

для симетричного профілю при спотворенні потоку. Піки на рис. 6 відповідають найбільшому значенню асиметрії, що зумовлена згинами просторового коліна.

Висновки

Одним із можливих підходів до оцінки ступеня асиметрії потоку є визначення зміни кінетичної енергії, що характеризує міру перенесення маси потоку, за допомогою моменту розсіяння імпульсу потоку.

Запропонована методика оцінки ступеня асиметрії потоку дозволяє отримати комплексний показник асиметрії в перерізі використовуючи дискретні значення швидкостей по чотирьох діаметральних хордах.

Представлені результати комп'ютерного моделювання проходження рідини крізь місцевий опір – просторове коліно, що підтверджують теоретичні дані.

Подальші дослідження будуть пов'язані з оцінюванням впливу несиметричності потоків рідин та газів на ефективність вимірювання їх витрати та кількості.

Література

1. Untersuchung und Entwicklung strömungsprofilunempfindlicher Wasser- und Wärmezähler und deren mechanischer Schnittstellen; (PTB-Bericht PTB-MA-90); Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2012.
2. Gianalberto Grego Chose of position of four acoustic paths in circular conduit sections_ downstream of curves with insufficient straight length and highly disturbed velocity profiles, 7th International Conference on Hydraulic Efficiency Measurements, September 3rd-6th 2008, Milan, Italy.
3. Кулінченко В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: підручник / В.Р. Кулінченко. – К.: Фірма «ІНКОС», Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
4. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: підручник / В.Б. Струтинський. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.
5. Salami L.A. Application of a computer to asymmetric flow measurement in circular pipes // Trans. Inst. MC. 1984. V.6. P. 197.

*Надійшла до редакції
15 травня 2013 року*

© Коробко І.В., Волинська Я.В., 2013

УДК 676.017.55

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА ПРИ ИХ СВЯЗАННОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ

*Воронов С. А., Паламарчук Д. В., Панкратов В. Й., Родионов В. Н.
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Точность технологического контроля характеристик влажности и поверхностной плотности бумажного полотна абсорбционным оптическим методом существенным образом определяется тем, что полосы поглощения воды и целлюлозы бумаги находятся в одном

спектральном інтервалі. Поєтому, в градуировочную характеристику влажности, как параметр, входит поверхностная плотность, а в характеристику поверхностной плотности, как параметр, входит влажность. Проведенный анализ характеристик совместных гравиметрических и абсорбционных измерений показал, что для определенного типа бумаги можно построить градуировочные характеристики влажности и поверхностной плотности, скорректированные на их взаимное влияние.

Разработана методика и алгоритм обработки данных, на основе которых удалось снизить погрешность контроля поверхностной плотности с 2,0% до 1,8% и влажности с 0,5% до 0,35% в диапазоне измерения влажности (0 – 8)%. Это позволяет снизить брак, повысить качество бумаги и эффективность производства. Методика позволяет определить поверхностную плотность абсолютно сухого вещества при контроле бумажного полотна, что весьма актуально для экономии сырья.

Ключевые слова: бумажное полотно, оптический абсорбционный метод, точность измерения, влажность материала, поверхностная плотность, градуировочная характеристика.

Введение. Постановка проблемы

Абсолютная влажность и поверхностная плотность являются одними из наиболее важных параметров, измеряемых в технологическом процессе на движущемся полотне бумаги [1].

Наиболее рациональным и, соответственно, распространенным методом определения этих двух параметров является оптический метод, в котором широкие полосы поглощения влаги и материала (целлюлозы) находятся в одном спектральном интервале, поэтому измеряемые значения поверхностной плотности и влажности существенно взаимосвязаны [2]. Например, на длине волны 2,11 мкм, которая применяется для определения содержания наиболее распространенной компоненты большинства видов бумаг целлюлозы, излучение поглощается не только целлюлозой, но и влагой, рис 1. то же можно сказать и о длине волны 1,93 мкм, которая избирательно поглощается влагой и поэтому используется для определения влагосодержания в бумажном полотне.

