

**Розробка ІЧ методів і засобів технологічного контролю вологості матеріалів, що містять целюлозу, у високотемпературних умовах виробництва**  
**Разработка ИК методов и способов технологического контроля влажности целлюлозосодержащих материалов в высокотемпературных условиях производства**

**Development of IR methods and (the technological control systems) means of process monitoring of humidity of cellulose – paper materials under high-temperature conditions of production**

- 1. Номер державної реєстрації теми 0113U001580, НТУУ «КПІ» - 2657-п**
- 2. Науковий керівник – д.т.н., проф.. Воронов С.О., Воронов С.А., Voronov S.A.**
- 3. Суть розробки, основні результати**

**(укр.)**

Суть розробки полягає у створенні нового оптичного методу і засобу безперервного технологічного контролю вологості целюлозно-паперових матеріалів в умовах високих температур виробництва на базі досліджень характеристик пропускання і абсорбції в інфрачервоному діапазоні.

Проведено кореляційний (статистичний) аналіз зв'язку характеристик вологості і поверхневої густини паперу. Визначені апроксимаційні аналітичні залежності між цими параметрами, розроблена методика обробки інформаційних сигналів, в якій враховано взаємний вплив вологості і поверхневої густини. Побудований алгоритм оптичних вимірювань.

Побудовані, скореговані на взаємний вплив, градууювальні характеристики вологості і поверхневої густини на основі сумісних гравіметричних і оптичних вимірювань. При цьому, у якості еталону вологості речовин використані зразки імітаторів вологості, що розроблені та запатентовані нами для усунення похибок номінальної градууювальної характеристики вологомірів.

Запропонований новий оптичний метод дозволяє визначити не тільки кількість вологи у зразку, але і кількість сухої речовини (целюлози). Раніше це здійснювалося гравіметричним, лабораторним методом. Новий метод дозволяє перейти від технологічного контролю, точність якого суттєво залежить від досвіду і кваліфікації оператора, до об'єктивного контролю, заснованого на розробленій методиці корекції градууювальних характеристик вологості і поверхневої густини, яка закладена в програму вимірювальної системи.

Розроблено вимірювальну оптичну систему технологічного контролю вологості і поверхневої густини в умовах високих температур виробництва. Її працездатність при високих температурах досягається використанням вперше вихорової трубки для охолодження вимірювальної зони з датчиками контролю. Випробування в умовах промислового виробництва підтвердили її придатність для технологічного контролю з параметрами, що відповідають сучасним технічним вимогам..

Визначені та враховані численні фактори, що впливають на похибку вимірювання в технологічному потоці та розроблені методи і засоби їх усунення. Система технологічного контролю параметрів вологості і поверхневої густини паперових матеріалів дозволяє підвищити точність їх сумісного вимірювання: з 0,5% до 0,35% для вологості в діапазоні (0 – 8)% абсолютної вологості і з 2% до 1,8% для поверхневої густини.

**(рос.)**

Суть разработки заключается в создании нового оптического метода и средства непрерывного технологического контроля влажности целлюлозно-бумажных материалов в условиях высоких температур производства на базе исследований характеристик пропускания и абсорбции в инфракрасном диапазоне.

Проведен корреляционный (статистический) анализ связи характеристик влажности и поверхностной плотности бумаги. Определены аппроксимационные

аналитические зависимости между этими параметрами, разработана методика обработки информационных сигналов, в которой учтено взаимное влияние влажности и поверхностной плотности. Построенный алгоритм оптических измерений.

Построены, скорректированные на взаимное влияние, градуировочные характеристики влажности и поверхностной плотности на основе совместных гравиметрических и оптических измерений. При этом, в качестве эталона влажности веществ использованы образцы имитаторов влажности, разработанных и запатентованных нами для устранения погрешностей номинальной градуировочной характеристики влагомеров.

Предложенный новый оптический метод позволяет определить не только количество влаги в образце, но и количество сухого вещества (целлюлозы). Ранее это осуществлялось гравиметрическим, лабораторным методом. Новый метод позволяет перейти от технологического контроля, точность которого существенно зависит от опыта и квалификации оператора, к объективному контролю, основанному на разработанной методике коррекции градуировочных характеристик влажности и поверхностной плотности, которая заложена в программу измерительной системы.

