

УДК 532.137

**АЛГОРИТМІЧНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛОПАТКОВИХ
КОНЦЕНТРАТОМІРІВ ПАПЕРОВОЇ МАСИ****О.М. Романюк*, Б.А. Кріль, О.В. Кріль***Національний університет «Львівська політехніка», 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12*

В статті розглянуто алгоритмічний метод підвищення точності лопаткових концентратомірів, при реалізації якого вимірюється сила струму через навитку магнітоелектричного перетворювача в усталеному режимі при русі вимірювальної лопатки в обидва боки. Таким чином, можна мінімізувати похибку, яка виникає внаслідок впливу зміни швидкості течії паперової пульпи відносно вимірювальної лопатки концентратоміра. Наведено блок – схему концентратоміра паперової пульпи з компенсацією впливу швидкості потоку паперової пульпи. Розглянуто залежності від часу струму та напруги на виходах головних блоків запропонованого концентратоміра паперової пульпи. Описано вплив швидкості течії та концентрації паперової пульпи на залежності струму через навитку магнітоелектричного перетворювача від часу.

Ключові слова: лопатковий концентратомір, паперова пульпа, концентрація, неньютонівська рідина.

В статье рассмотрены алгоритмический метод повышения точности лопаточных концентратомеров, при реализации которого измеряется сила тока через навитку магнитоэлектрического преобразователя в установившемся режиме при движении измерительной лопатки в обе стороны. Таким образом, можно минимизировать погрешность, возникающая вследствие воздействия изменения скорости течения бумажной пульпы относительно измерительной лопатки Концентратомеры. Приведено блок - схему концентратомера бумажной пульпы с компенсацией влияния скорости потока бумажной пульпы. Рассмотрено зависимость от времени тока и напряжения на выходах главных блоков предложенного концентратомера бумажной пульпы. Описано влияние скорости течения и концентрации бумажной пульпы на зависимости тока через навитку магнитоэлектрического преобразователя от времени.

Ключевые слова: лопаточный концентратомер, бумажная пульпа, концентрация, неньютоновская жидкость.

The algorithmic method of precision enhancement of paper pulp blade consistometers is considered. In the said method the current strength in the winding of a moving coil of a magnetoelectric transducer in the steady regime of sensor's blade motion condition is measured during its movement in downstream and upstream directions. By processing this data the errors, caused by the influence of the moving medium on the consistometer sensitive blade, can be considered and excluded. Schematic diagram of a paper pulp consistometer with paper pulp flow velocity compensation is presented. Dependence of voltage and current versus time on the outputs of the main blocks of presented paper pulp consistometer with compensation of paper pulp flow velocity influence is considered. Influence of paper pulp flow velocity and consistency on the dependencies of current versus time for the coil of a magnetoelectric transducer of a paper pulp consistometer is described.

Keywords: blade consistometer, blade consistency meter, paper pulp, consistency, non-Newtonian fluid.

1 Вступ

Паперопереробна галузь є дуже важливою в індустріально розвинених країнах. В першу чергу, це різноманітне упакування, яке легко утилізується шляхом багаторазового рециклічного перероблення з одержанням такої ж повноцінної продукції, як із початкової сировини [1]. Технологічні процеси переробки макулатурної маси можна реалізовувати як на великих і потужних технологічних лініях, так і в

відносно невеликих масштабах. При цьому це теж буде достатньо економічно ефективним, оскільки знижуються затрати на перевезення сировини і готової продукції та зменшується техногенне навантаження на довкілля. Важливим технологічним параметром в згаданих технологічних процесах є концентрація паперової пульпи [2]. Цей параметр вимірюють за в'язкістю паперової пульпи і це один з небагатьох прикладів

вимірювання концентрації середовища за в'язкістю [3,4]. Метрологічні і експлуатаційні параметри приладів, які розробляються для вимірювання концентрації паперової пульпи можна покращити шляхом модифікації процесу вимірювання з подальшою алгоритмічною обробкою результатів вимірювання. Нижче буде розглянуто варіант вдосконалення лопаткового концентратоміра паперової пульпи, в якому суттєво зменшено вплив швидкості паперової пульпи на результат вимірювання концентрації.

