

## ВІДГУК

офіційного опонента Райтера Петра Миколайовича  
на дисертаційну роботу **Романюка Олександра Миколайовича «Вдосконалення механічних методів вимірювання концентрації паперової пульпи»** подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 — прилади і методи контролю та визначення складу речовин

### 1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Якість паперових матеріалів в значній мірі визначається в процесі виробництва концентрацією водно-паперової пульпи, яка подається на сітку машини для виробництва паперу. Тому на виробництві значна увага зосереджена на точному контролі та стабілізації твердої речовини у вихідній целюлозо-паперовій суспензії на різних етапах технологічного процесу. Дисертаційна робота Романюка Олександра Миколайовича присвячена розв'язуванню актуальної задачі - покращення метрологічних та експлуатаційних параметрів приладів потокового вимірювання концентрації паперової пульпи. Вказане завдання дисертант виконує шляхом вдосконалення: як існуючих механічних методів вимірювання концентрації паперової пульпи, так і конструкції відповідних вимірювальних приладів вказаного параметру на основі модифікації процесу вимірювання в'язкості паперової пульпи з подальшим алгоритмічним опрацюванням результатів вимірювання. Як відомо, паперова пульпа, що є по суті двофазовим потоком, характеризується як нерівномірною густиною в просторі потоку в трубопроводі так і нестабільним градієнтом швидкості в перерізі трубопроводу в часі. Це суттєво ускладнює завдання потокового вимірювання концентрації твердої частки в суспензії і вимагає використання непрямих методів її вимірювання на базі вимірювання в'язкості такого двофазового потоку. На результати вимірювання мають вплив багато факторів як контрольованого середовища, так і конструкція та алгоритм роботи власне засобів вимірювання в'язкості в потоці. Тому необхідність у вдосконаленні існуючих методів та засобів контролю в'язкості паперової пульпи, а на її основі і потокове визначення концентрації паперової пульпи в целюлозо-паперовій суспензії є актуальною проблемою, яка має важливе народногосподарське значення.

На сьогодні існуючі методи і засоби контролю концентрації водно-паперової пульпи на різних ділянках виробництва паперу вже не забезпечують підвищених вимог до достовірності її оцінювання в режимі реального масштабу часу вимірювання. Удосконалені дисертантом механічні методи вимірювання концентрації паперової пульпи відрізняються від відомих тим, що завдяки забезпеченню інваріантності механічних концентратомірів паперової пульпи до наявних неінформативних параметрів шляхом управління рухом їх чутливих елементів, дають змогу підвищити швидкодію і точність контролю концентрації водно-паперової пульпи на базі вимірюваннями її в'язкості в потоці.

### 2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їх достовірність

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертації зумовлені проведеним порівняльним аналізом літературних джерел, які включають 105 найменувань стосовно теми дисертації, математичною та логічною строгістю побудови моделей, коректністю постановки й вирішення завдань досліджень, використанням широко апробованих методів теорії вимірювань, теорії реологічної поведінки неньютонівських рідин, теорії ймовірностей та математичної статистики, методів опрацювання сигналів, математичного і комп'ютерного моделювання, методів алгоритмізації та програмування, а

також результатами аналізу значного об'єму лабораторних досліджень та виконання промислових випробувань.

### 3. Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях, апробація роботи

Наукові положення та отримані автором теоретичні й практичні результати досліджень достатньо повно представлені в опублікованих наукових працях і апробовані на міжнародних й всеукраїнських конгресах та конференціях.

За темою дисертації опубліковано 18 наукових праць, з них: 4 - у вітчизняних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, одна публікація входить до наукометричної бази Index Copernicus, 12 публікацій за матеріалами праць міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій та у патенті України на винахід. Внесок дисертанта у публікації, написані у співавторстві, є визначальним. Робота пройшла апробацію на 12 міжнародних та всеукраїнських конференціях.

### 4. Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Романюка О.М. складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел (105 найменувань). Загальний обсяг дисертації складає 157 сторінок, містить 46 рисунків, 9 таблиць та перелік використаних джерел на 12 сторінках.

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтовано актуальність теми, на підставі чого сформульована мета й основні задачі дослідження, обрано об'єкт та предмет дослідження, висвітлено наукову новизну, практичну цінність та впровадження отриманих результатів досліджень. Подано відомості про публікації, особистий внесок в них з добувача та апробацію роботи.