Измерения пропускания для определения поверхностной плотности и влажности производятся относительно пропускания на опорной длине волны 1,81 мкм, т.е. измерительные сигналы влажности и поверхностной плотности, соответствующих измерительных каналов, пропорциональны отношению интенсивностей пропускания на соответствующих длинах волн:

$$K_w = \frac{I_{1,81}}{I_{1,93}}, \quad K_\rho = \frac{I_{1,81}}{I_{2,11}}.$$

Анализ предыдущих исследований

Современные методики обработки измерительных сигналов в настоящее время имеют существенный недостаток: построенные на их основе градуировочные характеристики влажности не учитывают изменение угла наклона этих характеристик и их смещение относительно начала координат при изменении поверхностной плотности материала, как параметра [3]. Аналогично, характеристики поверхностной плотности также не учитывают изменение своего на-

клона и смещения относительно начала координат с изменением величины влажности, как параметра.

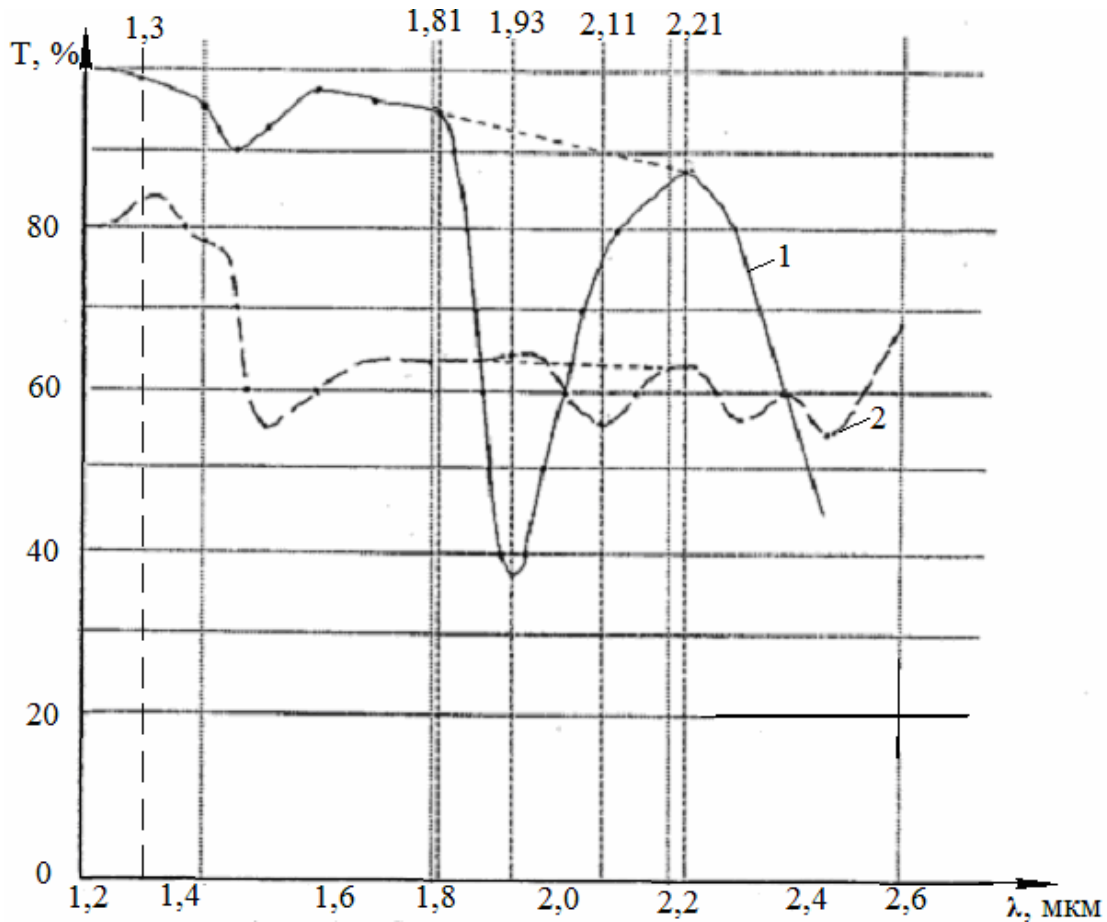


Рис. 1. Спектральная характеристика пропускания бумаги, где 1 – вода; 2 – целлюлоза

Целью работы является разработка методики построения градуировочных характеристик влажности и поверхностной плотности, учитывающих их взаимную связь.

Методика измерений

Для построения градуировочных зависимостей влажности и поверхностной плотности от оптических измерительных сигналов K_w и K_p проведены независимые гравиметрические измерения согласно методике [4].