2. Аналіз існуючих реалізацій лопаткових концентратомірів

Існує декілька технічних реалізацій лопаткових концентратомірів паперової пульпи, які придатні для промислового застосування. Найбільш відомі з них наступні:

– *конструкція з лопаткою без активатора* [5,6,7];

В цій конструкції лопатка розміщується вздовж рухомого потоку паперової пульпи і концентрація паперової пульпи визначається за значенням сили, яка діє на лопатку за рахунок в'язкісного тертя. Значення сили, яка діє на лопатку, міняється приблизно в межах від 0 до 30 Н при зміні концентрації паперової пульпи від 0 до 16 % Cs. Для різних діапазонів вимірювання і різної структури паперових або целюлозних волокон застосовуються лопатки різної конструкції. Калібрування приладів індивідуальне за результатами лабораторних вимірювань для кожного конкретного застосування. Тому для приладів нормують параметри вимірювання зусилля, яке діє на лопатку, і в сумі всі складові похибки вимірювання зусилля (нелінійність, гістерезис, вплив статичного тиску середовища не перевищують 1 %. Проте визначальними є умови встановлення приладів. Щоб досягти максимальної точності, потрібно усунути турбулізацію потоку, можливість утворення повітряних мішків, розшарування пульпи у околі лопатки консистометра. З урахуванням перерахованих чинників і процедури калібрування прийнятною вважають відносну зведену похибку на рівні 5 % [5]. Лопаткові концентратоміри цієї конструкції мають обмеження на значення допустимих змін швидкості потоку паперової пульпи. В [5] наведені діаграми для різних конструкцій лопаток з допустимими діапазонами швидкостей паперової пульпи і діапазонами вимірювання концентрації паперової пульпи. Якщо швидкість потоку паперової пульпи виходить за межі рекомендованого діапазону, у виміряне значення концентрації необхідно внести поправку.

– *конструкція з лопаткою з активатором* [8,9];

В такому концентратомірі лопатка періодично приводиться в рух магнітоелектричним перетворювачем (активатором). Мікропроцесорний пристрій вимірює час, за який лопатка проходить певний шлях від обмежувача до оптичного давача положення. За значенням цього часу мікропроцесорний пристрій розраховує значення концентрації паперової пульпи. В цій конструкції лопаткового концентратоміра штучно збільшується швидкість зсуву паперової пульпи у околі лопатки, при якій проводиться вимірювання в'язкості і, відповідно, концентрації пульпи. Очевидно, що вплив швидкості потоку паперової пульпи на результат вимірювання концентрації лопатковим концентратоміром описаної тут конструкції з періодично переміщуваною лопаткою буде меншим, ніж вище описаним концентратоміром з статичною лопаткою. Основні джерела похибок ті ж самі, що і в попередній конструкції лопаткового концентратоміра. Важливим є місце встановлення концентратоміра. Поблизу лопатки консистометра не повинні виникати повітряні мішки, відбуватися розшарування пульпи, випадати осадки. Слід мінімізувати пульсації тиску пульпи спричинені роботою насосів, які перекачують пульпу. Процедура калібрування приладів для різних типів паперової пульпи проводиться аналогічно до процедури калібрування лопаткових концентратомірів без активатора.

Резюмуючи викладене, для обох конструкцій концентратомірів у ідеальних умовах вимірювання в'язкості паперової пульпи забезпечується з достатньо високою точністю. Щоб за величиною в'язкості визначати концентрацію паперової пульпи, потрібно виконати ряд умов: зменшити вплив неінформативних параметрів на процес вимірювання, забезпечити коректне калібрування приладів з нелінійною статичною характеристикою.

