

М. С. Ревунов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА БУМАЖНОЙ МАССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРОССКОРРЕЛЯЦИОННОГО АЛГОРИТМА

M. S. Revunov

IMPROVEMENT THE SYSTEMS FOR STABILIZATION PARAMETERS OF THE FLOW OF PAPER PULP USING A CROSS-CORRELATION ALGORITHM

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. На современных бумагоделательных машинах для целого ряда основных параметров потока бумажной массы отсутствуют какие-либо средства измерения и контроля. Более того, все контуры регулирования оснащены одномерными регуляторами, которые не учитывают влияния различных взаимосвязанных факторов друг на друга. Все это приводит к погрешностям регулирования и, соответственно, браку конечной продукции. Целью работы является повышение точности и стабильности технологического процесса производства бумаги путем совершенствования функциональных подсистем АСУТП. **Материалы и методы.** В работе использованы методы современной теории автоматического управления и автоматизации технологических процессов, теории вероятностей и математической статистики, методы цифровой трассерной визуализации и компьютерное моделирование. **Результаты.** Произведен анализ факторов, влияющих на дисперсию веса бумажного полотна на стадиях подготовки и формирования; экспериментально подтверждена экстремальная зависимость неравномерности просвета бумаги от скорости напуска массы на сетку. Обоснованы принципы совершенствования систем стабилизации параметров потока бумажной массы на длинносеточных бумагоделательных машинах. Разработан алгоритм бесконтактного измерения скорости твердотельных объектов, жидких или вязких сред на основе кросскорреляционного метода. **Выводы.** Экспериментальные исследования скорости напуска бумажной массы на сетку подтверждают применимость указанных подходов в вопросах совершенствования систем стабилизации плотности бумажного полотна.

A b s t r a c t. Background. On modern paper machines for a number of parameters of the paper mass flow there are no any means of measurement and control. All control circuits are equipped with one-dimensional regulators that do not take into account the influence of various interrelated factors on each other. All this leads to regulatory errors and, accordingly, the marriage of the final product. The aim of the work is to improve the accuracy and stability of the paper production process by improving the functional subsystems of ACSTP. **Materials and methods.** The article uses the methods of modern theory of automatic control and automation, probability theory and mathematical statistics, methods of digital tracer visualization and computer modeling. **Results.** An algorithm for contactless measurement of the velocity of objects based on the cross-correlation method has been developed. **Conclusions.** Studies confirm the applicability of these approaches to the improvement of ACSTP.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бумагоделательные машины, бумажная масса, системы стабилизации, совершенствование подсистем АСУТП.

Key words: paper machines, paper pulp, stabilization systems, improvement of the APC systems.

Постановка задачи

Дисперсия веса бумаги и картона в продольном направлении зависит сразу от нескольких взаимосвязанных факторов, главные из которых: однородность и концентрация бумажной массы (требуемые показатели достигаются на размольно-подготовительном участке), угол и скорость напуска массы на сеточную часть бумагоделательной машины, объем бумажной массы на сеточном столе в единицу времени [1–4].

Существующие системы стабилизации веса бумажного полотна, основанные на принципах стабилизирующего [5] или экстремального регулирования [6], обладают невысоким быстродействием, обусловленным большим временным запаздыванием в объекте регулирования.

Установлено, что зависимость неравномерности просвета бумаги или дисперсии ее веса носит экстремальный характер и зависит от соотношения скоростей k_c между скоростью напуска бумажной массы и скоростью сетки, достигая минимальных значений при соотношении скоростей $k_c = 1$ [7]. Следовательно, для минимизации дисперсии веса бумажного полотна необходимо поддерживать $k_c \approx 1$, регулируя скорость напуска бумажной массы путем изменения давления воздушной подушки в напорном устройстве.

На рис. 1 приведены фотографии процесса напуска бумажной массы на сетку бумагоделательной машины.



Рис. 1. Процесс напуска массы (вид сбоку и сверху)

На фотографиях видно, что измерение скорости напуска бумажной массы сводится к измерению скорости движения плоской струи жидкости, причем величина этой скорости достаточно высокая и лежит в диапазоне 200–600 м/мин. Анализ методов измерения расхода и скорости потоков жидкости [8–10] позволил остановиться на кросскорреляционном методе измерения скорости.

Измерение скорости потока жидкости с использованием кросскорреляционного алгоритма

Для определения скорости потока жидкости производится регистрация ее движения с помощью цифровой видеокамеры. Работа с полученными данными и их подготовка состоит из нескольких основных операций:

1. Выбор и чтение видеофайла; определение параметров выбранного видеофайла; ввод пользовательских настроек: шаг дискретизации, число используемых кадров, добавочный коэффициент по времени и т.д.