Перший розділ присвячено детальному аналізу основних методів та засобів вимірювання концентрації паперової пульпи. На підставі ґрунтовного аналізу літературних джерел в дисертації проаналізовано особливості технологічних процесів виготовлення санітарно-гігієнічного паперу та необхідності, на різних ділянках цих процесів, отримання достовірної інформації про концентрацію водно-паперової пульпи для енерго- і ресурсоефективного функціонування вказаного виробництва. Проаналізовані переваги та недоліки основних лабораторних та промислових ротаційних концентратомірів, концентратомірів з різними типами конструкцій лопаток, а також оптичних, мікрохвильових та ультразвукових концентратомірів паперової пульпи. Показано, що відомі методи, що є аналогами удосконалених дисертантом, є досить чутливими до змін в'язкості і відповідно концентрації паперової пульпи, однак результати контролю цими методами в значній мірі чутливі до різного роду завад та впливу технологічних параметрів контрольованого середовища, тому не відображають адекватно параметри концентрації паперової пульпи в потоці, що обмежує їх практичне використання. З метою більш зрозумілого викладення фізичної суті запропонованих в роботі вдосконалень методів і засобів контролю, автор детально проаналізував в першому розділі дисертації реологічні властивості паперової пульпи та фактори, що впливають на її в'язкість.

У другому розділі викладено результати досліджень та вдосконалення автором ротаційного методу вимірювання концентрації паперової пульпи. З цією метою автор детально проаналізував вплив неінформативних параметрів (температури і тиску потоку та характеру взаємозв'язку в'язкості і концентрації паперової пульпи) на процес вимірювання концентрації паперової пульпи за допомогою ротаційних витратомірів.

Важливою особливістю розробленого ротаційного концентратоміра паперової пульпи з покращеними функціональними можливостями є те, що ґрунтовно обґрунтовано можливість вимірювання коефіцієнта консистенції  $K$ , індексу поведінки течії та видимої в'язкості неньютонівської рідини вказаним приладом з двома заданими

швидкостями обертання чутливого елемента. У вдосконаленому методі також враховано і зменшено вплив небажаних моментів сил тертя на результати вимірювання, вдосконалено робочий цикл концентратоміра шляхом почергової зміни напряму обертання чутливих елементів, що дало змогу здійснювати його корекцію і, разом з цим, зменшити похибку визначення консистенції паперової пульпи. Перевірку працездатності методу здійснювалась за допомогою оцінки результатів теоретичного моделювання за допомогою розробленої автором моделі ротаційного концентратоміра. Завдяки використанню моделювання теоретично обґрунтовані запропоновані автором алгоритми зміни частоти обертання чутливого елемента ротаційного концентратоміра паперової пульпи за вимірюванням в'язкості. Проведені дослідження дали можливість сформулювати основні вимоги до конструкції, виконання та алгоритму функціонування вказаних приладів за умови їх використання в процесі вимірювань в технологічному процесі в режимі реального часу.

Третій розділ присвячений викладенню результатів вдосконалення в процесі дослідження автором лопаткового методу вимірювання концентрації паперової пульпи. При цьому автором, з метою підвищення достовірності контролю, проаналізовано вплив швидкості потоку в трубопроводі на процес вимірювання концентрації паперової пульпи за умови використання різних типів лопаток як чутливих елементів та різних алгоритмів роботи таких приладів. Розроблено принципові схеми лопаткового концентратоміра з коливаннями лопатки в площині симетрії потоку (з компенсацією впливу швидкості потоку) та з поперечним рухом лопатки відносно осі приводу. Детально досліджено функціонування та метрологічні характеристики запропонованих конструкцій лопаткових концентратомірів паперової пульпи за умови компенсації впливу швидкості потоку пульпи.

У четвертому розділі наведено результати виконання експериментальної перевірки вдосконалених механічних концентратомірів паперової пульпи. З цією метою за допомогою зібраного стенду досліджено функціонування та метрологічні характеристики елементів магнітоелектричного компенсатора в'язкісного тертя, а саме, торсійного елемента ротаційного концентратоміра та його статичної характеристики. Це дало змогу суттєво покращити метрологічні параметри в процесі вимірювання. За результатами проведених експериментів вперше уніфіковано вигляд градувальних характеристик для ротаційних та лопаткових концентратомірів паперової пульпи на базі компенсаційного вимірювання магнітоелектричним перетворювачем моменту її в'язкого тертя і дотримання однакових заданих швидкостей зсуву паперової пульпи. Це дозволяє уніфікувати алгоритм опрацювання інформації цифровими засобами опрацювання інформації. На основі запропонованого автором вдосконаленого способу опрацювання сигналу оптичного давача для вимірювання кута повороту чутливого елемента та отриманих аналітичних співвідношень для опрацювання вказаного сигналу забезпечується досягнення в процесі вимірювання найменшого відносного середньоквадратичного відхилення результатів цього вимірювання. Наведено матеріали, пов'язані з розробленням та апробацією магнітоелектричного методу компенсації моменту в'язкого тертя в ротаційних концентратомірах паперової пульпи, який має кращу відтворюваність статичної характеристики, що дозволяє підвищити точність вимірювання на початку діапазону вимірювання і мінімізувати вплив ущільнення вала з чутливим елементом на результат вимірювання.