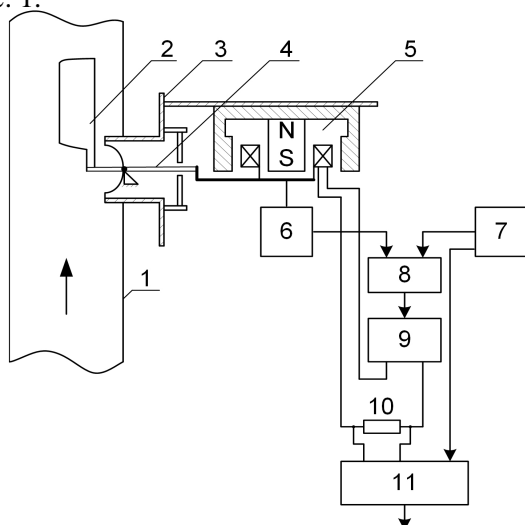
Мінімальне утворення повітряних мішків, розшарування пульпи, максимальна репрезентативність проби будуть по центру трубопроводу, в якому протікає паперова пульпа. Але у цьому місці буде максимальна швидкість потоку. Тому перспективними є дослідження по зменшенню впливу швидкості потоку паперової пульпи на процес вимірювання концентрації з допомогою лопаткових концентратомірів.

3. Формулювання мети статті

Подальші дослідження направлені на вдосконалення та розробку лопаткового концентратоміра паперової пульпи, в якому за рахунок вдосконалення процесу вимірювання та алгоритмічної обробки результатів цих вимірювань значно зменшується вплив швидкості паперової пульпи в трубопроводі на результат вимірювання концентрації.

4. Представлення та обговорення результатів досліджень

В модифікованій конструкції концентратоміра паперової пульпи рухома лопатка здійснює коливання з постійною швидкістю переміщення в обидва боки відносно середнього положення. При цьому вимірюється струм через навитку магнітоелектричного активатора, значення якого в установленому режимі буде різним, в залежності від напрямку руху лопатки по відношенню до напрямку руху паперової маси та від значення концентрації паперової пульпи. Принцип дії такого концентратоміра пояснює структурна схема на рис. 1.

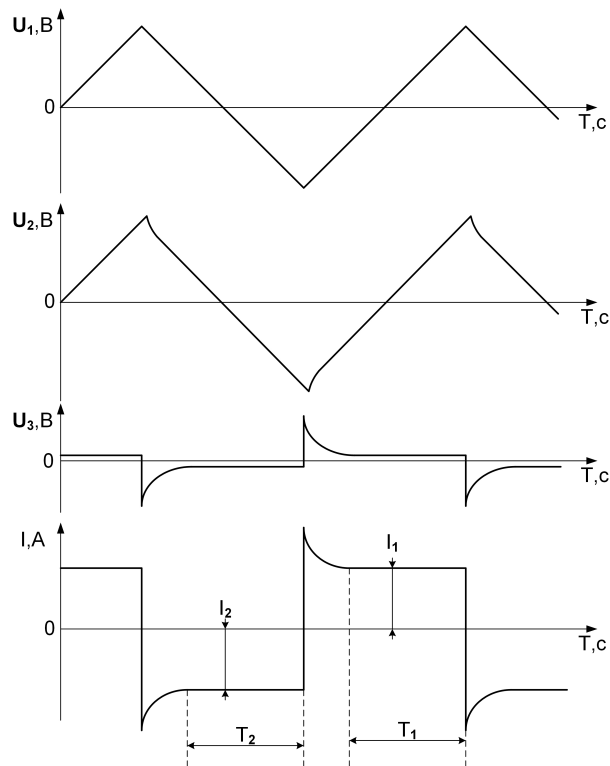


1 – трубопровід, в якому протікає паперова маса; 2 – рухома лопатка концентратоміра; 3 – корпус пристрою; 4 – важіль, з одного боку на якому закріплена лопатка, а з другого через герметичне ущільнення - навитка магнітоелектричного перетворювача; 5 – магнітна система магнітоелектричного перетворювача; 6 – приймальний перетворювач переміщення важеля; 7 – генератор імпульсів трикутної форми; 8 – диференційний підсилювач; 9 – підсилювач потужності; 10 - опір для вимірювання сили струму через навитку магнітоелектричного перетворювача; 11 – мікроконтролерна система для обробки інформації і зв'язку з системою контролю

Рисунок 1 – Принципова схема концентратоміра паперової маси з компенсацією впливу швидкості потоку.

