_1}{\pi f \rho_2 h_1 \cos v} \right)^2} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (6)$$

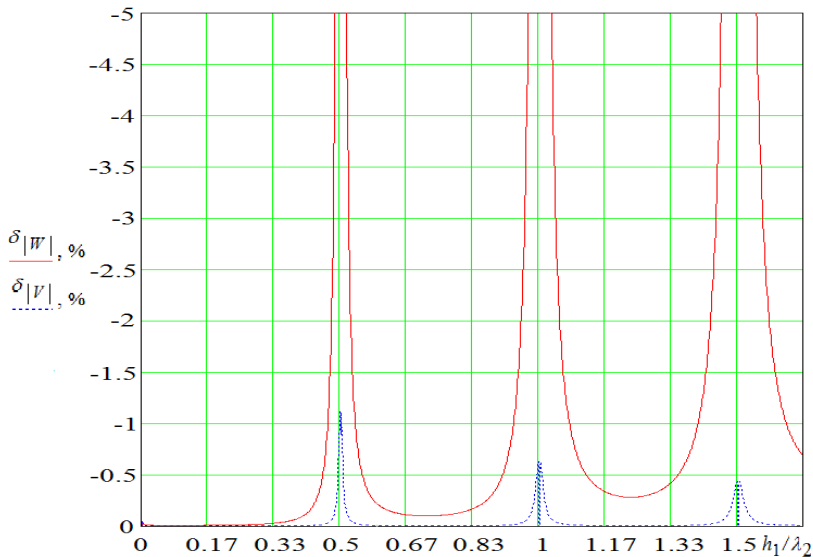
Відносні зміни амплітуд хвиль, що спричиняються згасанням сигналів, для текстильних полотен, враховуючи залежності (5) та (6) пов'язавши їх з поверхневою густиною m_s , після спрощення складових виразів із переходом від колової частоти ω до f можна подати так:

$$\delta_{|W|} = \left(|W| \sqrt{1 + \left(\frac{K m_s f \cos v}{Z_1} \right)^2} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (7)$$

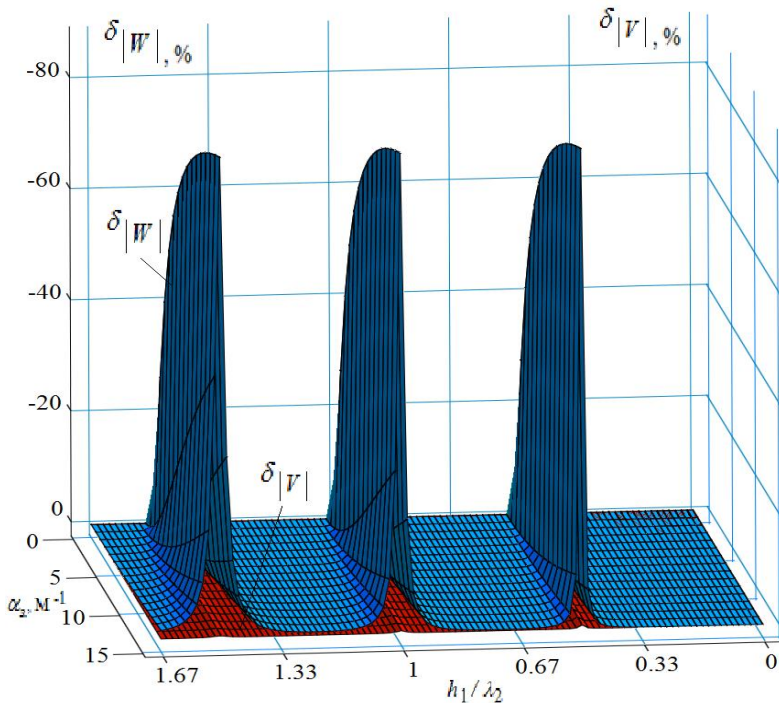
та

$$\delta_{|V|} = \left(|V| \sqrt{1 + \left(\frac{Z_1}{K m_s f \cos v} \right)^2} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (8)$$

На рис.3 наведено як впливає параметр згасання α_s (за піками кривих при $\alpha_s = 0$ та $\alpha_s = 15 \text{ м}^{-1}$) ультразвукових хвиль на їхні амплітудні співвідношення $|W|$, $|V|$ в залежності від зміни частоти f хвиль в контрольованому матеріалі (від зміни довжини хвилі λ_2 в матеріалі з порами). Зміну згасання амплітуди від частоти хвиль краще визначати за параметром співвідношення товщини матеріалу до довжини хвилі h_1 / λ_2 для плоского шару КТМ та за параметром $m_s / (\rho_2 \lambda_2)$ для текстильних матеріалів. На рис.3 наведено як змінюється згасання амплітуди хвиль при зміні їх частоти в полімерному шарі КТМ, а на рис.4 показано як змінюється згасання у текстильному матеріалі з наскрізними порами, зміну розмірів яких характеризує коефіцієнт K .



а



б

Рис. 3. Залежності відносних змін модулів комплексних коефіцієнтів проходження $\delta|W|$ та відбиття $\delta|V|$ для полімерного шару КТМ від параметрів h_1/λ_2 та α_3 :

а – залежності $\delta|W|$ та $\delta|V|$ від

параметру h_1/λ_2 при $\alpha_3 = 15 \text{ м}^{-1}$; б – залеж-

ності $\delta|W|$ та $\delta|V|$ від параметрів h_1/λ_2 та α_3 .

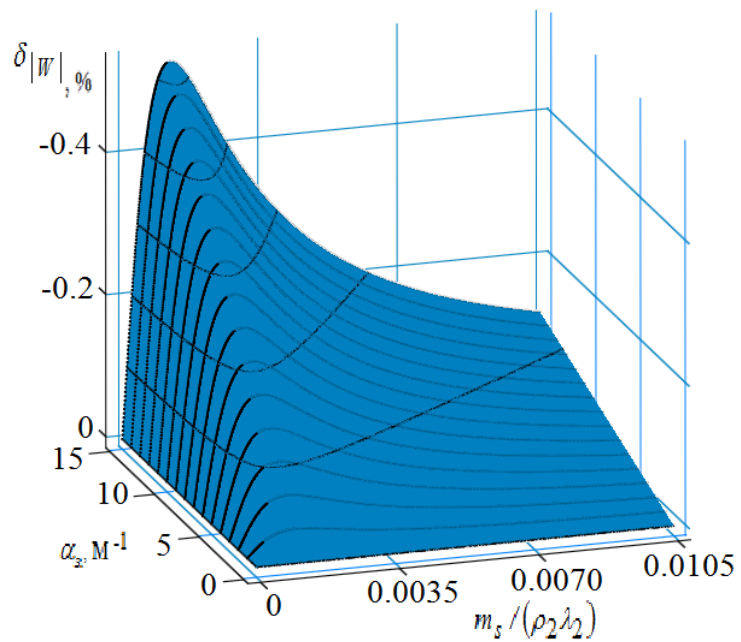
Як видно з наведених залежностей (рис.3) при малих порах в полімерному шарі КТМ проходження ультразвукових хвиль наближається до проходження хвиль в суцільному матеріалі. Це відбувається, тому що хвилі, які проходять крізь малі пори, менше впливають на результуючий сигнал ніж ті, що проходять крізь пори в текстильному матеріалі (при певному співвідношенні розмірів наскрізних пор та довжини ультразвукових хвиль). Частина ультразвукових хвиль, яка проходить крізь полімерний шар КТМ зазнає значного згасання (у порівнянні з текстильним полотном), тому що він не має міжволоконної пористості в своїй структурі, так як текстильні полотна. Також треба зазначити, що умовна товщина текстильного шару може значно переважати товщину полімерного шару в КТМ, через який можна пропускати ультразвукові хвилі в процесі безконтактного контролю. Це зумовлено меншим згасанням ультразвукових хвиль в шарі текстильного матеріалу.

Для текстильних полотен різниця між $\delta|W|$ та $\delta|V|$ для одношарових матеріалів буде незначною, а їх величина буде значно меншою за ці показники для полімерних шарів КТМ. Тому можна зробити висновок,

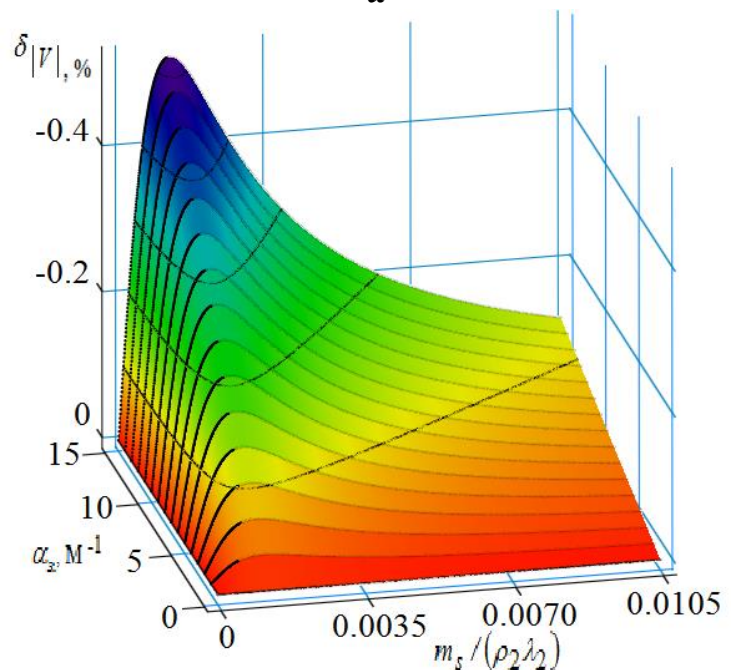
що згасанням ультразвукових хвиль, при поперечному прозвучуванні текстильних полотен можна знехтувати (рис.4). Середня швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль, при такому прозвучуванні текстильного одношарового матеріалу, буде наближатися до швидкості розповсюдження звукових хвиль у повітрі, оскільки більша частина хвиль проходить саме крізь нього, оминаючи самі нитки текстильного матеріалу. Для матеріалів з різною внутрішньою структурою швидкість розповсюдження хвиль може змінюватись.

Як видно з рис.4 для текстильних матеріалів згасання ультразвукових хвиль, які можуть застосовуватися для поперечного прозвучування такого матеріалу, буде незначним і ним можна знехтувати. Це можна пояснити тим, що хоч згасання хвиль в самих волокнах текстильних матеріалів може бути $\alpha_3 = 15 \text{ м}^{-1}$, але зважаючи, що більша частина хвиль огинають нитки з волокнами текстильного матеріалу і проходять крізь наскрізні пори, то цим згасанням для результуючого сигналу можна знехтувати.

Доведено, що параметром згасання α_3 для



а



б

Рис. 4. Залежності відносних змін модулів комплексних коефіцієнтів проходження $\delta|W|$ та відбиття $\delta|V|$ для текстильних матеріалів від параметрів $m_s / (\rho_2 \lambda_2)$ та α_3 :

а – залежність відносної зміни $\delta|W|$ від параметрів

$m_s / (\rho_2 \lambda_2)$ та α_3 ;

б – залежність відносної зміни $\delta|V|$ від параметрів

$m_s / (\rho_2 \lambda_2)$ та α_3 .

текстильного матеріалу можна знехтувати при поперечному його прозвучуванні. При цьому амплітудна похибка, спричинена згасанням, не перевищує 1%. Для полімерного шару КТМ амплітудна похибка залежить від вибору значення співвідношення h_1/λ_2 товщини контрольованого шару КТМ до довжини ультразвукової хвилі.

У **третьому розділі** проаналізовано взаємодію ультразвукових хвиль з двошаровими складовими КТМ з порами та без них при контролі наявності дефектів в їхній структурі. Зазначене розглядалося для можливості застосування зондуючих ультразвукових хвиль в процесі нанесення полімерного покриття на текстильні шари при виробництві різних двошарових композиційних матеріалів з різними порами для визначення зміни товщини та об'ємної щільності матеріалу.

Одержано залежності різниць амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль та їхніх фазових зсувів, які взаємодіють з КТМ із дефектом, від товщин складових шарів матеріалу і від товщини самого дефекту.

В роботі розглянуто взаємодію ультразвукових хвиль з текстильним матеріалом в хвилеводі. Сам хвилевід за довжиною та з кріпленням для ультразвукових перетворювачів дозволяє хвилі, що випромінюється та проходить крізь структуру текстильного матеріалу під кутом з визначеною кількістю її основних перевідбивань, бути прийнятою до приймача хвиль із більшою зміною своєї амплітуди. Також в роботі отримано вирази для модулів комплексного коефіцієнта проходження хвилі у хвилеводі з розташуванням датчиків по одну сторону контрольованого матеріалу та для комплексного коефіцієнта проходження хвилі у хвилеводі з розташуванням датчиків по різні сторони від контрольованого матеріалу. Сам модуль $|V_{\theta 2}|$ комплексного коефіцієнту відбиття зондуючих хвиль в системі хвилевід – текстильний матеріал можна подати як:

$$\begin{aligned}
 |V_{\theta 2}| &= \sqrt{\operatorname{Re} V_{\theta 2}^2 + \operatorname{Im} V_{\theta 2}^2} = \\
 &= \left(\left(W_{\theta 13} V_{\theta 32}^* W_{\theta 31} V_{\theta 32}^{*2(m-2)} \cdot \cos((2(m-2)+2) K_3 h_3 \cos \nu_3) \right)^2 + \right. \\
 &\left. + \left(W_{\theta 13} V_{\theta 32}^* W_{\theta 31} V_{\theta 32}^{*2(m-2)} \cdot \sin((2(m-2)+2) K_3 h_3 \cos \nu_3) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}.
 \end{aligned} \tag{9}$$

$W_{\theta 13}, W_{\theta 31}$ – коефіцієнти часткового проходження хвиль відповідних середовищ повітря та контрольованого матеріалу; $V_{\theta 32}^*$ – коефіцієнт часткового відбивання хвиль від відповідних середовищ текстильного матеріалу та жорстких стінок хвилеводу; m – кількість перевідбитих складових хвиль у хвилеводі; ν_3 – кут між напрямом розповсюдження хвиль, які проходять крізь пори, та між поверхнею контрольованого матеріалу.

Коли перетворювачі, що кріпляться до хвилеводу, знаходяться по різні сторони текстильного матеріалу, то модуль комплексного коефіцієнту проходження хвиль $|W_{\theta 3}|$ можна подати як:

$$\begin{aligned}
|W_{\theta 3}| &= \sqrt{\operatorname{Re} W_{\theta 3}^2 + \operatorname{Im} W_{\theta 3}^2} = \\
&= \left(\left(W_{\theta 13} W_{\theta 31} V_{\theta 32}^{*2(m-1)} \cdot \cos((2(m-1)+1) K_3 h_3 \cos v_3) \right)^2 + \right. \\
&\quad \left. + \left(W_{\theta 13} W_{\theta 31} V_{\theta 32}^{*2(m-1)} \cdot \sin((2(m-1)+1) K_3 h_3 \cos v_3) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}.
\end{aligned} \tag{10}$$

За допомогою отриманих залежностей можна проаналізувати взаємодію ультразвукових хвиль з текстильними матеріалами для можливості визначення їх технологічних параметрів в процесі виробництва.