Разработана измерительная оптическая система технологического контроля влажности и поверхностной плотности в условиях высоких температур производства. Ее работоспособность при высоких температурах достигается использованием впервые вихревой трубки для охлаждения измерительной зоны с датчиками контроля. Испытания в условиях промышленного производства подтвердили ее пригодность для технологического контроля с параметрами, которые отвечают современным техническим требованиям.

Определены и учтены многочисленные факторы, которые влияют на погрешность измерения в технологическом потоке и разработаны методы и средства их устранения. Система технологического контроля параметров влажности и поверхностной плотности бумажных материалов позволяет повысить точность их совместного измерения: с 0,5% до 0,35% для влажности в диапазоне (0 – 8)% абсолютной влажности и с 2% до 1,8% для поверхностной плотности.

**(англ.)**

Essence of development consists in creation of new optical method and mean of continuous technological control of humidity of cellulose paper materials in the conditions of high temperatures of production on the base of researches of descriptions of admission and absorption in an infra-red range.

The correlation (statistical) analysis of communication of descriptions of humidity and superficial closeness of paper is conducted. Approximating analytical dependences between these parameters are determine, the method of processing of informative signals is developed, the mutual influencing of humidity and superficial density is taken into account in which. Built algorithm of the optical measurings.

Built, adjusted on the mutual influencing, calibration curve of humidity and superficial density on the basis of the joint gravimetric and optical measurings. Thus, in quality to the standard of humidity of matters the used standards of imitators of humidity, developed and patented by us for the removal of errors of nominal calibration curve of moisture meter.

The offered new optical method allows to define not only the amount of moisture in a standard but also amount of dry matter (celluloses). Before it was carried out by gravimetric measurements, a laboratory method. New method allows to pass from the technological control, exactness of which depends on experience and qualification of operator, to the objective control, based on the developed method of correction of calibration curve of humidity and superficial density which is stopped up in the program of the measuring system.

The measuring optical technological checking of humidity and superficial density system in the conditions of high temperatures of production is developed. At high temperatures is achieved its capacity by the use first of vortex tube for cooling of measuring area with the

sensors of control. The tests in the conditions of industrial production confirmed its fitness for the technological control with parameters which answer the modern technical requirements.

Numerous factors which influence on the error of measuring in a technological stream and methods and facilities of their removal are developed are determine and taken into account. The technological checking system of parameters of humidity and superficial density of paper materials allows to promote exactness of their joint measuring: from 0,5% to 0,35% for humidity in a range (0 – 8)% absolute humidity and from 2% to 1,8% for a superficial density.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

1. Патент України №73354 від 25.09.2013 р. Спосіб створення імітатора вологості речовини для метрологічного забезпечення інфрачервоних вологомірів і пристрій для його реалізації. Бушинский В.О., Воронов С.А., Панкратов В.И., Родіонов В.М.
2. Патент України №81020 від 25.09.2013р. Спосіб ідентифікації друкованих об'єктів. Богорош О.Т., Воронов С.О., Маїк В.З., Шкилев , Бубуліс А.
3. Патент Росії №2187888 від 20.08.13 р. Нанометрический способ идентификации объектов Мелихов И.В., Шкилев В.Д., Богорош А.Т.
4. Заявка на патент України. НТУУ КПІ від 18.03.14. Спосіб отримання інформації про наближення руйнуванні об'єкта за рахунок стрибків поляризації домену в твердому тілі при діагностиці дефектів методами акустичної емісії. Богорош О.Т., Воронов С.О., Котовський В.Й., Юдін А.С.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Рівень розробки відповідає сучасному світовому рівню розвитку науки і техніки. Розроблена оптична система технологічного контролю вологості в умовах високотемпературного виробництва відсутня в державах СНД. Характеристики точності приладів контролю не нижче відомих світових фірм «Measurex», «ABB», «Metso automation» і можуть бути підвищені за рахунок програмних засобів градування.