В концентратомірі за новою схемою лопатка 2 здійснює коливання відносно середнього положення, яке зміщене на певний кут відносно осі трубопроводу 1 з постійною знакоперемінною швидкістю. Швидкість і амплітуда коливань лопатки вимірюються перетворювачем переміщення 6, а задаються генератором імпульсів трикутної форми 7. Слідкуюча пропорційна система, що складається з диференційного підсилювача 8 і підсилювача потужності 9, забезпечує максимальну наближеність амплітуди і швидкості переміщення лопатки 2 до форми імпульсів генератора 7. Рух лопатки забезпечує магнітоелектричний перетворювач, який складається з навитки і магнітної системи 5. Струм через навитку магнітоелектричного перетворювача вимірюється по спадку напруги на опорі 10. Цей струм буде пропорційним до величини зусилля, яке потрібне для переміщення лопатки в рухомому середовищі паперової маси з певним значенням концентрації. Після зміни напрямку руху лопатки значення струму через навитку магнітоелектричного перетворювача різко зростає і через деякий час зменшується до стабільного значення по мірі максимального наближення швидкості руху лопатки до заданого значення. В ці моменти часу це значення несе інформацію про концентрацію і швидкість руху потоку паперової пульпи. При русі лопатки за напрямком потоку значення струму буде меншим, а при русі лопатки проти потоку – значення струму буде більшим. Шляхом подальшої алгоритмічної обробки можна одержати корисний вихідний сигнал, в якому буде врахований вплив швидкості потоку паперової пульпи. Зауважимо, що питання температурної компенсації показів концентратоміра паперової пульпи в даній статті розглядатись не будуть, тому на рис. 1 не показаний канал вимірювання температури паперової пульпи.

Більш детально роботу розглядуваної схеми концентратоміра паперової пульпи пояснюють графіки зміни напруг і струму в часі після основних складових схеми на рис. 2.



1 – зміна напруги на виході генератора імпульсів трикутної форми; 2 – зміна напруги після перетворювача переміщення рухомої лопатки концентратоміра; 3 – зміна напруги після диференційного підсилювача; 4 – зміна сили струму через навітку магнітоелектричного перетворювача.

Рисунок 2 – Графіки зміни напруг та струму в часі після основних блоків запропонованого концентратоміра паперової пульпи з компенсацією впливу швидкості потоку паперової пульпи. Для спрощення графіки наведено для умови, коли швидкість руху паперової пульпи дорівнює нулю (паперова пульпа не тече), і концентрація паперової пульпи є сталою.

На рис. 2 графік 1 – це імпульси правильної трикутної форми після генератора 7. За ними слідкуюча система з допомогою магнітоелектричного перетворювача переміщає рухому лопатку концентратоміра. Графік 2 – це форма напруги після перетворювача переміщення рухомої лопатки. Це дещо спотворені імпульси трикутної форми, тому слідкуюча система не забезпечує руху рухомої лопатки по ідеальній траєкторії трикутної форми в перші моменти після зміни напрямку руху. Графік 3 – це різницевий сигнал між двома попередніми графіками, який виділяється диференційним підсилювачем, і найбільше розузгодження є в моменти після зміни напрямку руху лопатки. Останній графік 4 – це форма

струму через навітку магнітоелектричного перетворювача, який приводить в рух рухому лопатку. Власне, значення цього струму несе корисну інформацію про концентрацію паперової пульпи. Очевидно, що вимірювати значення струму потрібно через певні короткі проміжки часу після зміни напрямку руху лопатки на протилежний, після того як слідкуюча система забезпечить сталу швидкість переміщення лопатки в паперовій пульпі. Всі розглянуті графіки на рис. 2 для спрощення пояснення зображені при відсутності руху паперової пульпи.

Вигляд графіків, крім першого, при русі паперової пульпи зміниться, тому, що у цьому випадку швидкість пульпи відносно лопатки відрізнятиметься для руху лопатки за течією та проти течії. Якщо лопатка рухається за течією, швидкість пульпи відносно лопатки дорівнюватиме різниці швидкостей пульпи і лопатки, виміряних відносно трубопроводу. Якщо лопатка рухається проти течії, швидкість пульпи відносно лопатки дорівнюватиме сумі швидкостей пульпи і лопатки, виміряних відносно трубопроводу. Ось чому, коли лопатка рухається за течією, на неї діє менша сила в'язкості, ніж у нерухомій паперовій пульпі, і на неї діятиме більша сила в'язкості при русі проти течії. Цей процес пояснюють графіки на рис. 3.