Для исследований изготавливались образцы из одного типа бумаги с разным значением влажности и поверхностной плотности. Измерение массы образцов для определения поверхностной плотности производилось гравиметрическим методом с погрешностью не более 0,01 г. Изменение влажности достигалось путем увлажнения образцов в специальном шкафу с последующим вы-

сушиванием в печи при температуре 40 – 105°C. Для точного измерения влажности было необходимо измерить массу абсолютно сухого образца, для чего его выдерживали в печи 1 час при температуре 105°C.

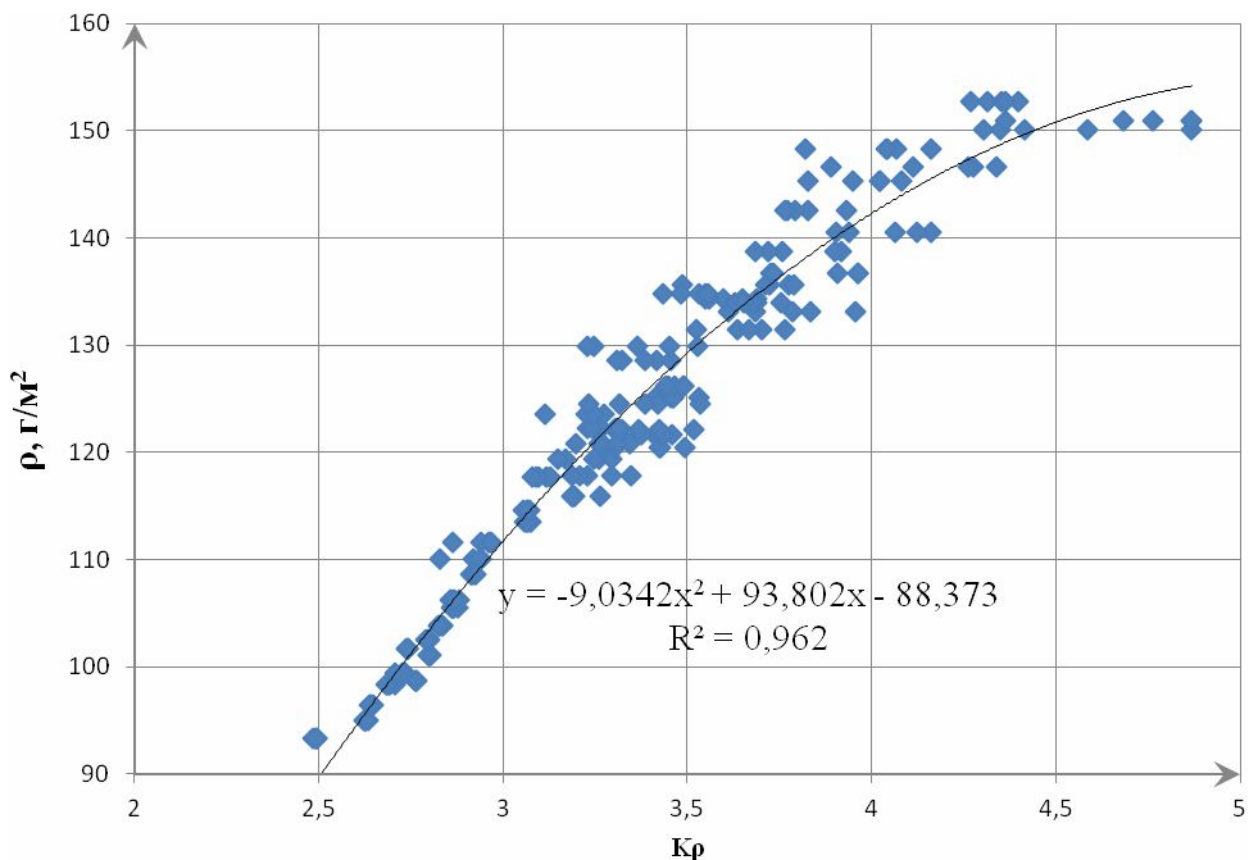


Рис. 2. Градуировочная характеристика поверхностной плотности образцов 1 – 4 с разным значением влажности, указанным на рис. 3

Результаты проведенных исследований

На рис. 2 приведена зависимость поверхностной плотности четырех образцов при всех заданных значениях влажности (см. рис. 3) и построена линия регрессии (методом наименьших квадратов), которая аппроксимирована параболой с указанными на рисунке постоянными коэффициентами и коэффициентом детерминации R^2 , [5] Виден большой разброс результатов измерений поверхностной плотности из-за разной влажности образцов в диапазоне (0 – 8)%.