При цьому необхідно регулювати потужність ультразвукових хвиль, які взаємодіють з текстильним волоконним матеріалом. Це необхідно для можливості контролю як за проходженням хвиль з їхнім огинанням матеріалу, враховуючи його зовнішню структуру, так і для подібного контролю матеріалу з врахуванням його внутрішньої структури. Існує можливість, крім зміни потужності випромінюючих хвиль, налаштувати їхню частоту під різну структуру текстильного матеріалу, яка впливає на зміну його пор. На рис.5 наведені коефіцієнти $ReW_{\theta 3}$, $ReV_{\theta 2}$ звукового тиску, що змінюються від товщини h_3 текстильного матеріалу в залежності від параметру m , який пов'язаний з хвилеводами. Проведений аналіз показав, що розповсюдження ультразвукових хвиль у хвилеводі при їх проходженні пористого текстильного матеріалу, експоненціально збільшує

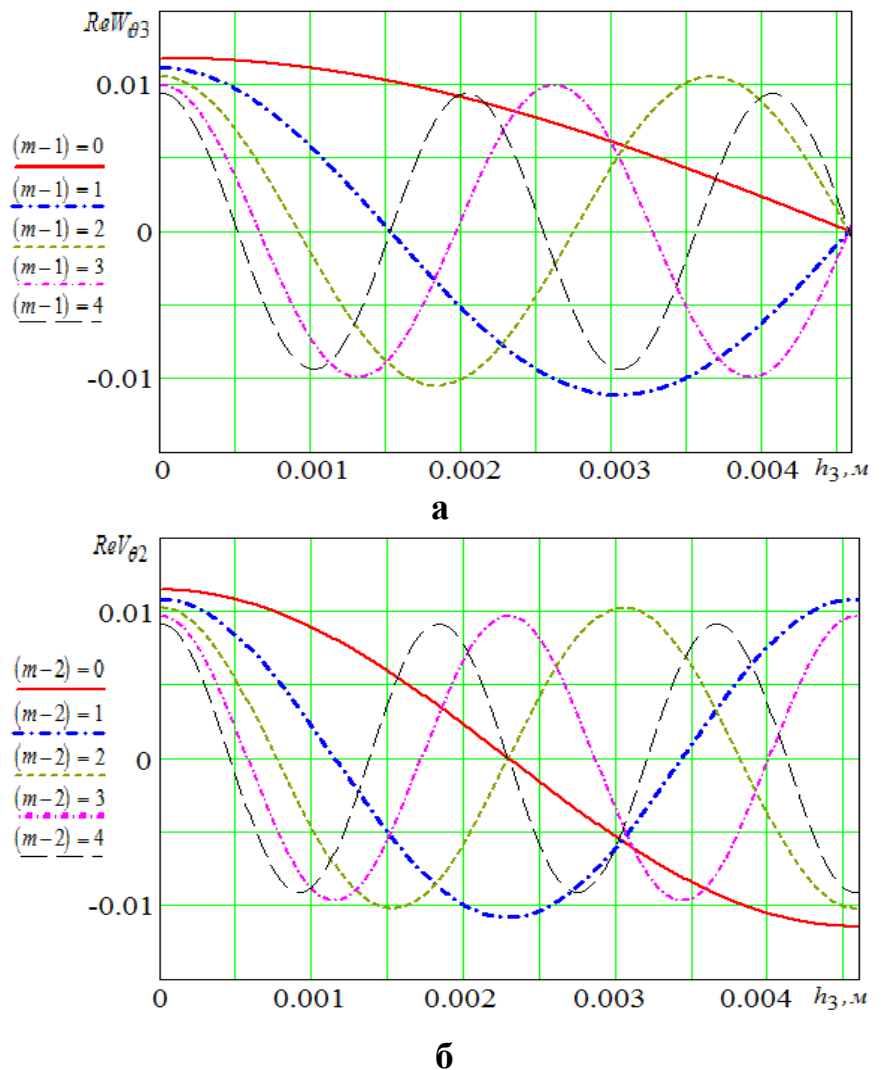


Рис. 5. Розподіл коефіцієнтів $ReW_{\theta 3}$, $ReV_{\theta 2}$ звукового тиску за товщиною h_3 текстильної стрічки в залежності від параметру m різних хвилеводів:
а – для хвилеводу з датчиками по різні сторони текстильної стрічки;
б – для хвилеводу з датчиками по одну сторону текстильної стрічки

зміну амплітуди хвиль та може підвищити чутливість безконтактних датчиків до самого текстильного матеріалу. За таким характером зменшується амплітуда хвиль від збільшення товщини або від збільшення поверхневої густини m_s текстильного матеріалу, які досить є часто обмеженими за своєю величиною технологічно, що, в свою чергу, робить досить складною задачу визначення зміни зондуючих хвиль в робочих умовах без застосування хвилеводів.

Тому використання таких засобів допоможе вирішити проблему безконтактного визначення основних технологічних параметрів для різних пористих текстильних матеріалів із складною внутрішньою структурою.

Застосування направляючих поверхонь, що відбивають та концентрують ультразвукові хвилі для безконтактного контролю текстильних матеріалів, допоможе у подальшому покращити технологічне обладнання, яке застосовуватиметься в легкій промисловості. Вдосконалення самих технічних засобів для виробництва текстильних матеріалів може відбуватися шляхом інтегрування безконтактних комп'ютеризованих систем контролю технологічних параметрів полотен та ниток до структури текстильних машин.

У **четвертому розділі** показано, що за зміною амплітудних співвідношень, які пропорційні модулям $|V|$ та $|V_o|$, відбитих ультразвукових хвиль від тканини та від ниток основи відносно амплітуди хвилі, яка падає на поверхню матеріалу, можна визначати їх натяг Q_o та силу P прибою нитки утоку (рис.6) в процесі ткацтва. Наведено результати досліджень безконтактного визначення натягу Q_o ниток основи на ткацькому верстаті, які дадуть можливість зменшити їх обривність у процесі виготовлення тканин. Також показано, що, знаючи натяг ниток Q_o , можна визначити фактичне значення поверхневої густини m_s тканини при її виробництві.

Показано, що системи із застосуванням безконтактних датчиків, можуть включати платформи сканування текстильного полотна та сканування ряду ниток у певний момент часу в процесі ткацтва, що дасть можливість проводити оперативний контроль технологічних параметрів різних полотен.

Для трикотажних машин сьогодні системи регулювання натягу ниток в основному є тільки механічними, це не дає можливості визначити фактичне значення цього параметру в процесі роботи таких систем і відповідно до цього вносити правильне коригування з необхідною точністю, що може суттєво впливати на якість готової продукції. Рух ниток з певним натягом по робочим органам трикотажних машин представляє собою рух по направляючим різної форми. У роботі приведено залежності модуля комплексного коефіцієнту проходження $|W_{T3}|$ від натягу P_0 веденої та P_1 ведучої гілки нитки або пряжі для бавовни, віскози, капрону та вовни, а також від параметрів $\cos \nu_3$ та умовного радіуса r цих ниток. Зазначені нитки та пряжа поширені і можуть застосовуватися на трикотажних машинах для виробництва різних полотен.

Наведено залежності модуля $|W_{T3}|$ ультразвукових хвиль від зміни об'ємної щільності ρ_2 текстильних матеріалів, що впливає на зміну натягу P_1 ведучої гілки нитки при $P_0 = 10 \text{ cH}$.

Також в роботі одержано залежності зміни швидкості c_2 розповсюдження ультразвукових хвиль в текстильних матеріалах з різною лінійною густиною від їхнього натягу при повздовжньому прозвучуванні волокон.

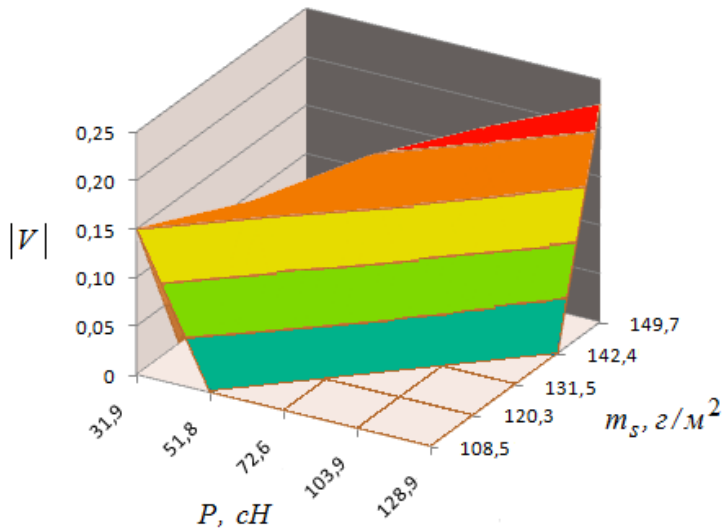


Рис.6. Залежність амплітудних співвідношень відбитих ультразвукових хвиль, які пропорційні модулю $|V|$, від сили прибою нитки утоку P , cH тканини в процесі ткацтва та від її поверхневої густини m_s , $г/м^2$

по самих волоконах матеріалу як по хвилеводах.

Отримано залежності модуля $|W_{нов.}|$ повздовжнього проходження ультразвукових хвиль текстильного матеріалу від зростання натягу та від збільшення його лінійної густини, де для першого випадку залежність зростає, а для другого – спадає.

Модуль комплексного коефіцієнта повздовжнього проходження ультразвукових хвиль можна показати як:

$$|W_{нов.}| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \alpha_{0з} \cdot \frac{P_n \cdot c_2 \cdot T_m}{2\pi P_k \cdot \rho_1 c_1 B_m}\right)^2 + \left(\frac{T_m \cdot f}{B_m \cdot \rho_1 c_1}\right)^2}} \quad (11)$$

З останнього виразу можна визначити швидкість ультразвукових хвиль в текстильному матеріалі, що може змінюватися в залежності від зміни розпрямленості волокон та їх наближенні до елементарного хвилеводу за розповсюдженням хвиль по ним. Значення цієї швидкості хвиль можна подати так:

Доведено, що із збільшенням натягу текстильного матеріалу швидкість c_2 розповсюдження хвиль в ньому збільшується, а при однаковому натязі із збільшенням лінійної густини матеріалу швидкість c_2 хвиль, навпаки, зменшується.

При збільшенні натягу текстильного матеріалу елементарні волокна у ньому починають однаково упорядковуватися в структурі стрічки або ниток, поступово розпрямляючись. Це призводить до збільшення швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в структурі самих волокон та до збільшення амплітуди хвиль, які починають розповсюджуватися повздовжньо

$$c_2 = \frac{2\pi P_k \rho_1 c_1 B_m \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{|W_{нов.}|^2} - \left(\frac{T_m \cdot f}{B_m \cdot \rho_1 c_1}\right)^2} - 1 \right)}{\alpha_{0з.} P_n \cdot T_m}, \quad (12)$$

а поточний натяг текстильного матеріалу можна тоді визначити як:

$$P_k = \frac{\alpha_{0з.} P_n \cdot c_2 T_m}{2\pi \rho_1 c_1 B_m \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{|W_{нов.}|^2} - \left(\frac{T_m \cdot f}{B_m \cdot \rho_1 c_1}\right)^2} - 1 \right)}, \quad (13)$$

де ρ_1, c_1 – об'ємна щільність повітря та швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі в ньому; B_m – ширина текстильного матеріалу; T_m – лінійна густина текстильного матеріалу; P_n – початковий натяг матеріалу; $\alpha_{0з.}$ – початковий коефіцієнт згасання в матеріалі при натязі P_n .

На рис.7 показані залежності зміни швидкості c_2 хвиль від натягу P_k матеріалів та від їхньої лінійної густини T_m . На рис.8 наведено поверхню залежності зміни модуля $|W_{нов.}|$ від зміни натягу P_k та лінійної густини T_m матеріалу.

З рис.7,а можна побачити, що при збільшенні натягу P_k текстильного матеріалу збільшується і швидкість c_2 розповсюдження ультразвукових хвиль в середині його структури. При цьому у матеріалі з більшою лінійною густиною швидкість

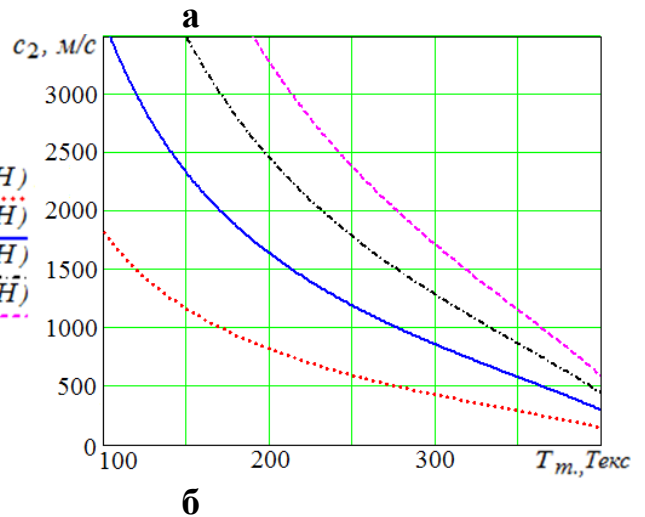
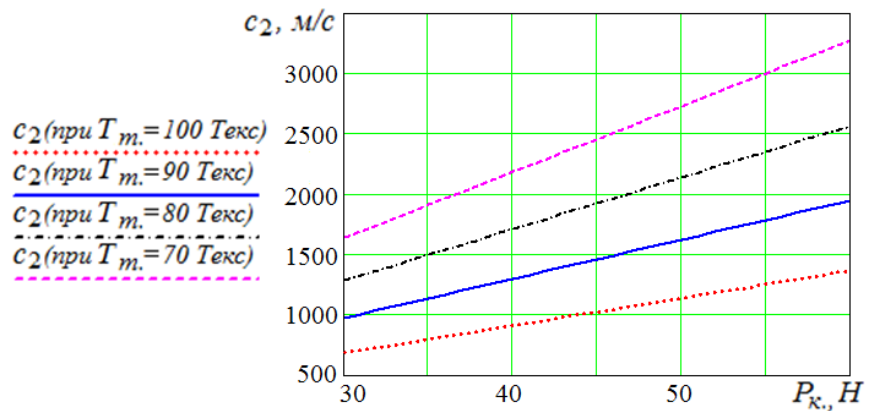


Рис.7. Залежності зміни швидкості c_2 ультразвукових хвиль від натягу P_k , різних текстильних матеріалів та від їхньої лінійної густини T_m :

а – залежності c_2 хвиль від натягу P_k , текстильних матеріалів; б – залежності c_2 хвиль від лінійної густини T_m текстильних матеріалів