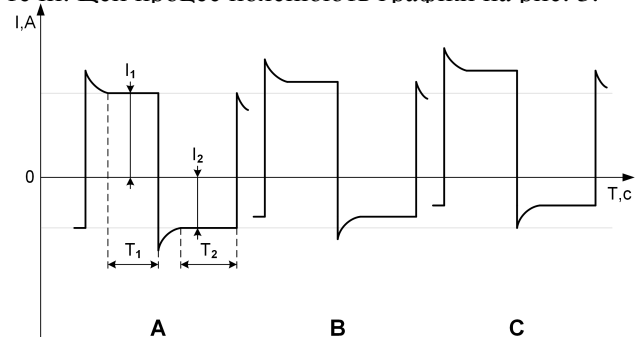


Рисунок 3 – Графіки зміни струму через навітку магнітоелектричного перетворювача концентратоміра паперової пульпи при трьох різних значеннях швидкості руху паперової пульпи ($V_A < V_B < V_C$) і постійному значенні концентрації паперової пульпи.

На рис. 3 зображені графіки зміни сили струму через навітку магнітоелектричного перетворювача при постійному значенні концентрації паперової пульпи для трьох різних швидкостей руху паперової пульпи у порядку їх зростання.

З рис. 3 видно, що амплітуди струму в уставлених режимах при русі лопатки за потоком і проти потоку відрізняються і ця

різниця росте при збільшенні швидкості руху паперової пульпи. Але сума амплітуд струмів залишається постійною і незалежною від швидкості потоку паперової пульпи. Якщо за таким графіком побудувати алгоритм обробки корисного сигналу в концентратомірі паперової пульпи, то вдасться скомпенсувати вплив швидкості паперової пульпи на результат вимірювання концентрації.

Зміни струму через навитку магнітоелектричного перетворювача при зміні концентрації паперової пульпи і постійній швидкості руху паперової пульпи мають вигляд, як показано на рис. 4.

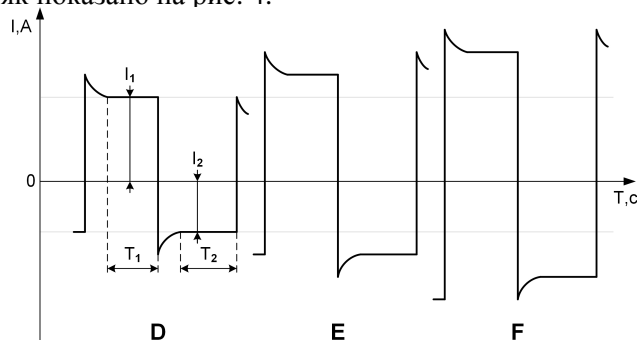


Рисунок 4 – Вигляд графіків зміни струму через навитку магнітоелектричного перетворювача концентратоміра паперової пульпи при трьох різних значеннях концентрації паперової пульпи ($C_D < C_E < C_F$) і постійному значенні швидкості руху паперової пульпи.

Це три графіки змін струму по мірі зростання концентрації паперової пульпи, які відрізняються амплітудами струму в уставленому режимі при русі лопатки за потоком та проти потоку. Очевидно, що тут буде мультиплікативний характер впливу значення концентрації паперової пульпи на вигляд додатної та від'ємної амплітуд струму, який можна врахувати алгоритмічно.

При вимірюваннях в реальному технологічному процесі графік зміни струму через навитку магнітоелектричного перетворювача буде одночасно залежати і від швидкості потоку і від концентрації паперової пульпи, так як це викладено в коментарях до рис. 3 і 4.

Нижче більш детально зупинимося на реалізації складових концентратоміра паперової маси за запропонованою схемою.

Конструкція первинного перетворювача з рухомою лопаткою не має особливих відмінностей від відомого аналога [8], за винятком того, що лопатка може рухатись з однаковим відхиленням в обидва боки відносно

середнього положення, яке є зміщене на невеликий кут відносно осі трубопроводу паперової маси. Іншою відмінністю є менші розміри лопатки при збереженні такої ж точності вимірювання. Для реалізації запропонованого алгоритму вимірювання первинний перетворювач доповнений перетворювачем положення важеля з лопаткою. Для його реалізації можна застосувати три наступні принципи вимірювання переміщення: магніторезистивний, по принципу ефекту Хола та індукційний.