На рис. 3 показана связь оптического сигнала и влажности $W = f(K_W)$, при этом влажность и поверхностная плотность измерены гравиметрическим методом [4], то есть графики представляют собой градуировочные характеристики образцов. Анализ показал, что из трех аппроксимаций линий (логарифмической, параболической и линейной) наиболее точной является линейная, коэффициент детерминации R^2 при этом является коэффициентом корреляции и составляет 0,991 – 0,999 [5]. Таким образом, все графики $W = f(K_W)$ можно ап-

проксимировать уравнением с постоянными коэффициентами, зависящими от поверхностной плотности как параметра

$$W = A_1 K_w - A_2. \quad (1)$$

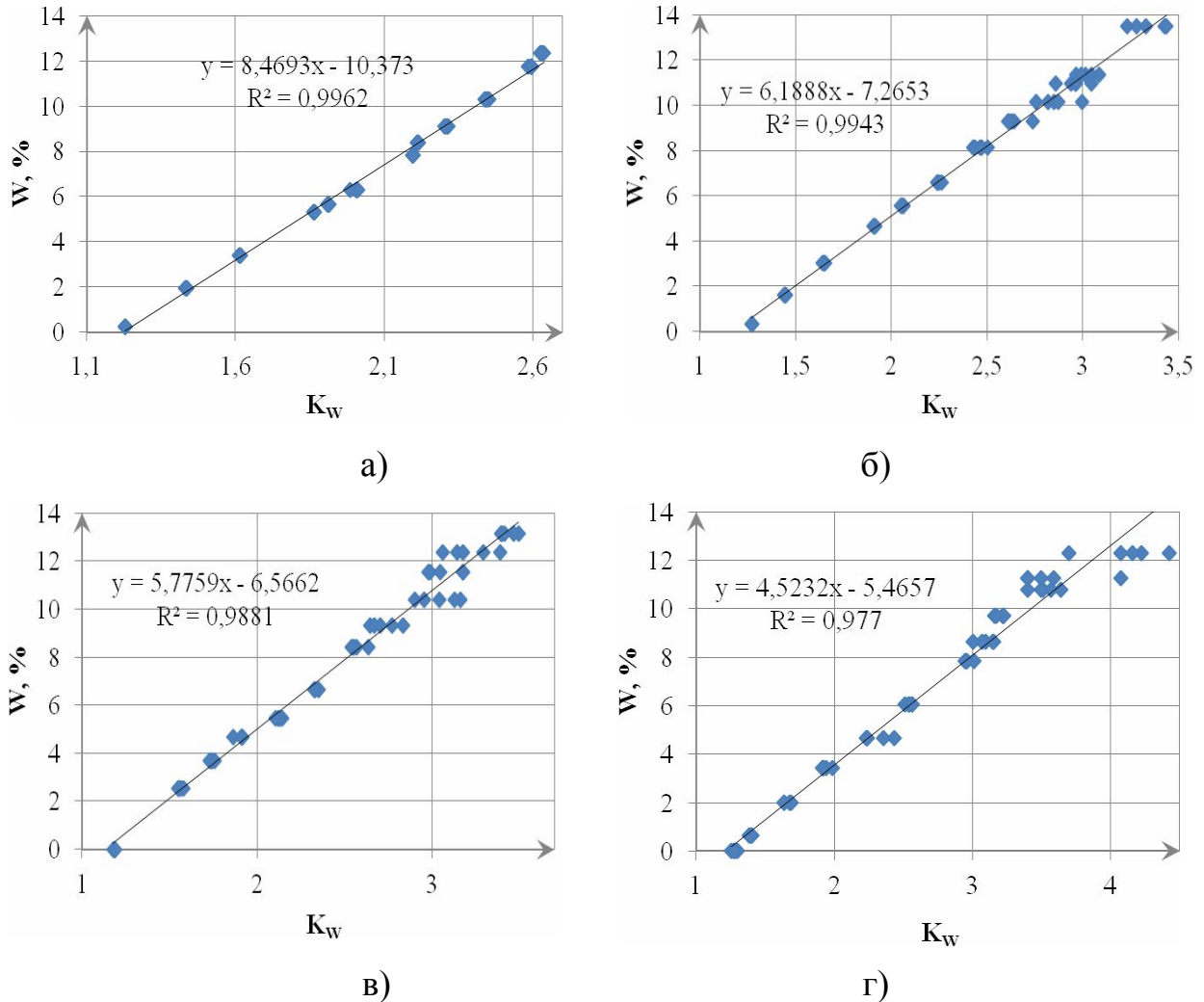


Рис. 3. Градуировочные характеристики образцов с поверхностной плотностью $г/м^2$, где : а) 100; б) 112; в) 125; г) 140

Взяв значения постоянных коэффициентов уравнения A_1 и A_2 одного из образцов за номинальные, т.е. A_{1H} и A_{2H} , можно нормировать все остальные образцы и составить отношения $\frac{A_{1i}}{A_{1H}}$ и $\frac{A_{2i}}{A_{2H}}$, а также их зависимость от относительной плотности $\frac{\rho_i}{\rho_H}$.