Завершують дисертаційну роботу висновки про виконання кожного із завдань дослідження та список літературних джерел.

## 5. Наукова новизна дисертаційної роботи

До найбільш суттєвих наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести:

- Вперше запропонована методологія забезпечення інваріантності механічних концентратомірів паперової пульпи до наявних неінформативних параметрів шляхом управління рухом чутливих елементів механічних концентратомірів так, щоб зменшити

вплив неінформативних параметрів та покращити метрологічні характеристики концентратомірів, що дозволить підвищити точність вимірювання.

- Вперше запропоновано керувати рухом чутливого елемента лопаткового концентратоміра паперової пульпи за сигналом від генератора імпульсів трикутної форми, що дозволяє автору забезпечити постійну швидкість зсуву при вимірюванні і тим самим підвищити точність вимірювання в'язкості та концентрації паперової пульпи за вимірним моментом сили в'язкісного тертя.

- Удосконалено магнітоелектричний метод вимірювання концентрації паперової пульпи на основі реалізації в ньому методу компенсації впливу неінформативних параметрів на вимірне ротаційним концентратоміром значення концентрації паперової пульпи шляхом знакоперемінного обертання чутливого елемента ротаційного концентратоміра та алгоритмічного опрацювання результатів вимірювання моменту в'язкісного тертя, що зменшує вплив несиметричного розподілу швидкості течії пульпи на результат вимірювання.

- Удосконалено магнітоелектричний метод вимірювання концентрації паперової пульпи на основі застосування компенсації моменту в'язкісного тертя в ротаційних концентратомірах паперової маси, який має кращу відтворюваність статичної характеристики, що дозволяє підвищити точність вимірювання на початку діапазону вимірювання і мінімізувати вплив ущільнення валу з чутливим елементом на результат вимірювання.

- Отримали подальший розвиток методи та конструювання механічних засобів вимірювання концентрації паперової пульпи на основі запропонованих нових схем побудови ротаційних та лопаткових концентратомірів паперової пульпи з кращими метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

## 6. Практична цінність дисертаційної роботи

Практична цінність дисертаційної роботи Романюка О.М. полягає в удосконаленні механічних методів вимірювання концентрації паперової пульпи шляхом:

- реалізації запропонованого нового порядку проведення вимірювань концентрації паперової маси за допомогою ротаційного концентратоміра із проведенням вимірювань по черзі на двох різних частотах обертання чутливого елемента із наближенням до них зі сторони нижчих та вищих частот обертання, та повторенням вимірювань при зміні напрямку обертання ротора.

- реалізації розробленого алгоритму опрацювання результатів вимірювань, який дозволяє зменшити вплив моментів сил тертя в ущільненнях та у підшипниках вимірювальної осі ротаційного концентратоміра на отримане значення концентрації паперової маси.

- реалізації запропонованого та реалізованого нового порядку проведення вимірювань концентрації паперової маси за допомогою лопаткового концентратоміра з активною лопаткою із проведенням вимірювання моменту сили зсуву при постійному програмно встановлюваному значенні швидкості зсуву.

- реалізації розробленого алгоритму визначення концентрації паперової маси на його основі, який зменшує вплив швидкості течії паперової маси на визначене значення її концентрації;

Використання запропонованих методів дозволяє підвищити точність вимірювання концентрації паперової маси без внесення змін у механічну частину досліджених концентратомірів.

На мою думку, також цінною, з кута зору практичного застосування результатів дисертаційних досліджень та розробок автора роботи, є розроблена автором нова електронна частина блоку обробки інформації у концентратомірах та програма для

обробки інформації за допомогою програмованих логічних контролерів Siemens Simatic S7-300.

## 7. Зауваження по дисертаційній роботі

1. В дисертаційній роботі доцільно б було навести такі технологічні параметри, як граничні значення: мінімальної і максимальної швидкостей потоку паперової пульпи, діаметрів трубопроводів з вказаними потоками, де встановлюються прилади для вимірювання концентрації паперової пульпи. Це дозволяє оцінити діапазон використання на технологічних об'єктах запропонованих автором вдосконалень механічних методів та приладів вимірювання контролюваного параметру.