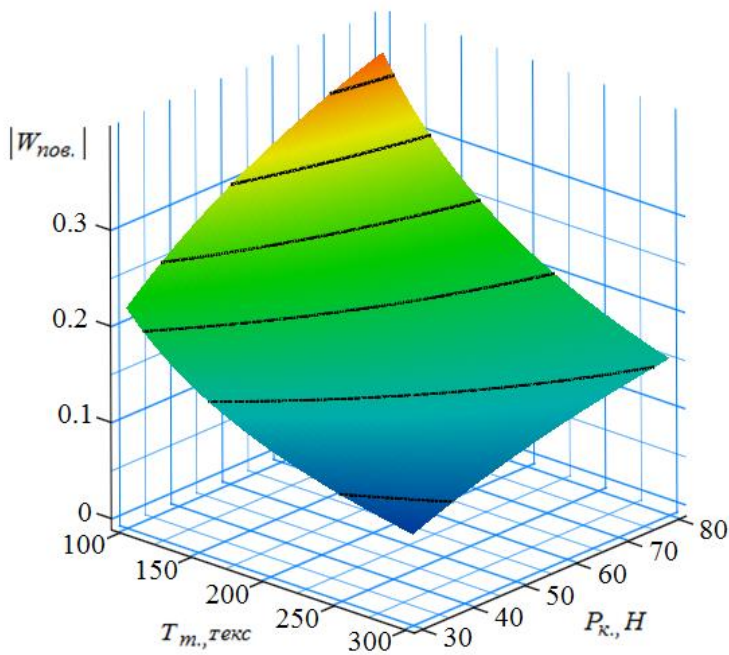


Рис.8. Поверхня залежності зміни модуля $|W_{нов.}|$ повздожнього проходження ультразвукових хвиль крізь текстильний матеріал від зміни натягу P_k , та лінійної густини T_m , матеріалу

для повздожнього проходження ультразвукових хвиль крізь текстильний матеріал від зміни натягу P_k , та лінійної густини T_m , матеріалу. Показано, що при збільшенні лінійної густини T_m , текстильного матеріалу амплітуда зондуючих хвиль, яка пропорційна модулю $|W_{нов.}|$, буде зменшуватись, а при збільшенні натягу P_k , матеріалу, навпаки, амплітуда буде збільшуватись.

Проведений аналіз показує, що повздожнє прозвучування дає можливість додатково використовувати такий параметр ультразвукових хвиль як зміна швидкості c_2 зондуючих коливань в структурі текстильного матеріалу. За цим параметром та амплітудою ультразвукових хвиль можна визначати додатково натяг P_k , текстильного матеріалу в певних межах.

У п'ятому розділі наведено розроблені структурні схеми комп'ютеризованих систем контролю різних технологічних параметрів текстильних матеріалів з описом принципу їхньої дії, а саме: комп'ютеризованої системи сканування тканини в процесі виробництва, яка дає можливість оперативно проводити контроль натягу ниток основи та самої тканини для забезпечення технологічного впливу на ткацьке обладнання; системи контролю текстильної волоконної маси та визначення натягу ниток на трикотажних машинах; комп'ютеризованої системи контролю текстильної волоконної маси та текстильних полотен з визначенням їхньої поверхневої густини фазовим та амплітудно-фазовим ультразвуковими методами; комп'ютеризованої системи ультразвукового контролю об'ємної щільності текстильних полотен з виключенням впливу зміни натягу матеріалу на технологічному обладнанні в процесі виробництва; комп'ютеризованої системи для контролю зміни пористості

розповсюдження c_2 ультразвукових хвиль буде меншою за значення цього параметру у матеріалі з меншою лінійною густиною при однаковому натязі P_k . На рис.7,б показано, що швидкість c_2 ультразвукових хвиль в структурі матеріалу зменшується при збільшенні його лінійної густини T_m , та при меншому натязі P_k . Також порівняння графіків з рис.7,а та рис.7,б показує, що більша міжволоконна пористість може впливати на зменшення швидкості хвиль c_2 в текстильному матеріалі при його повздожньому прозвучуванні.

На рис.8 наведена поверхня залежності зміни модуля $|W_{нов.}|$

текстильних полотен, яку можна буде використовувати для визначення нерівномірної пористості фільтрувальних тканин, а також для полотна з невідповідним розміром пор та інших дефектів у ньому.

Розроблена структурна схема комп'ютеризованої системи (рис.9), яка може працювати в двох режимах, а саме для контролю поверхневої густини текстильної волоконної маси, або для контролю натягу ниток на трикотажних машинах. Зазначене розширює застосування такої системи.

Разом п'єзоелектричні перетворювачі 5, 6, 7 та кріплення скоби 8 представляють собою перший блок з ультразвуковими датчиками 1 (БУД1), а п'єзоелектричні перетворювачі 21, 22, 25, 26 разом із верхніми частинами хвилеводів 23, 27 та із нижніми їхніми частинами 24, 28 представляють собою другий блок з ультразвуковими датчиками 2 (БУД2). При підключенні БУД1 до загального блоку передачі інформації і керування (ЗБПК) та до блоку перетворення і обробки інформації (БПОІ) комп'ютеризована система може безконтактно визначати поверхневу густину текстильної волоконної маси. Якщо цю систему використовувати для безконтактного контролю натягу ниток з великою лінійною густиною на трикотажних машинах, то переключивши перемикачі 18, 19, 20 в друге положення до ЗБПК підключаються випромінюючі п'єзоелектричні перетворювачі 21, 25, а до БПОІ підключаються приймаючі п'єзоелектричні перетворювачі 22, 26 частини БУД 2.

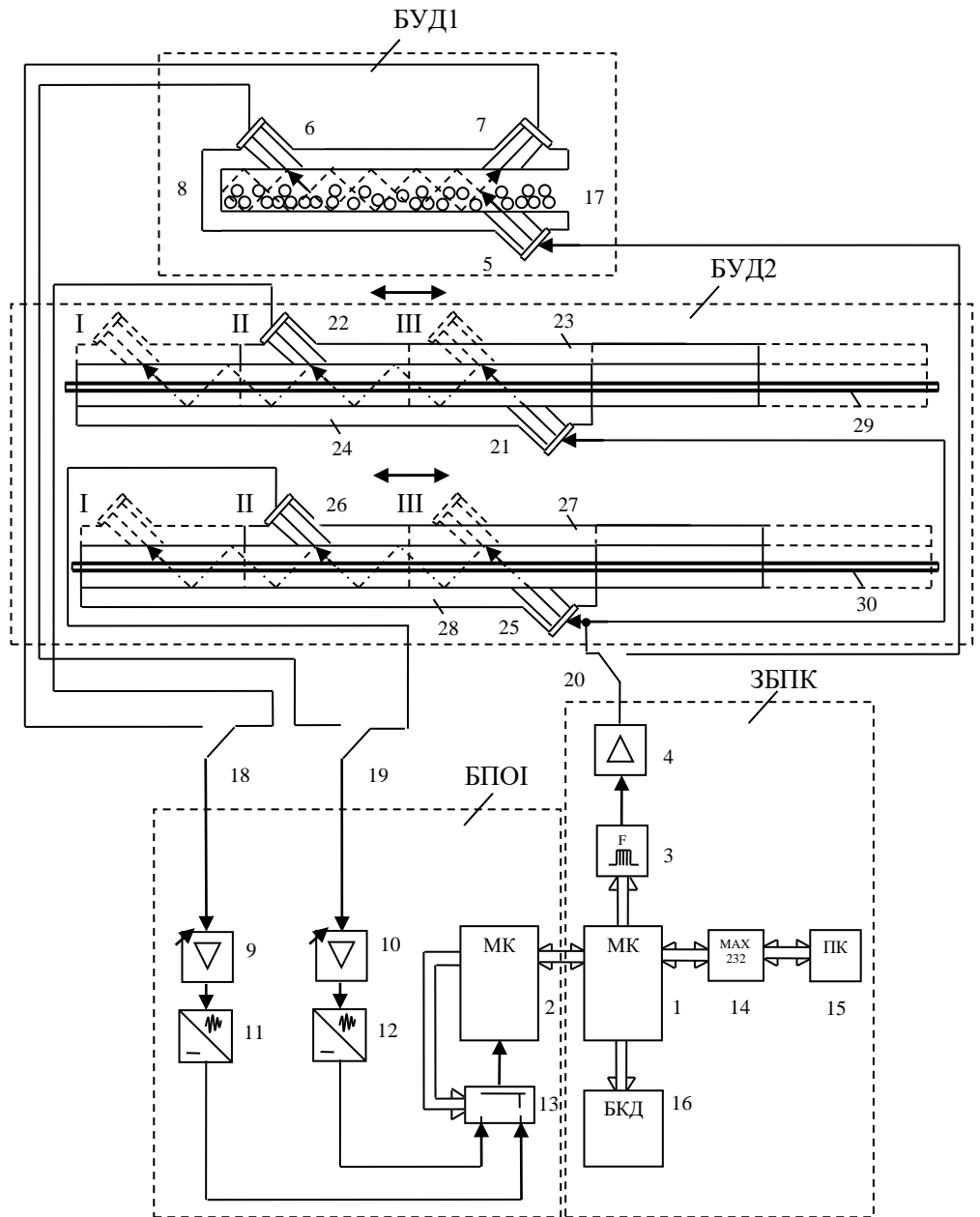


Рис.9. Структурна схема комп'ютеризованої системи контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів

Якщо цю систему використовувати для безконтактного контролю натягу ниток з великою лінійною густиною на трикотажних машинах, то переключивши перемикачі 18, 19, 20 в друге положення до ЗБПК підключаються випромінюючі п'єзоелектричні перетворювачі 21, 25, а до БПОІ підключаються приймаючі п'єзоелектричні перетворювачі 22, 26 частини БУД 2.

Коли комп'ютеризована система працює в режимі контролю поверхневої густини текстильної волоконної маси до неї підключається БУД1. За його допомогою утворюються напруги U_1 та U_2 із певною затримкою у часі. Вона пов'язана з різною відстанню для ультразвукових хвиль, яку вони проходять перед потраплянням на перший 6 та другий 7 приймальні п'єзоперетворювачі відповідно. Момент переключення вимірювальних каналів за допомогою комутаційного блоку 13 та мікроконтролера 2 (МК2) синхронізується з часом утворення електричних напруг U_1 та U_2 . Згасання амплітуд ультразвукових хвиль повинне бути у встановленому робочому діапазоні для можливості отримання невідомих значень поверхневої густини для текстильної волоконної маси. Цей параметр також визначається у робочому діапазоні для комп'ютеризованої системи. За допомогою внутрішнього аналого-цифрового перетворювача (АЦП) МК2 напруга U_1 перетворюється в цифровий код N_1 так:

$$N_1 = \frac{U_1}{r_u} = \frac{K_1 K_2 K_4 K_6 K_8}{\sqrt{1 + \left(\frac{n_{1np} \cdot m_{ov} m_k f \cos v}{Z_1} \right)^2}} \frac{U_m}{r_u}, \quad (14)$$

де r_u – одиниця найменшого молодшого розряду АЦП МК2 за напругою; m_k – поверхнева кількісна густина текстильної волоконної маси 17; n_{1np} – кількість проходжень ультразвукової хвилі до п'єзоперетворювача 6 перерізу хвилеводу, який утворюється верхньою та нижньою стінкою скоби 8; m_{ov} – середня маса одного волокна; K_1 – коефіцієнт підсилення підсилювача 4; K_2 – коефіцієнт перетворення коливань випромінюючим п'єзоперетворювачем 5 та приймаючим п'єзоперетворювачем 6; K_4 – коефіцієнт підсилення регульованого підсилювача 10; K_6 – коефіцієнт перетворення напруги амплітудного детектора 12; K_8 – коефіцієнт передачі сигналу блоком комутації 13.

Інша напруга U_2 перетворюється за допомогою внутрішнього АЦП МК2 в цифровий код N_2 як:

$$N_2 = \frac{U_2}{r_u} = \frac{K_1 K_3 K_5 K_7 K_8}{\sqrt{1 + \left(\frac{n_{2np} \cdot m_{ov} m_k f \cos v}{Z_1} \right)^2}} \frac{U_m}{r_u}, \quad (15)$$

де n_{2np} – кількість проходжень ультразвукової хвилі до п'єзоперетворювача 7 перерізу хвилеводу, який утворюється верхньою та нижньою стінкою скоби 8; K_1 – коефіцієнт підсилення підсилювача 4; K_3 – коефіцієнт перетворення коливань випромінюючим п'єзоперетворювачем 5 та приймаючим п'єзоперетворювачем 7; K_5 – коефіцієнт підсилення регульованого підсилювача 9; K_7 – коефіцієнт перетворення напруги амплітудного детектора 11; K_8 – коефіцієнт передачі сигналу блоком комутації 13.

Отримані коди N_1 та N_2 передаються до мікроконтролера 1 (МК1), який виробляє сигнал для блоку керування двигунами 16 (БКД16), що, у свою чергу, керує двигунами транспортного механізму, який переміщує текстильну волоконну масу 17 для подальшого зондування наступних волокон.

З МК1 отримані коди N_1 та N_2 передаються через мікросхему перетворення логічних рівнів 14 (МАХ 232) до персонального комп'ютера 15 (ПК15), де і визначається поверхнева густина m_s текстильної волоконної маси. При налаштуванні системи, коли $U_{max} = N_{max} \cdot r_u = K_1 K_2 K_4 K_6 K_8 U_m = 5B$, $K_2 = K_3$, $K_4 = K_5$ та $K_6 = K_7$, тоді поверхнева густина m_s текстильної волоконної маси визначається за допомогою спеціальної програми на ПК 15 наступним виразом:

$$m_s = m_k m_{ov} = \frac{Z_1 N_m}{2f} \cdot \left(\left(\sqrt{\left(\frac{N_{max}}{N_1} \right)^2 - 1} \right) \cdot N_{1np} + \left(\sqrt{\left(\frac{N_{max}}{N_2} \right)^2 - 1} \right) \cdot N_{2np} \right), \quad (16)$$

де N_m – код, який відповідає значенню величини $1/\cos \nu$ та вводиться в пам'ять системи для обчислення середньої поверхневої густини m_s текстильної волоконної маси 17; N_{1np} – код, який відповідає значенню величини $1/n_{1np}$ та вводиться в пам'ять системи, а також залежить від геометричних розмірів скоби 8; N_{2np} – код, який відповідає значенню величини $1/n_{2np}$ та вводиться також в пам'ять системи.

Перед початком вимірювання система налаштовується без контрольованої волоконної маси 17 всередині скоби 8. При цьому за допомогою регулюючих підсилювачів 9, 10 забезпечується $N_{max} = N_1 = N_2$, тоді враховуючи цю рівність з виразу (16) отримаємо $m_s = 0$.