На рис. 4 показана эта зависимость, которая выражена степенным законом. При этом показатели степени $Z_1 = -1,665$ для A_1 и $Z_2 = -1,775$ для A_2 определяются типом измеряемой бумаги.

При этом показатели степени $Z_1 = -1,665$ для A_1 и $Z_2 = -1,775$ для A_2 определяются типом измеряемой бумаги.

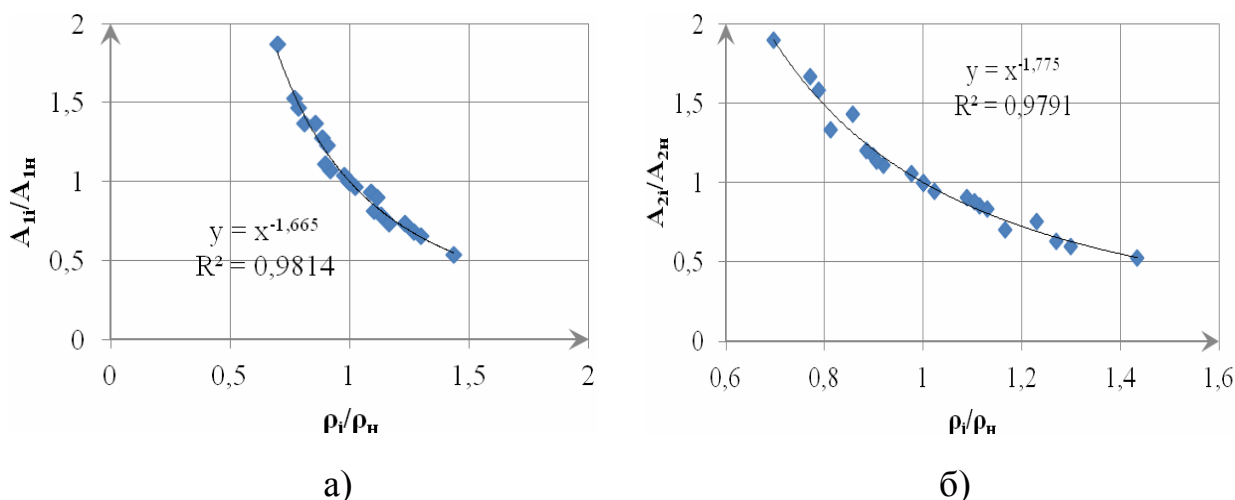


Рис. 4. Зависимость отношений коэффициентов A_1 (а) и A_2 (б) уравнений от относительной поверхностной плотности.

Теперь это нам позволяет провести коррекцию постоянных коэффициентов уравнений влажности по значению поверхностной плотности. Таким образом

$$W = A_{1H} \left(\frac{\rho_i}{\rho_H} \right)^{Z_1} K_W - A_{2H} \left(\frac{\rho_i}{\rho_H} \right)^{Z_2}, \quad (2)$$

т.е., получить скорректированное значение W для образцов с произвольным значением поверхностной плотности.

Далее можно определить влияние параметра влажности на значение поверхностной плотности. Для этого необходимо из данных гравиметрических и оптических измерений построить зависимость измерительного сигнала поверхностной плотности от влажности для измеренных образцов: $K_M = f(W)$, которую можно аппроксимировать как линейную, рис. 5.

Исходя из вышеизложенного, можно построить график связи поверхностной плотности абсолютно сухих образцов ρ_{AC} с измеренным значением K_M , (рис. 6, линия для $W = 0$), а затем вычислить поверхностную плотность других образцов для некоторых фиксированных значений влажности, пользуясь выражением

$$\rho = \rho_{AC} \left(1 + \frac{W}{100} \right), \quad (3)$$

и достроить линии 2 – 8 рис. 6. Как следует из рис. 6, график $\rho_{AC} = f(K_M)$ можно аппроксимировать линейной функцией вида:

$$\rho_{AC} = T_1 K_M + T_2, \quad (4)$$

в которой коэффициенты T_1 и T_2 зависят от влажности, как параметра.