2. Вимагає стилістичного уточнення формулювання першого, третього четвертого і п'ятого пункту наукової новизни роботи, оскільки в них автором, не конкретизовано ступінь новизни одержаних результатів (вперше встановлено, удосконалено, отримало подальший розвиток), як вказано у вимогах до оформлення дисертацій та авторефератів. На мою думку, вказаний пункт доцільно викласти в редакції наведеній вище у відгуку.

3. На мою думку в другому розділі (ст.74. або ст.85) доцільно обґрунтувати вибір значень кутових швидкостей обертання чутливого елемента  $\Omega_1$  і  $\Omega_2$ ., оскільки вказані значення, що залежатимуть як від режиму течії потоку, так і від параметрів приводу, суттєво впливатимуть на визначення індексу течії  $n$  та коефіцієнту консистенції  $K$  паперової пульпи.

4. З тексту роботи ст.88 не зрозуміло, що автор розуміє під терміном «...з плавним наближенням частоти обертання чутливого елемента... » або далі «частота обертання незначно підвищується». На мою думку доцільним є вказати числові параметри, що характеризують швидкість зміни частоти в обох випадках.

5. Вимагає пояснення твердження автора на ст.89, що «Пропоновані цикли зміни частоти обертання чутливого елемента при вимірюванні концентрації паперової пульпи можуть виглядати так, як це зображено на рис.2.11.». За яких умов вони можуть виглядати не так як наводить на рисунку автор?

6. Для руху двофазових потоків в промислових умовах, навіть таких, які для паперової пульпи визначаються автором як «псевдо пластична рідина» ст.59, рис.1.13, характерний суттєвий рівень вібрації трубопроводів з потоком. В дисертації не вказано який рівень такої вібрації є гранично допустимим для використання запропонованих автором методів вимірювання концентрації паперової пульпи через контроль її в'язкості з використанням знакоперемінного обертання чутливого елемента ротаційного концентратоміра.

7. Рисунок 2.11 роботи, який наведений на двох ст.89-88 вимагає або зведення на одну сторінку, або більш детальних пояснень на обох сторінках.

8. В роботі не обґрунтовано і не надано посилання на джерело отримання інформації, коли стверджується на ст. 29, що «Збільшення концентрації маси в гідророзбивачі з традиційних 4,0% до 7,0-8,0% дозволяє знизити споживання енергії на 30-40% і забезпечити підвищення продуктивності в два рази».

9. В дисертаційній роботі є незначна кількість граматичних помилок (наприклад, ст.30 «витрат» замість «затрат»), стилістичних помилок (наприклад ст.65, вимагає пояснення термін "передекспоненційний множник", ст.71 «підвищується з ростом концентрації» замість «підвищується зі зростанням...») та помилок перекладу (ст.25, 26 "являє собою", ст.46 «може служити», ст.47 «служить»).

Зроблені зауваження не стосуються основних положень дисертації, мають частковий характер та суттєво не впливають на позитивну оцінку роботи.

#### 8. Висновок по дисертаційній роботі в цілому

Дисертація Романюка О.М. "Вдосконалення механічних методів вимірювання концентрації паперової пульпи" є завершеною науковою працею, її написано в основному технічно грамотною українською мовою, вона добре ілюстрована та оформлена відповідно до вимог Державного стандарту України та вимог атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України.

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.11.13 – прилади та методи контролю та визначення складу речовин, за якою вона подана до захисту.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, наукові положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, що встановлено вищою атестаційною колегією Міністерства освіти і науки України до авторефератів.

Дисертаційна робота Романюка О.М. є науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що в сукупності вирішують важливе науково-технічне завдання з покращення метрологічних та експлуатаційних параметрів приладів для вимірювання концентрації паперової пульпи шляхом модифікації процесу вимірювання її в'язкості з подальшим алгоритмічним опрацюванням результатів вимірювання.

Вважаю, що дисертаційна робота "Вдосконалення механічних методів вимірювання концентрації паперової пульпи" за актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, необхідною кількістю публікацій та апробацій повністю відповідає вимогам пунктів 11 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор Романюк Олександр Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 - прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент, завідувач кафедри  
Енергетичного менеджменту і технічної діагностики  
Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газу,  
докт. техн. наук, професор

П.М.Райтер

Підпис засвідчую:

"04" 12 2020 р.