Коли підключається БУД2, тоді комп'ютеризована система працює в режимі визначення натягу двох ниток із великою лінійною густиною на базі виміряних амплітуд напруг, які пропорційні амплітудам ультразвукових хвиль, що взаємодіють з волокнами ниток у хвилеводах. На трикотажних круглов'язальних машинах для оперативного моніторингу натягу великої кількості ниток, коли вони знаходяться на певній відстані одна від одної, підключаються додаткові блоки комутації до всієї системи. Це дозволяє підключити інші вимірювальні канали з хвилеводами. Також є можливість додаткового підключення багатьох БПОІ з датчиками до ЗБК за необхідності, що забезпечує принцип модульності та гнучкості системи контролю під технологічні процеси різних текстильних машин. Розглядається БУД2 на рис.9 як одиничний модуль для визначення натягу тільки двох ниток, щоб описати принцип роботи комп'ютеризованої системи у цьому режимі роботи.

Якщо потрібно контролювати натяг ниток на круглов'язальних машинах БУД1 відключається і під'єднується БУД 2 до комп'ютеризованої системи. Розглянемо принцип роботи комп'ютеризованої системи, коли вона працює на визначення поточного значення натягу ниток на текстильній машині в процесі виготовлення трикотажного полотна. Імпульси ультразвукової частоти f , що створюються МК1 надходять на формувач імпульсного сигналу 3, з виходу якого пакети імпульсів з напругою U_m подаються на підсилювач 4. Після чого імпульсний

сигнал надходить на п'єзоперетворювачі 21, 25, за допомогою яких перетворюється в пакети ультразвукових хвиль. Ці хвилі проходять текстильні волокна ниток 29, 30 в двох хвилеводах, які, у свою чергу, складаються з верхніх частин 23, 27 та з нижніх частин 24, 28, що закріплені. В процесі проходження ультразвукові хвилі перевідбиваються від верхніх стінок частин 23, 27, обох хвилеводів, та від їхніх нижніх стінок частин 24, 28. При цьому хвилі можуть проходити переріз хвилеводів перевідбиваючись від їхніх стінок стільки разів скільки потрібно для максимальної чутливості зміни амплітуди коливань до зміни геометричних розмірів нитки в процесі її натягу. Це регулюється трьома положеннями верхніх частин 23, 27 хвилеводів, які приводяться у рух і чітко зупиняються у фіксованих положеннях (на рис.9 – положення I, II, III) за рахунок приводів, що підключаються до них та керуються БКД 16. МК1 може через БКД 16 налаштовувати чутливість безконтактних датчиків до лінійної густини контрольованих ниток. Ультразвукові датчики знаходяться закріпленими у верхніх частинах 23, 27 хвилеводів.

Після того як ультразвукові хвилі пройдуть контрольовані нитки 29, 30 декілька разів перевідбиваючись у хвилеводах вони потрапляють до приймаючих п'єзоперетворювачів 22, 26, що перетворюють ультразвукові хвилі в електричні коливання, а далі надходять на регульовані підсилювачі 9, 10, де підсилюються за потужністю. Потім ці електричні коливання детектуються та перетворюються в постійні напруги U_3 та U_4 за допомогою амплітудних детекторів 11, 12. Постійні напруги U_3 та U_4 , що утворилися, надходять до комутаційного блоку 13, який переключає вимірювальні канали по чергово. Вони з'єднуються з входом МК2, де напруги U_3 та U_4 перетворюються із затримкою, (пов'язана з різними положеннями датчиків) за допомогою внутрішнього АЦП МК2, в цифрові коди N_3 та N_4 , які можна представити наступними виразами:

$$N_3 = \frac{U_3}{r_u} = \frac{K_1 K_9 K_4 K_6 K_8}{\sqrt{1 + \left(\frac{n_{3np} \cdot d_{H1} \rho_2 \pi^2 f \cos v_{H1}}{4Z_1} \right)^2}} \frac{U_m}{r_u}, \quad (17)$$

$$N_4 = \frac{U_4}{r_u} = \frac{K_1 K_{10} K_5 K_7 K_8}{\sqrt{1 + \left(\frac{n_{4np} \cdot d_{H2} \rho_2 \pi^2 f \cos v_{H2}}{4Z_1} \right)^2}} \frac{U_m}{r_u}, \quad (18)$$

де n_{3np} , n_{4np} – кількість проходжень ультразвукових хвиль до п'єзоперетворювачів 22, 26 перерізів першого та другого хвилеводів БУД 2; K_9 – коефіцієнт перетворення коливань випромінюючим п'єзоперетворювачем 25 та приймаючим п'єзоперетворювачем 26; K_{10} – коефіцієнт перетворення коливань випромінюючим п'єзоперетворювачем 21 та приймаючим п'єзоперетворювачем 22; v_{H1} , v_{H2} – кути між напрямками розповсюдження частин хвиль, що огинають волокна ниток в першому і в другому хвилеводах БУД2, та поверхнею волокон;

d_{H1} , d_{H2} – еквівалентні діаметри ниток при певних параметрах $\cos v_{H1}$, $\cos v_{H2}$ в першому та в другому хвилеводах БУД 2.

Далі коди N_3 , N_4 передаються через мікросхему перетворення логічних рівнів 14 до ПК 15, де i визначається натяг ниток в хвилеводах. Якщо прийняти $U_{03} = K_1 K_9 K_4 K_6 K_8 U_m$, $U_{04} = K_1 K_{10} K_5 K_7 K_8 U_m$, то умовні еквівалентні діаметри ниток d_{H1} , d_{H2} при певних параметрах $\cos v_{H1}$, $\cos v_{H2}$ в хвилеводах, а також відповідні їм коди N_{d1} , N_{d2} визначаються в ПК 15 так:

$$d_{H1} = \frac{4Z_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{03}}{U_3}\right)^2 - 1}}{n_{3np} \cdot \pi^2 f \rho_2 \cdot \cos v_{H1}}, \quad N_{d1} = \frac{N_{m1} N_{3np} \cdot \sqrt{\left(\frac{N_{03}}{N_3}\right)^2 - 1}}{N_{zf\rho}},$$

$$d_{H2} = \frac{4Z_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{U_{04}}{U_4}\right)^2 - 1}}{n_{4np} \cdot \pi^2 f \rho_2 \cdot \cos v_{H2}}, \quad N_{d2} = \frac{N_{m2} N_{4np} \cdot \sqrt{\left(\frac{N_{04}}{N_4}\right)^2 - 1}}{N_{zf\rho}},$$
(19)

де N_{m1} – код, який відповідає значенню величини $1/\cos v_{H1}$ та вводиться в пам'ять системи для обчислення натягу P_1 нитки у першому хвилеводі; N_{m2} – код, який відповідає значенню величини $1/\cos v_{H2}$ та вводиться в пам'ять системи для обчислення натягу P_2 нитки у другому хвилеводі; N_{3np} – код, який відповідає значенню величини $1/n_{3np}$ та вводиться в пам'ять системи в залежності від положення верхньої частини 27 першого хвилеводу (положення I, II, або III); N_{4np} – код, який відповідає значенню величини $1/n_{4np}$ та вводиться в пам'ять системи в залежності від положення верхньої частини 23 другого хвилеводу (положення I, II, або III); $N_{zf\rho}$ – код, який відповідає значенню величини $4Z_1 / (\pi^2 f \rho_2)$ та вводиться також в пам'ять системи.

Оскільки базовий модуль БПОІ має тільки два канали, за допомогою яких можна вимірювати натяг для двох ниток, то підключення аналогічних модулів у необхідній кількості до модуля ЗБПК дозволить визначати натяг усіх ниток, які використовуються у технологічному процесі. Такий принцип підключення аналогічних модулів дозволяє проявляти гнучкість таких систем до їх налаштування під різні текстильні машини. Натяги P_1 та P_2 ниток в хвилеводах за спрощеним виразом, визначається в ПК 15 з використанням кодів як:

$$P_1 = P \cdot \left(\frac{d_{H0}}{d_{H1}}\right)^3 = P \cdot \left(\frac{N_{d0}}{N_{d1}}\right)^3, \quad P_2 = P \cdot \left(\frac{d_{H0}}{d_{H2}}\right)^3 = P \cdot \left(\frac{N_{d0}}{N_{d2}}\right)^3,$$
(20)

де d_{H0} – діаметр нитки в хвилеводі при її визначеному початковому натязі P ; N_{d0} – код, який вводиться в пам'ять системи та відповідає діаметру нитки d_{H0} .

Ультразвукові перетворювачі БУД 2 можна налаштувати також і для безконтактного розпізнавання обриву ниток за певних отриманих величин кодів N_3 та N_4 для можливості зупинки технологічного обладнання. Вони не мають недоліків, що характерні контактним датчикам, які можуть не завжди спрацьовувати при обриві ниток і призводити до бракування трикотажних полотен. Зазначене пов'язано безпосередньо із самим контактом матеріалу та датчика.

Запропонована комп'ютеризована система дозволяє проводити оперативний безконтактний контроль технологічних параметрів для різних текстильних матеріалів у процесі виробництва. Тому застосовується принцип модульності системи, при цьому безперервний контроль досягається за допомогою переключення БУД 1 та БУД 2 в залежності від технологічного процесу та поставленої задачі. Така система контролю дозволить проводити контроль усередненої поверхневої густини текстильної волоконної маси, а також дозволить контролювати натяг ниток на трикотажних машинах, що може зменшити їх обривність. Зазначене впливає на дефекти самого трикотажного полотна і на зменшення простою технологічного обладнання на виробництві.

У **шостому розділі** наведено експериментальні зразки комп'ютеризованих систем контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів.

Структурна схема першого зразка розробленої комп'ютеризованої системи безконтактного контролю поверхневої густини і пористості текстильних матеріалів показана на рис.10. Структура операцій системи для реалізації амплітудного методу контролю та алгоритм сканування полотна приведені на рис.11, а готовий складовий блок створеного зразка наведений на рис.12.

Така система контролю текстильних матеріалів працює наступним чином. Зовнішній цифровий генератор 1 виробляє пакети імпульсів, які через підсилювач потужності 2 потрапляють на п'єзоперетворювач 3, що перетворює їх в ультразвукові хвилі, які випромінюються у навколишнє середовище. Ці ультразвукові хвилі проходять крізь контрольований текстильний матеріал 23 та потрапляють на п'єзоперетворювач 4, який перетворює їх знову в електричні коливання, після чого вони надходять на регульований підсилювач 8, де коливання підсилюються за потужністю та надходять далі на простий амплітудний детектор 9. За допомогою амплітудного детектора 9 коливання перетворюються в однополярну напругу U_1 . Оптимальну тривалість прийнятого пакету електричних коливань можна налаштувати за допомогою цифрового генератора 1, що пов'язано з відстанню між текстильним матеріалом 23 та п'єзоперетворювачами 3 та 4. Це необхідно для зменшення амплітудної похибки з однієї сторони, а з іншої сторони, необхідно слідкувати за тим, щоб не відбувалося явище перевідбивань зондуючих хвиль з подальшим їх накладанням.

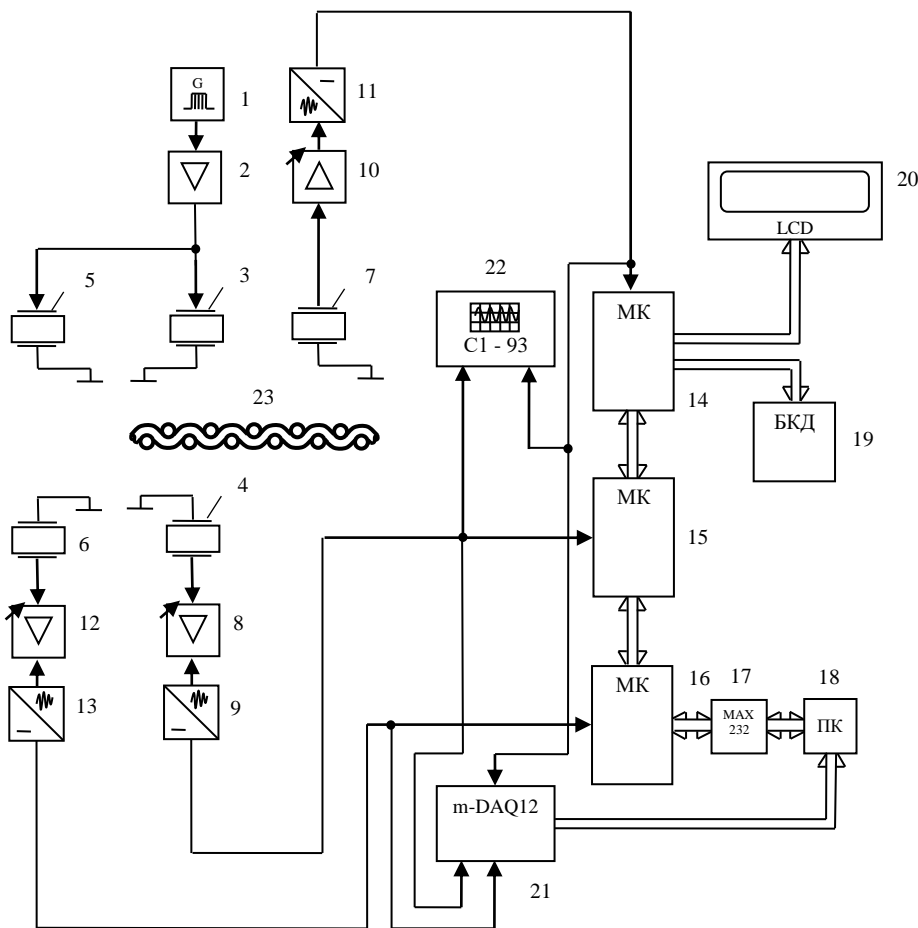


Рис.10. Структурна схема зразка комп'ютеризованої системи контролю поверхневої густини та пористості текстильних матеріалів

Напруга на виході амплітудного детектора 9 подається на мікроконтролер 15 (МК 15) першого вимірювального каналу скануючої системи, а також подається на стандартний блок збору даних 21 (m-DAQ12). За допомогою внутрішнього десятирозрядного АЦП МК15 ця напруга перетворюється в цифровий код, який передається, у свою чергу, до мікроконтролера 16 (МК 16), з виходу якого через мікросхему перетворення логічних рівнів 17 потрапляє до персонального комп'ютера 18 (ПК18). Ця вимірювальна інформація оброблюється спеціально розробленою

програмою (рис.12,б). Оскільки дванадцятирозрядний АЦП блоку збору даних 21 дозволяє паралельно оброблювати напругу, що потрапляє на його вхід з досить високою швидкістю відносно перехідного процесу детектора 9, то це забезпечує відображення оцифрованого графіку зміни цієї напруги на моніторі ПК 18 в режимі цифрового осцилографа. Також цей графік напруги можна порівнювати із зображеннями зміни напруги на звичайному осцилографі С1 – 93 (рис.13,а). Рівні напруги у певному порядку за декілька циклів надходжень пакетів хвиль відображуються у вигляді графіку у вікні створеної програми (рис.13,б) для можливості визначення її значення. Швидкість опитування датчиків регулюється програмно. При швидкому опитуванні датчиків системою, зображення у вікні програми буде як на осцилографі. Паралельно ці значення напруги відображаються на LCD екрані 20. Створений програмний модуль формує додатково базу даних рівня напруг з різних датчиків трьох вимірювальних каналів у певний момент часу та зберігає їх в основних додатках MS Office ПК 18 (рис.13,в) за необхідності. Також вказується час опитування датчиків, за яким можна визначити частоту їх опитування комп'ютеризованою системою.