Закордонні аналоги мають дуже жорсткі вимоги до умов експлуатації, тому їх обслуговування можливе тільки представниками фірм-виробників, що значно підвищує втрати підприємств і обмежує їх застосування. Вартість запропонованих приладів контролю (40 тис. євро) у 3 рази нижче закордонних аналогів, які поставляються тільки у складі систем АСУ ТП вартістю мінімум 1,0 млн. доларів.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок (вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники).**

Розробка економічно приваблива. Запровадження методу безперервного технологічного контролю вологості матеріалів у високотемпературних умовах виробництва дозволить вилучити із процесу виробництва енергоємнісну систему охолодження, вдвічі підвищити швидкість руху полотна матеріалу в потоці і, за рахунок цього, у 1,5 рази збільшити кількість продукції, що виробляється. Точність сумісного вимірювання вологості і поверхневої густини завдяки новій методики побудови градувальних характеристик підвищена з 0,5% до 0,35% для вологості в діапазоні (0 – 8)% абсолютної вологості і з 2% до 1,8% для поверхневої густини.

Одиничні подібні закордонні системи вимірювання, які в останній час з'явилися на ринку для задач, що розглядаються, коштують понад 120 тис. євро. Вартість вимірювальної системи, що пропонується, не буде перевищувати 40 тис. євро, термін окупності системи не буде перевищувати 6 місяців. Тому вона знайде широке застосування на підприємствах України і інших держав.

Прогнозований, на сьогодні, обсяг замовлених систем вимірювання становить: по Україні не менше 10 шт., по іншим державам СНД не менше 50 шт. Очікуваний економічний ефект від впровадження однієї системи складає, в середньому, 3,3 млн. грн. При цьому:

- від економії енерговитрат – 1,5 млн. грн.;
- від підвищення працездатності обладнання – 1,8 млн. грн.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).**

Споживачами приладів будуть підприємства целюлозно-паперової промисловості, зокрема Київський картонно-паперовий комбінат, м. Обухів, Жидачівський целюлозно-паперовий комбінат, Корюківська фабрика технічних паперів, Малинська паперова фабрика, з якими існує попередня домовленість стосовно впровадження систем контролю і автоматичного регулювання вологості матеріалів на цих підприємствах. Споживачами таких приладів будуть також підприємства Росії, Білорусі, Казахстану і інших держав.

#### **8. Стан готовності розробки (лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження).**

Розроблено та випробувано експериментальний вимірювальний макет, розроблено методику його випробування, методику повірки і незалежного гравіметричного градування. Запропонований оптичний датчик вологості повністю адаптований для роботи в існуючій системі автоматичного керування технологічним процесом виробництва підприємств целюлозно-паперової промисловості.

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

Експериментальний макет пройшов випробування в лабораторних умовах. Результати підтвердили його придатність для технологічного контролю. Впровадження результатів роботи в подальшому планується здійснювати у межах договору про науково-технічне співробітництво з підприємством “Тригла”, яке спеціалізується на розробці, виготовленні та продажу інформаційно-вимірювальних систем і приладів технологічного і лабораторного контролю матеріалів целюлозно-паперової промисловості.

Експериментальний макет буде основою для проведення підприємством «Тригла» дослідно-конструкторської роботи, розробки конструкторської документації та виготовленню дослідного зразка з його впровадженням на підприємствах целюлозно-паперової та інших галузей промисловості.

Результати НДР використані для підготовки кандидатської дисертації аспірантом Івченко П.О. (захист у другому кварталі 2015 р.); написанню наукових статей та тез доповідей на наукових конференціях, курсових і дипломних робіт студентів ФМФ і ПБФ.

#### **10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.**

Фізико-математичний факультет Національного технічного університету України, тел.406-80-79, e-mail: [voronov@ntu.kpi.kiev.ua](mailto:voronov@ntu.kpi.kiev.ua)

#### **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання**

##### **Посібники:**

1. Нові матеріали і речовини. Рекомендовано МОН України, НТУУ КПІ, 2014. 3 частини. 793с. Богорош О.Т., Воронов С.О., Котовський В.Й.
2. Нові матеріали і речовини. Рекомендовано МОН України, Чернівецький національний університет ім.Ю.Федьковича. 2014. 1003с. 4 тома: т.1. Традиційні матеріали; т.2. Піро- і п'езоматеріали; т.3. Нано- і сегнетоматеріали; т. 4. Біоматеріали. 1003с. Богорош О.Т., Воронов С.А., Шайко-Шайковський А.Г., Ушенко О.Г.
3. Толковый словарь физических терминов. Минский национальный университет Белоруссии, 2014. 5 томов. 2500 с. Богорош А.Т., Воронов С.А., Шайко-Шайковський А.Г., Шпилевський Э.М.