Зависимость постоянных коэффициентов T_1 и T_2 от влажности, которая следует из рис. 6 и соответствующие аппроксимационные уравнения показаны на рис. 7.

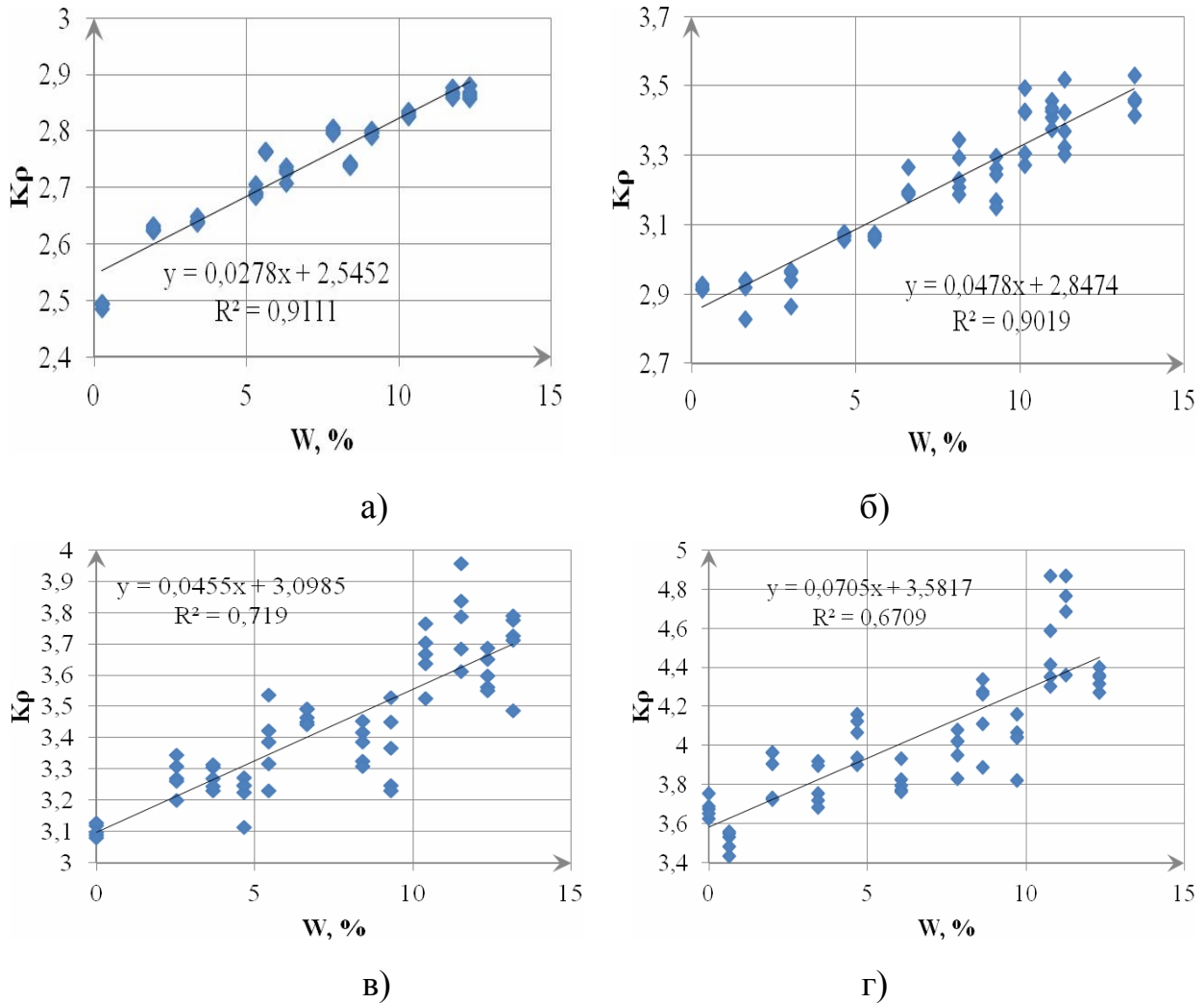


Рис. 5. Связь оптического сигнала поверхностной плотности и влажности для образцов с ρ , где: а) 100; б) 112; в) 125; г) 140 г/м²