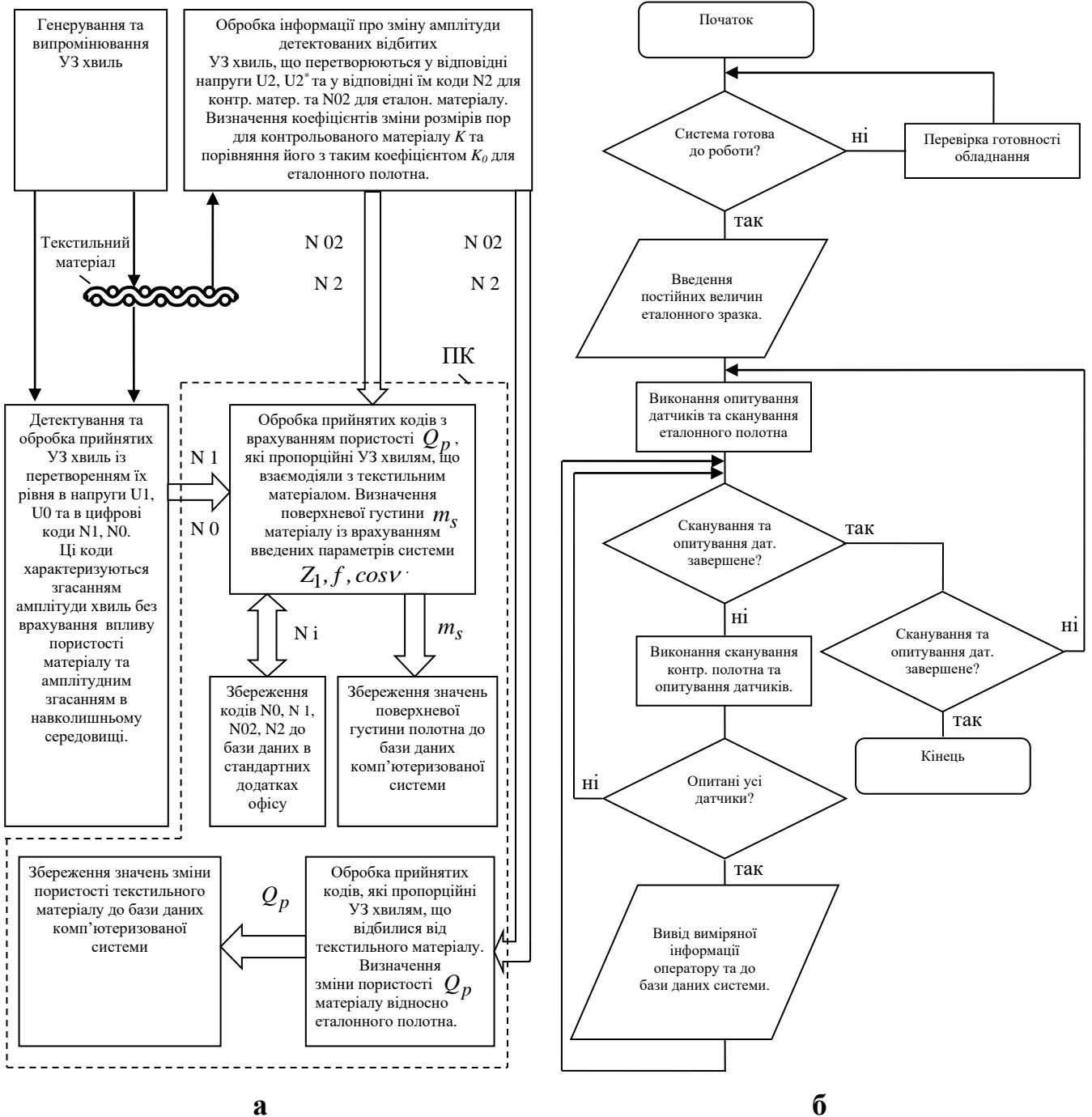
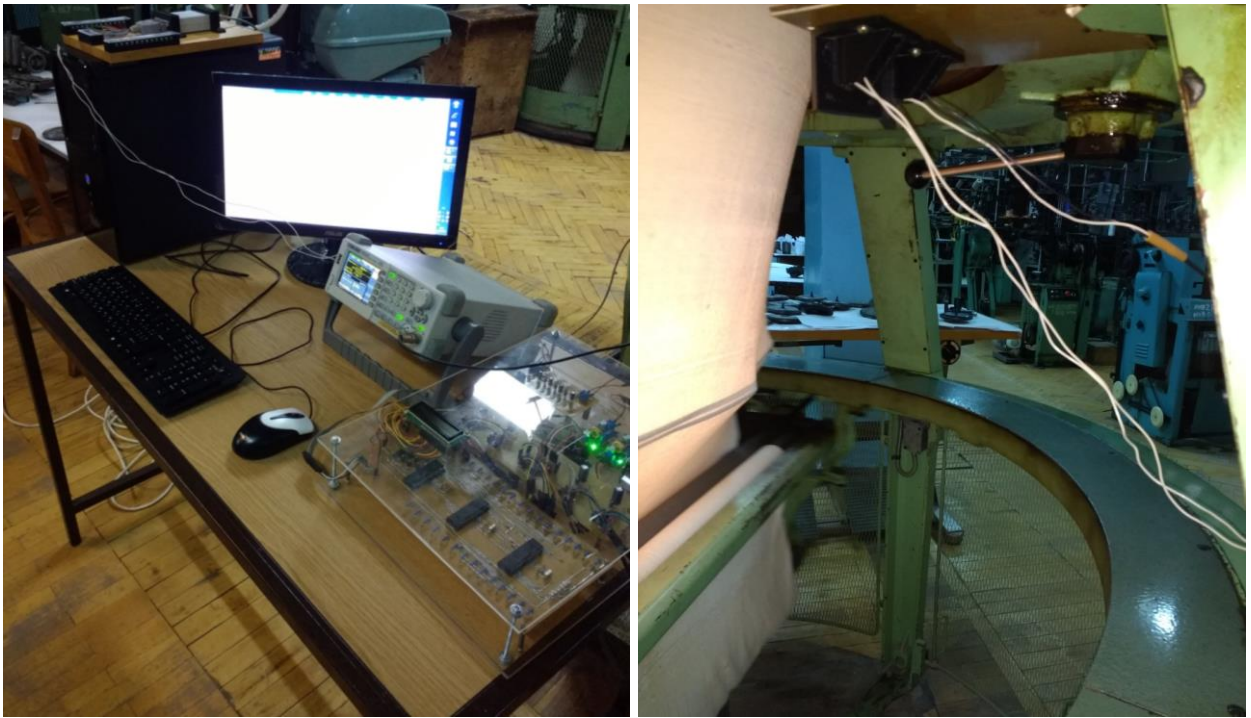
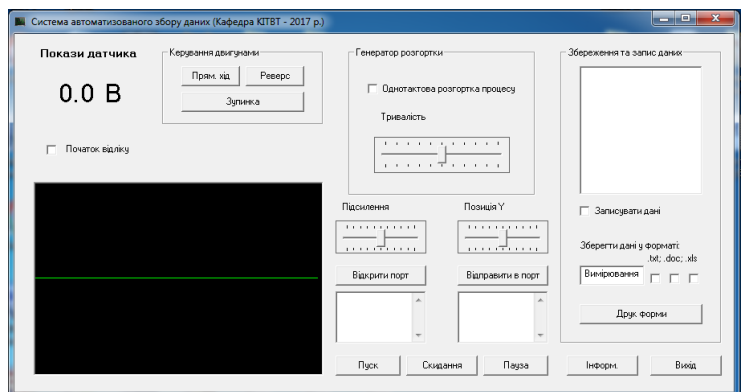
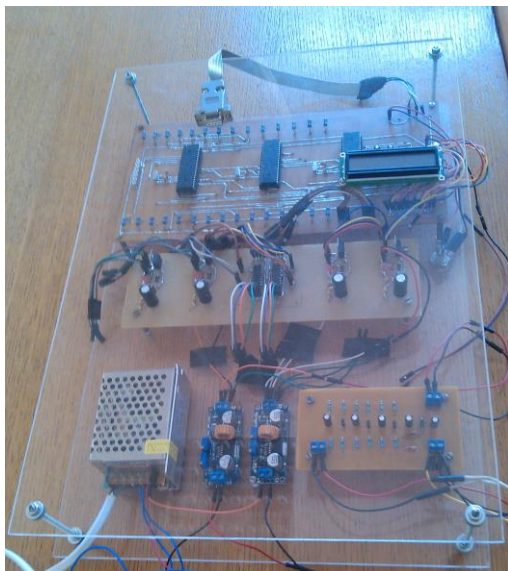


Рис. 11. Амплітудний метод контролю поверхневої густини та пористості текстильних матеріалів із різними системами ниток, який реалізований розробленим зразком комп'ютеризованої системи:

а – структура операцій системи для реалізації амплітудного методу контролю поверхневої густини та пористості текстильних матеріалів із різними системами ниток; б – алгоритм процесу ультразвукового сканування полотна матеріалу розробленим зразком комп'ютеризованої системи



а



б

Рис. 12. Розроблений зразок комп'ютеризованої системи контролю пористості та поверхневої густини текстильних матеріалів:

а – загальний вид розробленого зразка комп'ютеризованої системи контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів та зондування ультразвуковими датчиками полотна на круглов'язальній машині; б – вигляд розробленого готового складового блоку зразка комп'ютеризованої системи та вигляд вікна розробленої програми збору вимірювальної інформації та керування двигунами для переміщення датчиків скануючої платформи

Відповідно до того як вимірюється амплітуда напруги, яка пропорційна амплітуді ультразвукових хвиль, що пройшли крізь контрольований матеріал 23,

відбувається вимірювання та перетворення в цифровий код напруг й інших вимірювальних каналів комп'ютеризованої системи.

Ультразвукові хвилі, які відбиваються від поверхні контрольованого матеріалу 23, потрапляють до п'єзоперетворювача 7 другого вимірювального каналу, де перетворюються в електричні коливання, які далі підсилюються регульованим підсилювачем 10 та потрапляють до амплітудного детектора 11. За допомогою амплітудного детектора 11 електричні коливання перетворюються в однополярну напругу U_2 з амплітудою, яка пропорційна амплітуді ультразвукових хвиль, що приймаються п'єзоперетворювачем 7. Ця напруга, у свою чергу, надходить до внутрішнього десятирозрядного АЦП мікроконтролера 14 (МК 14), де перетворюється у цифровий код, що надходить спочатку на МК 15, а потім на МК 16, звідки потрапляє на мікросхему перетворення логічних рівнів 17, а далі на ПК 18. Цей цифровий код дає можливість визначити пористість контрольованого текстильного матеріалу 23 за її зміною відносно пористості еталонного матеріалу.

Третій вимірювальний канал скануючої системи є опорним. Пакети електричних коливань, що надходять з підсилювача 2 системи на п'єзоперетворювач 5, перетворюються в ультразвукові хвилі, які проходять тільки навколишнє повітряне середовище та потрапляють до п'єзоперетворювача 6. Далі ультразвукові хвилі знову перетворюються в електричні коливання та підсилюються регульованим підсилювачем 12. Потім вони потрапляють на амплітудний детектор 13, де перетворюються в однополярну напругу U_0 , що надходить до внутрішнього десятирозрядного АЦП МК 16, який перетворює її у цифровий код. Величина цього коду пропорційна амплітуді ультразвукової хвилі, яка тільки падає на контрольований текстильний матеріал 23. Код в опорному каналі, що утворився, надходить через мікросхему перетворення логічних рівнів 17 на ПК 18. Паралельно вимірювальна інформація надходить з другого (при скануванні еталонного матеріалу розміри його пор характеризує K_0 та напруга U_2^*) та третього вимірювальних каналів на блок збору даних 21.

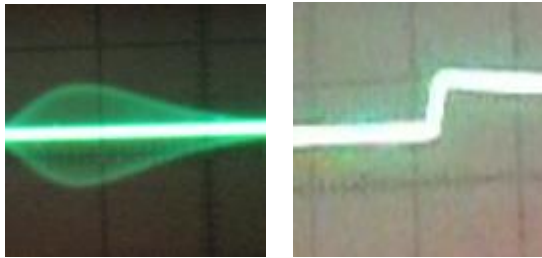
Блок збору даних 21 відображає виміряні напруги з трьох каналів системи у вигляді графіків на моніторі ПК 18.

Зміна натягу визначається за зміною амплітуди ультразвукових хвиль, що пройшли крізь контрольований матеріал 23, у порівнянні з амплітудою хвиль, які пройшли еталонний матеріал без натягу або при його найменших значеннях.

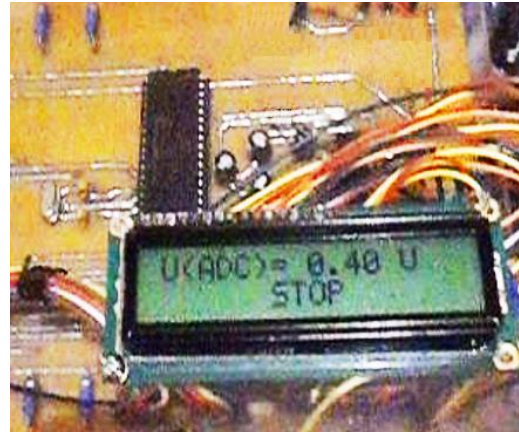
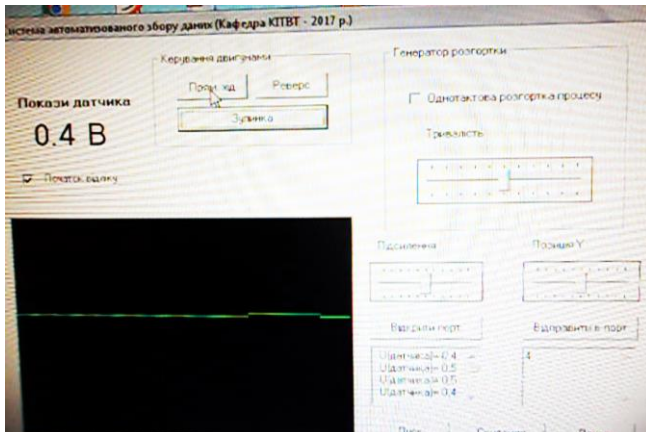
Далі за отриманими значеннями амплітуд напруг з трьох вимірювальних каналів можуть автоматично розраховуватися технологічні параметри текстильних матеріалів за допомогою розробленої програми, що запускається на ПК 18 та працює з документами офісу із збереженими базами даних.