Магніторезистивні давачі застосовувались для перших експериментів. Їхнім недоліком, так само як і недоліком давачів Хола, є температурна залежність функції перетворення позиціонуючої системи. Можна обійтись без спеціальної температурної компенсації функції перетворення цих давачів і врахувати виникаючу систематичну похибку при температурній компенсації показів концентратоміра, але в подальших дослідженнях ми маємо намір застосовувати різновид індукційного давача – диференційно-трансформаторний, який працює на високій частоті. Незважаючи на не технологічність, цей давач має значно меншу температурну залежність функції перетворення. Важливим для механічної системи модифікованого лопаткового концентратоміра є статичне балансування рухомої механічної системи в робочому положенні приладу. Ця вимога була не критична для попередніх конструкцій, але в цій конструкції при балансуванні механічної системи можна уникнути процедури врахування механічних мас при алгоритмічній обробці.

Схемотехнічна реалізація електронних вузлів вимірювальної схеми не має специфічних особливостей. Генератор імпульсів трикутної форми може видавати одне постійне значення частоти вихідної напруги, або для розширення функціональних можливостей – два або три значення частоти з перемиканням від мікроконтролера. Два значення частоти вихідної напруги застосовуються для розширення діапазону вимірювання, а ще одне значно вище значення – для сервісної операції – періодичного струшування лопатки від можливих налипань на неї довгих волокнистих домішок.

Всю алгоритмічну обробку доцільно проводити з допомогою серійного малопотужного мікроконтролера. Автори мають ряд реалізацій технологічних вимірювальних приладів з застосуванням малопотужних вільнопрограмованих мікроконтролерів серій S7-200 та S7-1200 виробництва фірми Siemens

[10]. Їхні програмні та мережеві можливості значно скорочують час та затрати на розробку та технічну реалізацію дрібносерійних або одиночних технологічних вимірювальних приладів та систем.

Висновки

Шляхом модифікації процесу вимірювання концентрації паперової маси лопатковим концентратоміром та подальшою алгоритмічною обробкою результатів вимірювання значень струму через навитку магнітоелектричного перетворювача, який приводить в рух лопатку, можна зменшити вплив зміни швидкості руху паперової пульпи на результат вимірювання концентрації. Наведені авторами графіки пояснюють принцип перетворення інформації та принцип компенсації впливу швидкості руху паперової пульпи для розробленої схеми концентратоміра паперової пульпи.

1. Waller, M.H. (1993) *A tutorial on the measurement of paper stock consistency*. *ISA Transactions*, 32, pp.277-282. 2. *Технологія целюлозно – бумажного виробництва; у 3 т. Т. 1. Сирье и производство полуфабрикатов/ С.С Пузырев, Є.В. Виролайнен, Ю.А. Поляков, А.М. Кряжев. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.* 3. Schramm, G. A. (2000) *Practical Approach to Rheology and Rheometry*. 2nd Edition, Gebrueder

HAAKE GmbH, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 291 p. 4. Steffe, J.F. (1996) *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd Edition. Freeman Press, East Lansing, MI, USA 418p. 5. *Valmet Blade Consistency Transmitter – Valmet SP Installation and User's Manual*, Valmet Automation Inc., Kajaani, Finland. – 2015. 6. *Metso Blade Consistency Transmitter. Installation and User's Manual K11389 V1.1 EN* Metso Automation Inc. Documentation: Metso Automation / Marjo Nygård Copyright © December 2012. 7. Wall, H. A. (1968) *Consistency measuring apparatus*. US Patent No US 3364730 A. 8. "MBT-2500 User manual" (2007) BTG Pulp and Paper Technology AB, Säffle, Sweden. 9. Skallen, B. (1989) *Method and apparatus for measuring the viscosity of a medium*. US Patent No US4875362. 10. Романюк О.М., Кріль Б.А. Підвищення точності ротаційних віскозиметрів алгоритмічним шляхом // *Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами»*. – К: НУХТ, 2015 р.

Поступила в редакцію 25.03.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Середюк О.Є., докт. техн. наук, проф. Костишин В.С.