Таким образом, в память измерительного оптического прибора вводят:

1. Усредненный график поверхностной плотности от величины измеряемого сигнала $\rho = f(K_M)$;

2. Номинальную градуировочную характеристику влажности и значение поверхностной плотности для одного из образцов данного типа бумаги:

$$\rho_n, A_{1H}, A_{2H}, W = A_{1H}K_W - A_{2H};$$

3. Выражения для коррекции коэффициентов графика влажности

$$A_{1i} = A_{1H} \left(\frac{\rho_i}{\rho_H} \right)^{Z_1}, \quad A_{2i} = A_{2H} \left(\frac{\rho_i}{\rho_H} \right)^{Z_2},$$

$$W = A_{1H} \left(\frac{\rho_i}{\rho_H} \right)^{Z_1} K_W - A_{2H} \left(\frac{\rho_i}{\rho_H} \right)^{Z_2};$$

4. Аппроксимационные уравнения зависимости коэффициентов T_1 и T_2 от влажности, необходимые для вычисления поверхностной плотности абсолютно

сухого образця согласно $\rho_{AC} = T_1 K_M + T_2$, а затем для вычисления $\rho_i = \rho_{AC} (1 + \frac{W}{100})$.

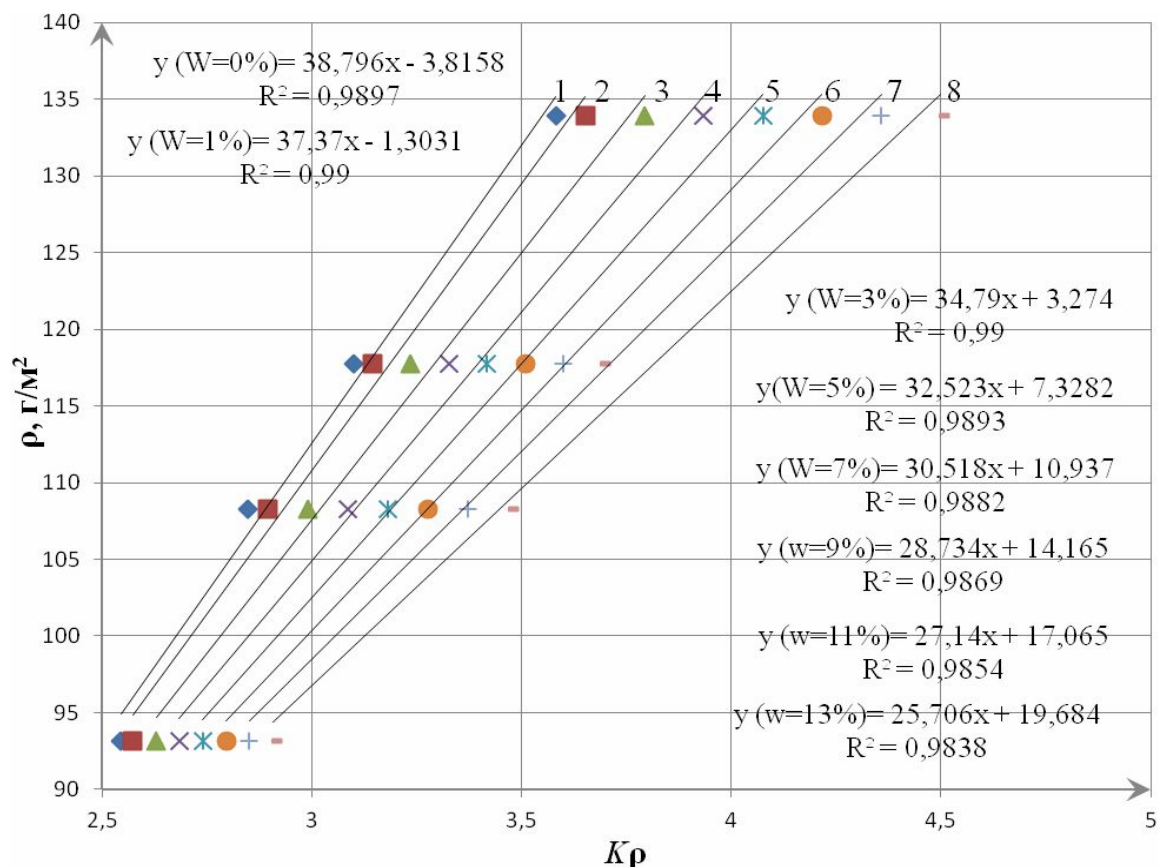


Рис. 6. Градуировочные характеристики и уравнения аппроксимации образцов с влажностью % : 1 – 0; 2 – 1; 3 – 3; 4 – 5; 5 – 7; 6 – 9; 7 – 11; 8 – 13