Контрольований текстильний матеріал 23 може скануватися за шириною та довжиною з переміщенням платформи з ультразвуковими датчиками вперед, за це відповідає блок керування двигунами 19 (БКД 19) при натисканні кнопки "Прямий хід" у вікні розробленої програми. Також сканування матеріалу 23 може відбуватися за шириною та довжиною з переміщенням платформи з датчиками назад, за це відповідає БКД 19 при натисканні кнопки "Реверс", а при зупинці сканування

натискається кнопка “Зупинка” у вікні створеної програми. На самому LCD екрані 20 відображуються ці команди сканування як “Direct course”, “Reverse”, “STOP”.



а



б

	A	B	C	D
1	Вимірювання			
2	0,1 В			
3	2,6 В			
4	2,1 В			
5	2,1 В			
6	2,1 В			
7	2,2 В			
8	2,8 В			
9	2,2 В			
10	2,1 В			
11	2,1 В			
12	2,3 В			
13	3,1 В			
14	2,1 В			
15	2,1 В			
16	2,1 В			
17	2,6 В			
18	2,1 В			
19	2,1 В			
20	2,1 В			
21	2,1 В			
22	2,8 В			
23	2,1 В			

в

Рис. 13. Перетворення системою вимірювального сигналу в цифровий формат: а – ультразвукові зондуючі хвилі та напруга на виході амплітудного детектора 9, яка відображається на екрані осцилографа С1 – 93; б – вивід вихідної напруги з детектора 9 у вікні розробленої програми та її вивід на LCD екран 20 із позначенням “STOP” зупинки скануючої платформи; в – зберігання масиву даних про величини напруг з датчиків програмою в стандартних додатках MS Office

Перед початком вимірів набіги амплітуд у вимірювальних каналах зменшуються регульованими підсилювачами системи.

Додатково два вимірювальні канали (на проходження хвиль та їх відбиття) підключалися до осцилографа 22 (осцилограф С1 – 93) для можливості порівняння

графіків розробленої системи контролю текстильних матеріалів з показами даного приладу.

Сканування трикотажних полотен може відбуватися на плосков'язальних текстильних машинах, а сканування полотен різних тканин може відбуватися на ткацьких верстатах в процесі їх виготовлення. Якщо є необхідність контролювати пористість трикотажних полотен на круглов'язальних текстильних машинах за допомогою розробленої ультразвукової системи, то випромінюючий та приймаючий її п'єзоперетворювачі другого вимірювального каналу закріплюються нерухомо (рис.12,а).

У цьому випадку саме контрольоване полотно рухається відносно п'єзоперетворювачів. Таким чином відбувається процес сканування полотна на круглов'язальній текстильній машині.

Експериментальні дослідження базувалися на порівнянні контактного та безконтактного методів визначення поверхневої густини m_s різних тканин. Стандартний метод визначення поверхневої густини – ваговий метод. За допомогою зважування контрольного зразку з визначеною площею була розрахована сама поверхнева густина m_s (ст.м.) матеріалу за нормальних умов для можливості порівняння її значень із вимірами m_s (б.м.) безконтактної системи. Безконтактний метод включає в себе визначення модуля коефіцієнту проходження $|W|$, який характеризується співвідношенням напруг U_1/U_0 з детекторів ультразвукової комп'ютеризованої системи. Напруга U_1 пропорційна амплітуді ультразвукових хвиль, які пройшли матеріал, напруга U_0 пропорційна амплітуді хвиль, що тільки падають на контрольований матеріал. Поверхнева густина m_s тканин розраховувалася за амплітудами хвиль (рис.14,а) та показана із її відхиленням δ_{m_s} як:

$$m_s(\text{б.м.}) = \frac{Z_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{|W|^2} - 1}}{K f \cos \nu} = \frac{Z_1 U_2^* \cdot \sqrt{\left(\frac{U_0}{U_1}\right)^2 - 1}}{K_0 U_2 f \cos \nu}, \quad (21)$$

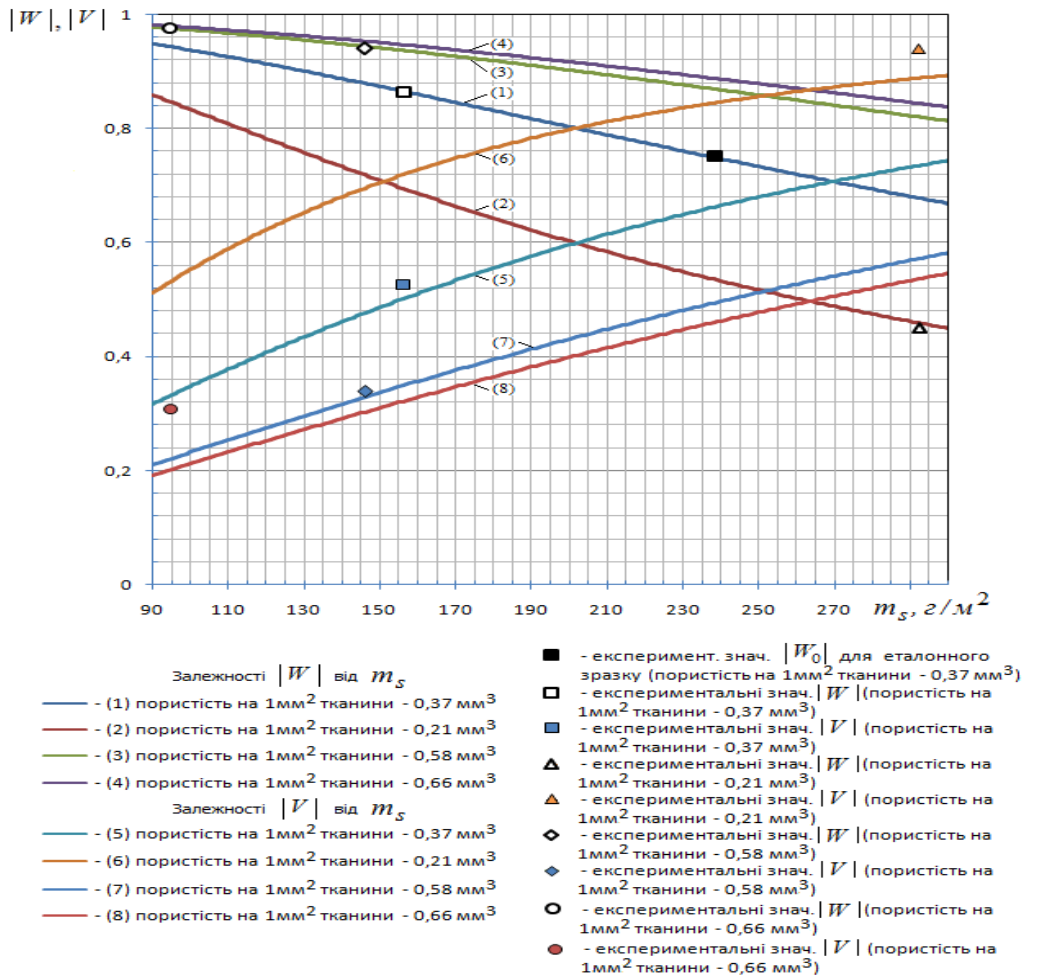
$$\delta_{m_s} = \frac{m_s(\text{б.м.}) - m_s(\text{ст.м.})}{m_s(\text{ст.м.})} \cdot 100\% \quad (22)$$

Комплексні дослідження зміни пористості зразків тканин як за їхніми мікрорізами, а також визначення цього параметру за допомогою амплітуд детектованих напруг, показані на рис.15. На цій основі зроблено корегування розрахунку значень поверхневої густини m_s зразків тканин, які отримані за вимірними напругами з детекторів розробленої комп'ютеризованої системи контролю. Було порівняно результати із стандартним методом, що також показано на рис.14,б.

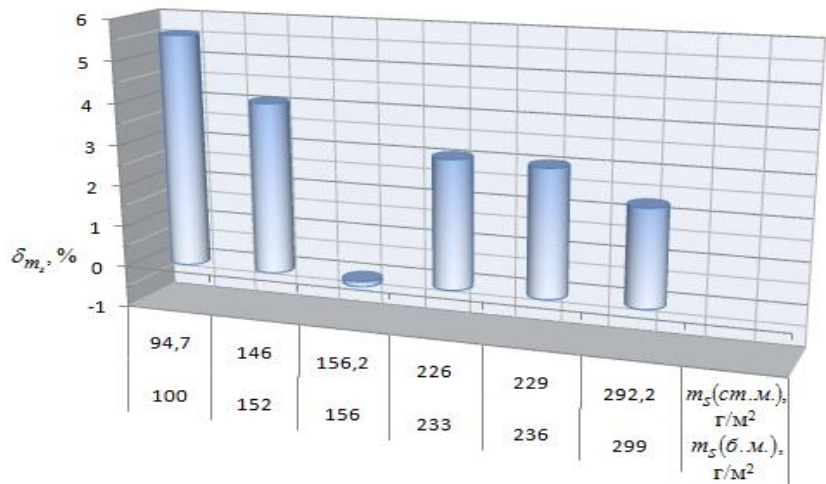
Пористість

зразків різних полотен Q_p визначалась у порівнянні з пористістю еталонного зразку Q_{0p} . Значення параметрів Q_p та Q_{0p} знаходились поетапно. На першому етапі за оптичним скануванням та мікрорізами визначалися об'єми наскрізних пор та загальна пористість текстильних еталонного $Q_{0p}(ст.м.)$ та контрольованих матеріалів $Q_p(ст.м.)$ площею 1 мм^2 .

Другим етапом визначались амплітуди ультразвукових хвиль, що взаємодіяли з матеріалами, та їх співвідношення у порівнянні із співвідношеннями загальних об'ємів пор матеріалів. Пористість $Q_p(б.м.)$ розраховувалась за допомогою модулів комплексних коефіцієнтів відбиття хвиль від контрольованого матеріалу $|V|$ та еталонного зразка $|V_0|$, які



а



б

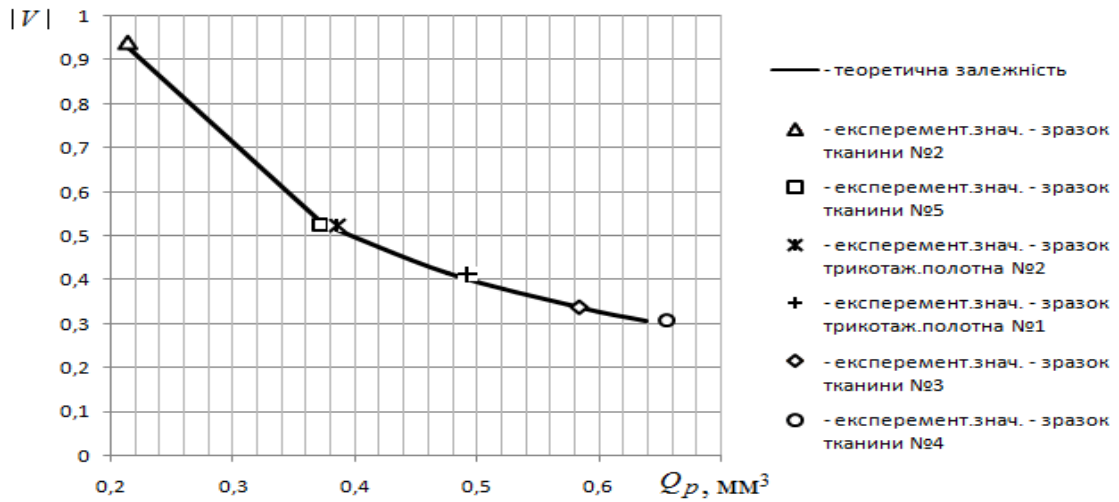
Рис. 14. Залежності модулів $|W|$, $|V|$ та δm_s від поверхневої густини m_s різних тканин та їх експериментальні значення: а – залежності $|W|$, $|V|$ від m_s ; б – залежність δm_s від m_s

пов'язані із пропорційними їм напругами U_2 і U_2^* з детектора ультразвукової системи. Ці напруги утворюються під час вимірювання амплітуд ультразвукових хвиль, відбитих від текстильного контрольованого та еталонного матеріалів. Отже, загальна пористість та її відхилення визначались так:

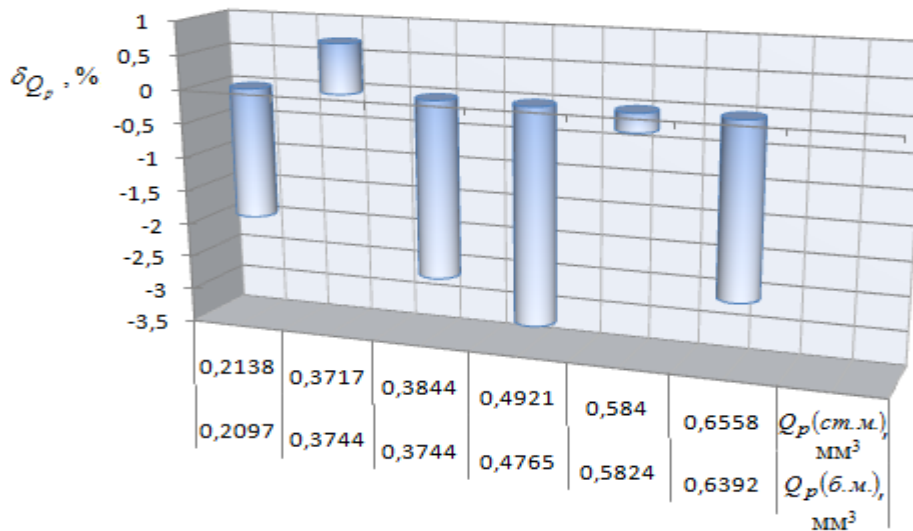
$$Q_p(\text{б.м.}) = \frac{|V_0|}{|V|} \cdot Q_{0p}(\text{ст.м.}) = \frac{U_2^*}{U_2} \cdot Q_{0p}(\text{ст.м.}) \quad (23)$$

$$\delta_{Q_p} = ((Q_p(\text{б.м.}) - Q_p(\text{ст.м.})) / Q_p(\text{ст.м.})) \cdot 100\% \quad (24)$$

Пористість трикотажних полотен визначається з найбільшим відхиленням.