### Статті і тези доповідей

Статті у фахових виданнях і тези доповідей на міжнародних конференціях

1. Бушинський В.О., Воронов С.О., Панкратов В.И., Родіонов В.М. Підвищення точності вимірювань вологості і поверхневої густини паперового полотна при їх сумісному технологічному контролю». Вісник НТУУ «КПІ».Серія Приладобудування. – 2013. – Вип.45, с. 98-106
2. Богорош А.Т., Воронов С.А., Котовський В.Й. Перспективні напрямки розвитку мікротермометрії. Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. Випуск 46, Київ, 2014, с.154-159.
3. Богорош А.Т., Воронов С.А., Котовський В.Й. О наносмазках в трибосопряженнях. Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. Випуск 46, Київ, 2014, с.105-111.
4. Niazi, S.C., Hashemabadi, S.H., Razi, M.M., Bogorosh, A.T., Voronov S.A. CFD simulation of acoustic cavitation in a crude oil upgrading sonoreactor and prediction of collapse temperature and pressure of a cavitation bubble. Chemical Engineering Research and Design Radarweg 29, 1043 NX Амстердам, Нидерланды, volume 92, issue 1, year 2014, pp. 166 – 173.
5. А.Т.Богорош, С.А.Воронов, А.С.Юдин. Автоматизированная диагностика и контроль сложных электронных и механических систем. Сборник Международной научно-технической конференции 9-13.09 2013 года «Автоматизация: проблемы, идеи, решения», Севастопольский национальный технический университет, ISBN 978-617-035-3, 2013, - 240с.,– С.135-137.
6. А.Т.Богорош, С.А.Воронов, А.С.Юдин. Экспресс диагностика разрушения наноразмерных частиц композитных материалов. Сборник Международной научно-технической конференции 9-13.09 2013 года «Автоматизация: проблемы, идеи, решения», Севастопольский национальный технический университет, ISBN 978-617-035-3, 2013, - 240с.,– С.137-139.
7. Бушинський В.О., Воронов С.О., Панкратов В.И. Родіонов В.М. Метод вимірювання вологості і поверхневої густини паперового полотна при їх сумісному технологічному контролю». 12 Міжнародна наук-техн. конф. «Приладобудування: Стан і перспективи» , зб. Тез доповідей, Київ 2013, с.209
8. A. Bogorosh, S.Voronov, A.Bubulis, M.Ragulskis. Diagnosis strength of vibrating structures made of composite materials acoustic emission method using amorphous chalcogenide films. The International Conference Vibroengineering 2013, “Journal of Vibroengineering” (JVE) or “Journal of Measurements in Engineering” (JME). JVE is referred in THOMSON REUTERS (ISI Web of Science, with impact factor), Lithuanian Academy of Sciences, IFToMM National Committee of Lithuania.
9. Voronov S.A., Goroshko A.V., Bubulis A. Properties of signet composites’ during a vibration. Proceedings of International Seminar on Science and Education, December 13-20, 2013, Dubai, UAE, pp.31-35
10. A. Yudin, S.Voronov, A.Bogoros. An avalanche of dislocations and spikes in electronic circuit boards. 2013 International Conference on Advances in Energy and Environmental Science www.icaees.org Guangzhou, China, July 30-31, 2013.
11. A. Bogorosh, S.Voronov, A.Yudin, N. Višniakov, A. Bubulis. Dislocation avalanches and strain bursts in the boards of electronic equipment. The 2013 International Conference on Mechatronics and Control Engineering (ICMCE 2013), Hong Kong Industrial Technology Research Centre 09.28-29, 2013
- 12. Фото ( схема, слайди презентації розробки в електронному вигляді (рекламного характеру). Бажано використовувати формат JPEG, якщо фото надається окремим файлом.**



Рисунок 1 - Скануюча система технологічного контролю параметрів рухомого паперового полотна. Над ним і під ним на каретці, що рухається поперек полотна, встановлені датчики вологості, поверхневої густини і ін..



Рисунок 2 - Датчики вимірювальної системи вимірювальної системи технологічного контролю параметрів паперового полотна.