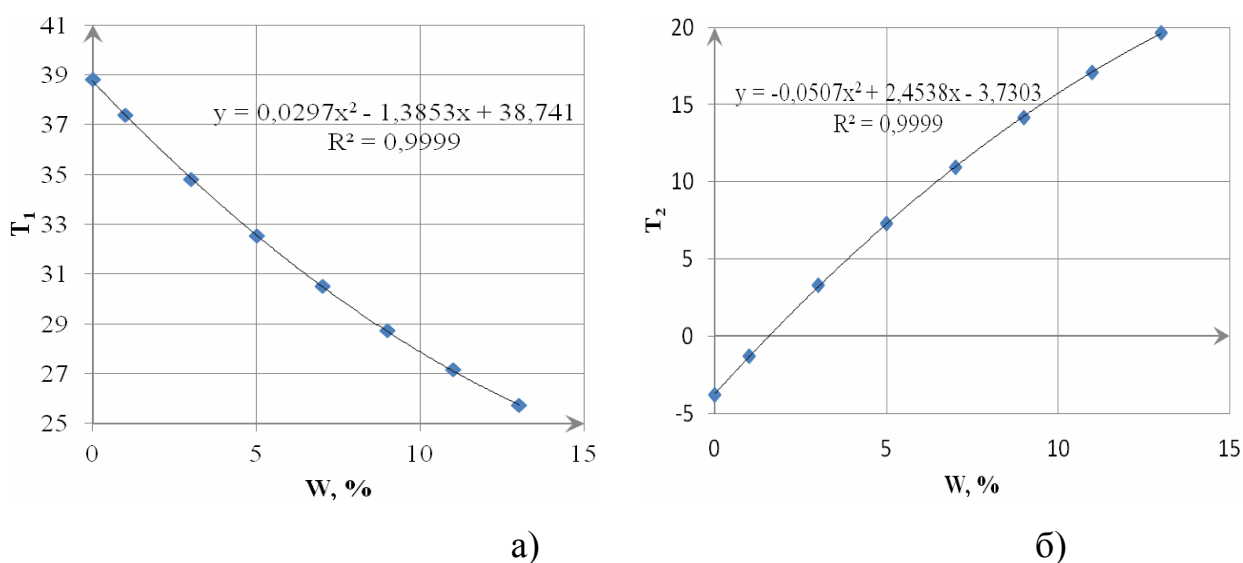


Рис.7 Зависимость коэффициентов T_1 – а) и T_2 – б) уравнения (4) от влажности

Выводы

1. Благодаря предложенному алгоритму измерений и обработки полученных результатов, возможно учесть взаимное влияние параметров влажности и поверхностной плотности друг на друга;

2. Методика измерений позволяет определить не только количество влаги в образце, но и количество сухого вещества (целлюлозы).

3. Предложенная методика позволила уменьшить погрешность технологического контроля поверхностной плотности с 2,0% до 1,8% и влажности с 0,5% до 0,35% в диапазоне измерения влажности (0 – 8)%, что приведет к снижению брака, повышению качества и эффективности производства.

4. Методика позволяет перейти от технологического контроля, точность которого существенно зависит от опыта и квалификации оператора, к объективному контролю, основанному на разработанной методике коррекции градуировочных характеристик, измеряемых величин влажности и поверхностной плотности, которая заложена в программу измерительной системы.

Литература

1. Патент №15857 Україна. Пристрій для вимірювання параметрів листових матеріалів / В. О. Бушинський, С. О. Воронов, В. И. Панкратов, В. М. Родіонов. Опубл. 17.07.2006.
2. Берлинер М. А. Измерения влажности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
3. United States Patent: 5, 124, 552 Sensor and method for measuring web moisture temperature insensitivity over a wide basis weight range. Anderson; Leonard M. June 23, 1992, U.S. Documents.
4. ГОСТ 13525.19-91 Бумага и картон. Определение влажности. – Дата введения 01.01.93. – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.
5. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. - Т.1. Теория вероятностей и прикладная статистика. - М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 656 с.

*Надійшла до редакції
15 травня 2013 року*

© Воронов С. А., Паламарчук Д. В., Панкратов В. Й., Родионов В. Н., 2013