а



б

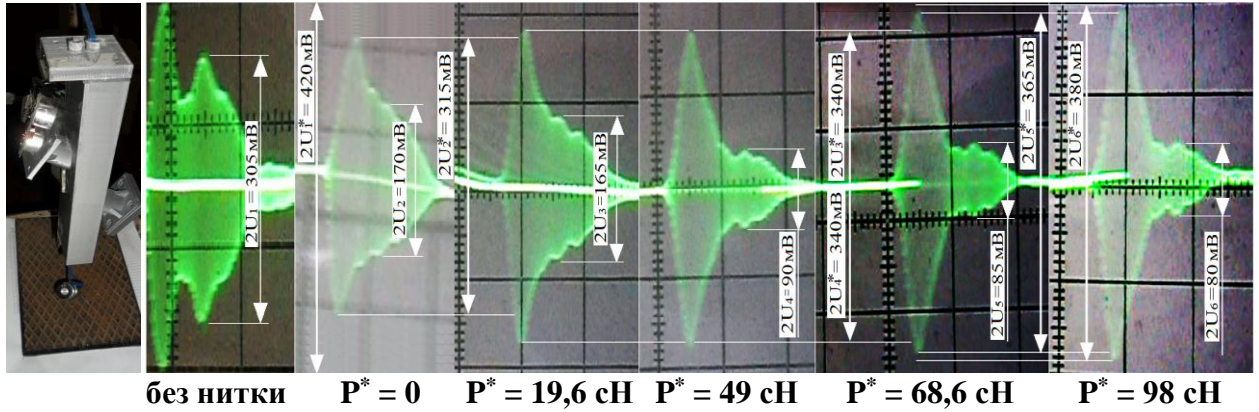
Рис.15. Залежності модуля $|V|$ та відхилення δ_{Q_p} від об'єму пор Q_p в зразку полотна на одиницю площі 1 мм²:

а – залежність модуля $|V|$ від об'єму пор Q_p , мм³ в різних матеріалах;

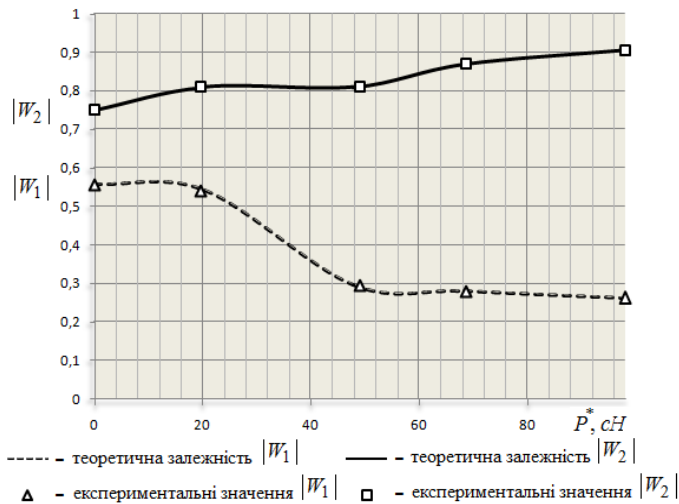
б – залежність відхилення δ_{Q_p} , % від об'єму пор Q_p , мм³ в різних матеріалах

За допомогою другого зразка розробленої системи із використанням створених хвилеводів та ультразвукових сигналів складної форми з двома піками амплітуд визначався натяг ниток з великою лінійною густиною (рис.16), а також безконтактно визначався натяг трикотажних полотен у різних його зонах.

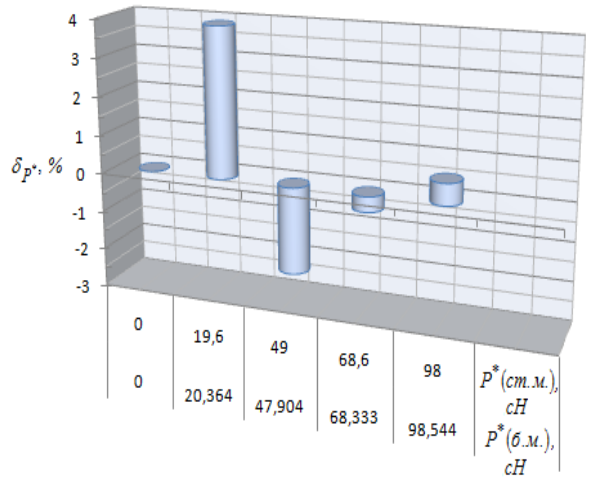
Хвилевід Зміна імпульсного ультразвукового сигналу при зміні натягу нитки



а



б



в

Рис. 16. Залежності модулів $|W_1|$, $|W_2|$ двох піків амплітуд хвиль та відхилення δ_{P^*}

від натягу P^* нитки в хвилеводі:

а – вигляд імпульсних ультразвукових сигналів складної форми з двома піками амплітуд, за якими визначається натяг нитки; б – залежності модулів $|W_1|$, $|W_2|$ від натягу P^* нитки в хвилеводі; в – залежності відхилення δ_{P^*} від натягу P^* нитки в хвилеводі

Запропоновані безконтактні методи та комп'ютеризовані системи контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів є досить перспективними, бо мають ряд суттєвих переваг у порівнянні з існуючими контактними. Також такі методи та системи дають можливість економії значних коштів на розробку нового обладнання без застосування та налагоджування контактних датчиків визначення натягу текстильного матеріалу, що є досить громіздкою та складною задачею.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційного дослідження.

У **додатках** наводяться окремі зразки досліджуваних текстильних матеріалів, приклади розрахунків амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, що взаємодіють з пористими матеріалами, схеми та моделі плат до зразків експериментальних комп'ютеризованих систем, згальний вигляд вікон програм для вирізання плат безконтактних систем, код керування фрезеруванням плат на верстаті з ЧПК, копії патентів за проведеними дослідженнями, акти впровадження та апробації результатів досліджень дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена **актуальна науково-прикладна проблема** розробки методології побудови і практичної реалізації комп'ютеризованих систем безконтактного контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів шляхом використання ультразвукових методів, оскільки існуючі методи та засоби не дозволяють проводити оперативний контроль в процесі виробництва, що повністю відповідає поставленій меті.

1. Проведено аналіз, який показав, що існуючі методи та засоби контролю поверхневої густини та багатьох інших технологічних параметрів текстильних матеріалів базуються на руйнівному вирізанні та зважуванні зразків в лабораторних умовах. Зазначене не дає можливості проводити оперативний контроль на виробництві, що може суттєво впливати на якість готової продукції. Тому доцільно застосовувати безконтактні методи та засоби контролю для різних технологічних параметрів текстильних матеріалів із застосуванням сучасних комп'ютеризованих систем. Розглянуто більш детально амплітудний та фазовий ультразвукові методи контролю різних параметрів текстильних матеріалів.

2. Проаналізовано особливості розповсюдження ультразвукових коливань в різних текстильних матеріалах, які пов'язані з різними розмірами пор та іншими структурними показниками полотен, що дало можливість обґрунтувати нові підходи до розробки методів безконтактного контролю їхніх технологічних параметрів. Отримані математичні моделі ультразвукового поля дали змогу:

- описати залежності згасання амплітуди ультразвукових хвиль, що взаємодіють із складною структурою текстильних матеріалів для можливості визначення частоти хвиль при безконтактному контролі технологічних параметрів;

- описати залежності різниць амплітуд ультразвукових хвиль, які взаємодіють з двошаровим КТМ з дефектом, та амплітуд хвиль, що взаємодіють з еталонним матеріалом;

- описати залежності різниць фазових зсувів ультразвукових хвиль, які взаємодіють з двошаровим КТМ з дефектом, та фазових зсувів хвиль, що взаємодіють з еталонним композиційним матеріалом;

- описати залежності амплітуди ультразвукових хвиль від кількості їх проходжень перерізу хвилеводу та від товщини контрольованого матеріалу для можливості підвищення чутливості амплітудного параметру хвиль до матеріалу, що необхідно при безконтактному контролі його натягу.

3. Розроблено амплітудний метод, при якому за зміною амплітуд відбитих ультразвукових хвиль від полотна тканини та від ниток основи відносно амплітуди хвилі, яка падає на поверхню матеріалу, можна визначати їхній натяг та силу

прибою нитки утоку в процесі ткацтва. Наведено результати досліджень безконтактного визначення натягу ниток основи, які дадуть можливість зменшити їх обривність у процесі вироблення тканин. Також показано, що, знаючи натяг ниток, можна визначити фактичне значення поверхневої густини самої тканини при її виготовленні на технологічному обладнанні.

4. Приведено залежності модуля комплексного коефіцієнту проходження від натягу веденої та ведучої гілки нитки і пряжі для бавовни, віскози, капрону та вовни, а також від параметрів $\cos \nu_3$ та умовного радіуса цих текстильних матеріалів. Зазначені нитки та пряжа поширені і можуть застосовуватися на трикотажних машинах для виробництва різних полотен. Показано залежності модуля проходження ультразвукових хвиль від зміни об'ємної щільності текстильних матеріалів, що впливає на зміну натягу ведучої гілки нитки при натягу веденої гілки в 10 сН.

5. Одержано залежності зміни швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль в текстильних матеріалах з різною лінійною густиною від їхнього натягу при повздовжньому прозвучуванні волокон. Доведено, що із збільшенням натягу текстильного матеріалу швидкість розповсюдження хвиль в ньому збільшується, а при однаковому натязі із збільшенням лінійної густини матеріалу швидкість коливань, навпаки, зменшується. Отримано залежності модуля повздовжнього проходження ультразвукових хвиль текстильного матеріалу від натягу та від його лінійної густини, де для першого випадку залежність зростає, а для другого – спадає.

6. Розроблено безконтактний метод та на його основі запропоновано структурну схему комп'ютеризованої системи контролю технологічних параметрів тканини з врахуванням її натягу в процесі виробництва. Реалізація цієї системи дає можливість:

- оперативно проводити контроль натягу ниток основи та самої тканини для забезпечення технологічного впливу на ткацьке обладнання;
- дотримувати поверхневу густину тканини в заданих межах, фактичне значення кої можна безконтактно визначати в процесі виробництва.

7. Розроблено безконтактний метод та на його основі запропоновано структурну схему комп'ютеризованої системи контролю текстильної волоконної маси та визначення натягу ниток на трикотажних машинах. Для цієї системи застосовуються два режими її роботи. Перший режим роботи пов'язаний із визначенням поверхневої густини текстильної волоконної маси. Другий режим роботи пов'язаний з визначенням натягу ниток на трикотажних машинах. Зазначене досягається за допомогою переключення різних блоків з безконтактними датчиками, в залежності від технологічного процесу та поставленої задачі на виробництві.

8. Розроблено безконтактні методи та на їх основі запропоновано структурну схему комп'ютеризованої системи контролю текстильної волоконної маси та тканин з визначенням їхньої поверхневої густини при використанні амплітудних та фазових параметрів ультразвукових хвиль, а також запропоновано структурну схему ультразвукового пристрою для контролю об'ємної щільності текстильних матеріалів з виключенням впливу зміни їх натягу на технологічному обладнанні в процесі виробництва.

9. Розроблено безконтактний метод та на його основі запропоновано структурну схему ультразвукової комп'ютеризованої системи для контролю зміни пористості текстильних матеріалів. Реалізація цієї системи дає можливість:

- використовувати безконтактний контроль для визначення нерівномірної пористості фільтрувальних тканин;
- застосовувати безконтактний контроль для виявлення дефектів структури у різних текстильних матеріалах.

10. Розроблено структури комп'ютеризованих систем контролю основних технологічних параметрів текстильних матеріалів. Це дозволило створити та дослідити експериментальні зразки запропонованих систем та їх програмне забезпечення:

- комп'ютеризованої системи контролю пористості та натягу ниток з великою лінійною густиною;
- спеціалізованої комп'ютеризованої системи контролю поверхневої густини і пористості для різних тканин та трикотажних полотен в процесі виробництва.

11. Експериментальні дослідження показали що:

- ультразвуковий безконтактний метод контролю пористості та поверхневої густини в діапазоні від 100 г/м² до 300 г/м² для різних тканин та трикотажних полотен можна застосовувати при оперативному моніторингу параметрів на виробництві;

- відхилення отриманих значень поверхневої густини за допомогою безконтактною системи при використанні відбитої ультразвукової хвилі відносно значень параметру, отриманих стандартним методом, можна зменшити у декілька разів;

- відхилення значень поверхневої густини, отриманих за допомогою безконтактного методу, відносно значень параметру, отриманих із використанням стандартного методу, знаходиться в межах діапазону від 0,15% до 6%, а можливість безперервного контролю поверхневої густини робить застосування безконтактного методу доцільним на виробництві;

- безконтактне визначення натягу нитки з лінійною густиною 445 текс можна проводити в діапазоні від 19,6 сН до 98 сН, а сам натяг ниток краще визначати за допомогою ультразвукового імпульсного сигналу з двома різними піками амплітуди;

- безконтактно можна визначати зміну натягу трикотажного полотна по окремим його зонам, а також можливо застосовувати амплітуду хвиль, які пройшли крізь зразок трикотажу, для визначення натягу полотна в межах від 0 до 26 Н.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Zdorenko V, Kuzymchuk O, Barylko S, et al (2018). The use of ultrasonic method for determining the basis weight of textile materials, *The Journal of The Textile Institute*, 109, P. 410-418 (*наукова публікація у виданні Scopus, віднесеному до другого квартилю Q2, прирівнюється до трьох публікацій у фахових виданнях*). *Особистий внесок: розробка ультразвукового методу контролю поверхневої густини тканин з однаковими відстанями між нитками.*

2. Barylko S, Zdorenko V, Kyzymchuk O, et al (2019). Adaptive ultrasonic method for controlling the basis weight of knitted fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14, P. 1-7 (*наукова публікація у виданні Scopus, віднесеному до третього квартилю Q3, прирівнюється до двох публікацій у фахових виданнях*). *Особистий внесок: розробка адаптивного ультразвукового методу контролю поверхневої густини текстильних полотен із різною структурою та пористістю.*
3. Здоренко В.Г., Барилко С.В. Контроль технологічних параметрів тканини за допомогою ультразвукового адаптивного пристрою. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2013. № 3. С. 7–11. *Особистий внесок: розробка методу та структури ультразвукового адаптивного пристрою контролю технологічних параметрів тканини.*
4. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Чорноморченко В.К., Защепкіна Н.М. Дослідження згасання амплітуд ультразвукових хвиль при контролі тканин з різною поверхневою щільністю. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2013. № 3 (71). С. 24–29. *Особистий внесок: отримання основних виразів для ультразвукових хвиль, які взаємодіють з різними тканинами з врахуванням згасання їхньої амплітуди.*
5. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Кисельов В.Б. Дослідження згасання ультразвукових хвиль при безконтактному контролі товщини полімерного покриття текстильних матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2014. № 4 (78). С. 169–177. *Особистий внесок: отримання основних виразів для ультразвукових хвиль, які взаємодіють з полімерним покриттям текстильного матеріалу з врахуванням згасання амплітуди.*
6. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Дяченко А.С. Технологічний контроль пористості текстильних матеріалів із складною структурою. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2017. № 1. С. 105–112. *Особистий внесок: розробка амплітудно-частотного методу контролю пористості різних текстильних матеріалів.*
7. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Барилко О.В. Технологічний контроль текстильних матеріалів. *Метрологія та прилади*. 2017. № 5. С. 86–88. *Особистий внесок: розробка безконтактного методу для контролю однорідності пористої структури текстильних матеріалів.*
8. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Зенкін А.С. Удосконалення акустичного безконтактного контролю матеріалів зі складною внутрішньою структурою. *Метрологія та прилади*. 2018. № 3. С. 47–51. *Особистий внесок: удосконалення методу ультразвукового контролю наявності розширвань композиційних текстильних матеріалів.*
9. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Барилко О.В., Лісовець С.М., Лебедюк Т.В. Дослідження застосування ультразвукового безконтактного методу визначення технологічних параметрів для процесу ткацтва. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 4(67). С. 152–161. *Особистий внесок: розробка безконтактного методу визначення технологічних параметрів для процесу ткацтва.*

10. Барилко С.В., Лісовець С.М., Головата І.В. Ультразвуковий метод визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів. *Вісник інженерної академії України*. 2018. № 2. С. 116–121. *Особистий внесок: розробка ультразвукового методу визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів.*
11. Здоренко В.Г., Лісовець С.М., Барилко С.В., Яненко О.П. Моделювання роботи електроакустичного тракту з об'єктом дослідження. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2018. № 2. С. 117–121. *Особистий внесок: постановка завдання та запропонована ідея зондування текстильних зразків трикотажу для можливості їх безконтактного контролю.*
12. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О., Дерій Ю.О. Застосування фазового і амплітудно-фазового акустичних методів для автоматизованого контролювання поверхневої щільності текстильних матеріалів. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2019. № 2(114). С. 86–94. *Особистий внесок: розробка ультразвукового амплітудно-фазового методу контролю текстильних матеріалів.*
13. Лісовець С.М., Барилко С.В., Зенкін А.С., Здоренко В.Г. Контроль поверхневої густини текстильних матеріалів шляхом використання автоматизованої сканувальної системи. *Метрологія та прилади*. 2019. № 5(79). С. 52–55. *Особистий внесок: постановка завдання та запропонована ідея сканування текстильних матеріалів для проведення безперервного контролю.*
14. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О. Дослідження проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал із складною структурою при контролі його технологічних параметрів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2020. № 1. С. 50–62. *Особистий внесок: проведення досліджень та аналізу проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал із складною структурою при контролі його технологічних параметрів.*
15. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О., Василенко В.М. Відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2020. № 2. С. 62–70. *Особистий внесок: проведення досліджень та аналізу відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром.*
16. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О. Дослідження згасання ультразвукових хвиль при їх проходженні та відбитті від одношарових матеріалів з порами різного розміру. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2020. № 3. С. 99–111. *Особистий внесок: проведення досліджень та аналізу згасання ультразвукових хвиль при їх проходженні та відбитті від одношарових матеріалів з порами різного розміру.*
17. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О., Василенко В.М., Палій Б.М. Дослідження відбиття ультразвукових хвиль від одношарових текстильних полотен та двошарових текстильних пакетів із різним розміром пор. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2020. № 4. С. 104–114. *Особистий внесок: проведення досліджень та аналізу відбиття*

ультразвукових хвиль від одношарових текстильних полотен та двошарових текстильних пакетів із різним розміром пор.

- 18.Здоренко В.Г., Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О. Застосування ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2020. № 5. С. 68–74. *Особистий внесок: розробка методу та структури ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси.*
- 19.Пат. 84211 Україна, МПК G01N33/36, G01N29/00. Ультразвуковий пристрій для вимірювання поверхневої щільності текстильних матеріалів. Скрипник Ю.О., Здоренко В.Г., Барилко С.В.; заявник та патентовласник *Київський національний університет технологій та дизайну*, № u201305479; заявл. 29.04.2013; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 19. *Особистий внесок: отримання основних виразів для амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, які взаємодіють з текстильними матеріалами.*
- 20.Пат. 132500 Україна, МПК G01N33/36, G01N29/00. Ультразвуковий спосіб визначення об'ємної щільності текстильних матеріалів. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Барилко О.В., Лісовець С.М.; заявник та патентовласник *Київський національний університет технологій та дизайну*, № u201305479; заявл. 11.10.2018; опубл. 25.02.2019. Бюл. № 4. *Особистий внесок: отримання основних виразів залежностей амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль від об'ємної щільності текстильних матеріалів.*
- 21.Zashchepksna N., Zdorenko V., Barylko S. Application of a ultrasonic method for quality assurance of materials. *Study of problems in modern science: new technologies in engineering, advanced management, efficiency of social institutions*. Bydgoszcz. 2015. P. 450–466 (**розділ колективної монографії, який прирівнюється до однієї публікації у фаховому журналі**). *Особистий внесок: отримання основних виразів амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, які проходять крізь пористі матеріали малої товщини, та ультразвукових хвиль, що відбиваються від таких матеріалів із врахуванням їх згасання.*
- 22.Здоренко В.Г., Барилко С.В., Защепкіна Н.М. Визначення товщини текстильного матеріалу ультразвуковим амплітудним методом: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції наукової молоді та студентів. *М-во освіти і науки України, КНУТД*. Євпаторія, 2013. С. 24–26. *Особистий внесок: розробка амплітудного методу визначення товщини текстильного матеріалу.*
- 23.Здоренко В.Г., Барилко С.В. Безконтактний метод контролю пористості текстильних матеріалів: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність”. *М-во освіти і науки України, ХНТУ*. Херсон, 2017. С. 98–99. *Особистий внесок: розробка безконтактного амплітудного методу визначення пористості текстильного матеріалу.*
- 24.Здоренко В.Г., Барилко С.В. Безконтактний метод виявлення дефектів в матеріалах: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції “Мехатронні системи: інновації та інжиніринг”. *М-во освіти і науки України,*

- КНУТД. Київ, 2017. С. 124–125. Особистий внесок: удосконалення амплітудного методу виявлення дефектів в різних матеріалах.*
25. Лісовець С.М., Барилко С.В. Контроль властивостей тканинних і трикотажних матеріалів амплітудно-фазовими акустичними методами: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції “Мехатронні системи: інновації та інжиніринг”. *М-во освіти і науки України, КНУТД. Київ, 2018. С. 70. Особистий внесок: постановка завдання та запропонований принцип амплітудно-фазового контролю властивостей тканинних і трикотажних матеріалів.*
 26. Барилко С.В., Здоренко В.Г., Лісовець С.М. Технологічний контроль натягу ниток основи безконтактним методом: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. *М-во освіти і науки України, ХНТУ. Херсон, 2018. С. 32–34. Особистий внесок: розробка безконтактного амплітудного методу контролю натягу ниток основи на технологічному обладнанні.*
 27. Barylko S., Zdorenko V., Kyzymchuk O., Lisovets S., Melnyk L., Barylko O. Non-contact method for fabric basis weight measurement: *Abstract of 49th IFKT International Congress, Textile Research Institute. Łódź, Poland, 2018. P. 15. Особистий внесок: аналіз можливості застосування безконтактного методу контролю поверхневої густини текстильних полотен.*
 28. Barylko S., Zdorenko V., Kyzymchuk O., Lisovets S., Melnyk L., Barylko O. Control of the fabric porosity by non-contact method: *IEEE Ukraine Student, Young Professional and Women in Engineering Congress. Kyiv, Ukraine, 2018. P. 48–52. Особистий внесок: аналіз можливості застосування безконтактного методу контролю зміни пористості текстильних полотен.*
 29. Барилко С.В., Лісовець С.М., Шипко Д.О. Застосування безконтактного ультразвукового методу для автоматизованого контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Молодь – науці і виробництву – 2019: Інноваційні технології легкої промисловості”. *М-во освіти і науки України, ХНТУ. Херсон, 2019. С. 26–27. Особистий внесок: розробка структури комп’ютеризованої системи для автоматизованого сканування та контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів.*
 30. Барилко С.В. Визначення натягу ниток безконтактним ультразвуковим методом для застосування в текстильній промисловості: тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції “Мехатронні системи: інновації та інжиніринг”. *М-во освіти і науки України, КНУТД. Київ, 2019. С. 15 – 21.*
 31. Здоренко В.Г., Защепкіна Н.М., Барилко С.В., Палій Б.М. Дослідження відбиття ультразвукових хвиль від двошарового текстильного пакету: тези доповідей XXI Міжнародної конференції з математичного моделювання. *М-во освіти і науки України, ХНТУ. Херсон, 2020. С. 94. Особистий внесок: отримання виразу залежності амплітудного співвідношення відбитих ультразвукових хвиль від їхньої частоти.*
 32. Здоренко В.Г., Барилко С.В., Зленко О.О. Застосування ультразвукової комп’ютеризованої системи для контролю поверхневої густини текстильних матеріалів: тези доповідей I Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти

і молодих учених “Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості”. *М-во освіти і науки України, КНУТД. Київ, 2020. С. 237–244. Особистий внесок: проведення теоретичних та експериментальних досліджень з безконтактного визначення поверхневої густини текстильних матеріалів та розробка для цієї мети експериментальної комп’ютеризованої системи.*

АНОТАЦІЇ

Барилко С.В. Методологія побудови комп’ютеризованих систем контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми розробки методології побудови і практичної реалізації комп’ютеризованих систем безконтактного контролю технологічних параметрів текстильних матеріалів шляхом використання ультразвукових методів, оскільки існуючі методи та засоби не дозволяють проводити оперативний контроль в процесі виробництва.

Розроблено безконтактні методи та на їхній основі запропоновано структури комп’ютеризованих систем для контролю різних технологічних параметрів текстильних матеріалів. Створено зразок безконтактної комп’ютеризованої системи контролю текстильних матеріалів з можливістю визначення їхньої пористості та поверхневої густини, яка дає змогу оперативно визначати значення контрольованих параметрів безпосередньо на технологічному обладнанні в процесі виробництва. Додатково може враховуватися натяг полотна на текстильних машинах за необхідності корегування показів вимірюваних значень технологічних параметрів.

Ключові слова: безконтактний контроль, технологічні параметри, текстильні матеріали, ультразвуковий метод, комп’ютеризована система контролю.

Барылко С.В. Методология построения компьютеризированных систем контроля технологических параметров текстильных материалов. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев, 2020.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы разработки методологии построения и практической реализации компьютеризированных систем бесконтактного контроля технологических параметров текстильных материалов путем использования ультразвуковых методов, поскольку существующие методы и средства не позволяют проводить оперативный контроль в процессе производства.

Разработаны бесконтактные методы и на их основе предложены структуры компьютеризированных систем для контроля различных технологических параметров текстильных материалов. Создан образец бесконтактной компьютеризированной системы контроля текстильных материалов с возможностью

определения их пористости и поверхностной плотности, которая позволяет оперативно определять значения контролируемых параметров непосредственно на технологическом оборудовании в процессе производства. Дополнительно может учитываться натяжение полотна на текстильных машинах при необходимости корректировки показаний измеряемых значений технологических параметров.

Ключевые слова: бесконтактный контроль, технологические параметры, текстильные материалы, ультразвуковой метод, компьютеризированная система контроля.

Barylko S.V. Methodology of construction of computerized systems of control of technological parameters of textile materials. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.13.05 – Computer Systems and Components. – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the decision of an actual scientific and applied problem of development of methodology of construction and practical realization of computerized systems of contactless control of technological parameters of textile materials by use of ultrasonic methods because the existing methods and tools do not allow for such operational control in the production process.

The existing contact and destructive methods and means of control used to determine the technological parameters of textile materials in production are analyzed. It is shown that the actual value of technological parameters is determined by destructive and contact methods with cutting samples and weighing them, which do not allow for operational technological control in the production of canvases. The principle of operation of some measuring instruments of non-destructive testing of various parameters of textile materials is shown. It is proved that such methods and tools in general have a number of disadvantages, which are associated with the complexity of implementation, high cost, the need to adjust the components, ensuring proper operation, disposal and protection of maintenance personnel.

The choice of ultrasonic methods and means of control of technological parameters of textile materials is substantiated, which, in turn, have high accuracy.

The dependences of the change in the speed of propagation of ultrasonic waves in textile materials with different linear densities on their tension during the longitudinal sounding of fibers are obtained. It is proved that with increasing tension of a textile material the speed of wave propagation in it increases, and at the same tension with increasing linear density of material the speed of oscillations on the contrary decreases. The dependences of the modulus of longitudinal transmission of ultrasonic waves of a textile material on the tension and on its linear density are obtained, where for the first case the dependence increases and for the second case decreases.

Dependences describing the passage of a pulsed ultrasonic signal through tissues with different phase structure, single-layer and two-layer materials with different pore sizes were obtained, which allowed to analytically determine the total thickness and basis weight of these materials.

Dependences are obtained that describe the change of phase shifts of ultrasonic waves that pass through materials with different pore sizes, as well as waves that are reflected from such materials.

Dependences are obtained that describe the amplitude ratios of ultrasonic waves passing through materials with different pores and the amplitude ratios of ultrasonic waves reflected from such materials, taking into account the attenuation of waves in the material itself. This allowed to show the effect of wave attenuation in materials with different structure and porosity, as well as to simplify expressions for analytical determination of technological parameters of such materials.

An ultrasonic non-contact method for controlling the basis weight of fabrics, which eliminates the influence of changes in porosity and bulk density of the material on the result of the obtained parameter values has been developed.

A non-contact amplitude-phase method of controlling the basis weight of woven fabrics has been developed, which should be more sensitive to the controlled parameter in comparison with the usual amplitude one. The structural scheme and the principle of operation of the computerized system of scanning of textile fiber mass and textile cloths with determination of their basis weight by phase and amplitude-phase ultrasonic methods were also developed.

A non-contact amplitude-frequency method of controlling the change in the porosity of textile materials has been developed, which allows to determine an unknown parameter by changing the frequency of oscillations. Additionally, a block diagram was developed and the principle of operation of an ultrasonic computerized system for determining the change in porosity of textile fabrics was described. The proposed ultrasonic computerized system can be used to control the uneven porosity of the filter fabrics, as well as the fabric with the wrong pore size and other defects in it.

An ultrasonic non-contact method of controlling the change in bulk density of textile materials has been developed, which allows to additionally take into account the influence of the tension of the fabric itself. The structural scheme and the principle of operation of the ultrasonic computerized system for determining the bulk density of textile fabrics with influence of change in the tension of the material on the process equipment during production are also developed.

A non-contact ultrasonic computerized system for textile fabrics has been created with the possibility of determining their porosity in the first mode of its operation, and when additional sensors are used in its second probing mode of material, the tension of threads with high linear density in the waveguide is determined.

A non-contact computerized system for ultrasonic scanning of textile fabrics with the ability to determine their porosity and basis weight has been created, which makes it possible to quickly determine the values of the controlled parameters directly on the technological equipment during the production process. Additionally, the tension of the fabric on textile machines can be taken into account if it is necessary to correct the readings of the measured values of technological parameters.

Keywords: non-contact control, technological parameters, textile materials, ultrasonic method, computerized control system.