2. «Усечение по краям» – необходимо для того, чтобы избежать ситуаций, в которых в поле расчетной области попадают посторонние объекты или объекты, находящиеся в непо-

средственной близости от объекта исследования. Примеры таких ситуаций представлены на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Процедура «усечения по краям» из-за дефекта видеофайла

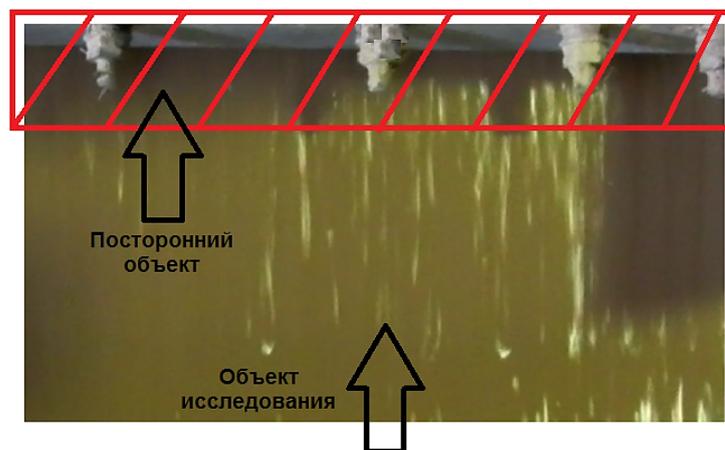


Рис. 3. Процедура «усечения по краям» из-за попадания в кадр постороннего объекта (выпускной щели напорного ящика)

3. Выбор «оптимального окна» и формирования цифровых матриц видеокadra для кросс-корреляционного анализа. При выборе размерности матриц необходимо стремиться к уменьшению их размерности до величины, при которой обеспечивается требуемая точность измерения скорости. Пример формирования матрицы видеокadra течения речной воды представлен на рис. 4.

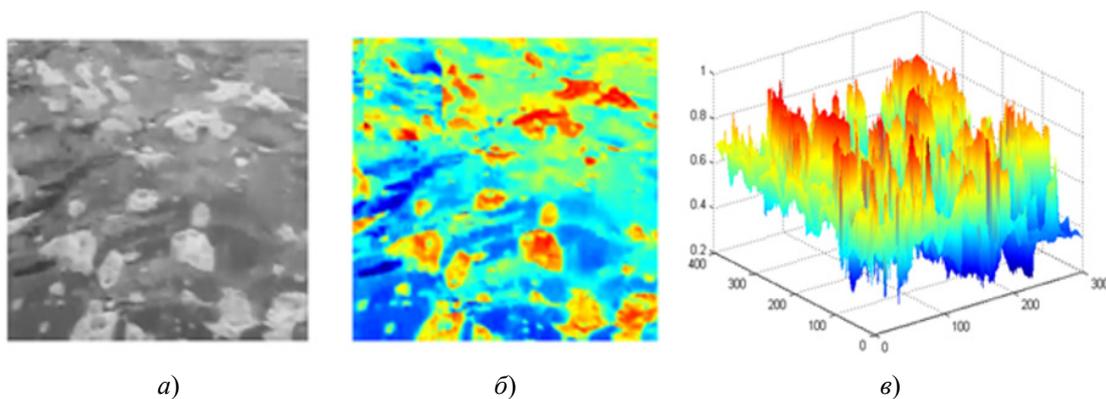


Рис. 4. Исходное изображение объекта исследования (а) и графическое отображение матрицы видеокadra (б, в)

4. Расчет кросскорреляционной функции и определение координат ее максимума. Если принять во внимание тот факт, что в цифровой обработке изображений сигналы являются дискретными, функция пространственной корреляции представляет собой свертку

$$R(m, n) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N f(i, j)g(i + m, j + n),$$

где f и g – интенсивности первого и второго кадров изображений [11]. Метод вычисления свертки зависит от конкретной реализации алгоритма обработки. Обычно используют либо непосредственное вычисление сумм, либо корреляционную теорему Винера – Хинчина

$$R(m, n) = \zeta^{-1} \left[\zeta[f] \zeta^* [g] \right],$$

где ζ и ζ^{-1} – прямое и обратное преобразования Фурье. При вычислении преобразования Фурье используется алгоритм быстрого преобразования Фурье, который дает преимущества по времени обработки перед прямым расчетом кросскорреляционной функции [11].

Корреляционная функция, записанная в терминах преобразования Фурье, будет иметь следующий вид:

$$R(m, n) = \frac{\zeta^{-1} \left[\zeta [Wf - \langle Wf \rangle] \zeta^* [Wg - \langle Wg \rangle] \right]}{\sqrt{\sigma^2(Wf) \sigma^2(Wg)}},$$

где $W = W(x, y)$ – весовая функция; σ^2 – дисперсия значений интенсивности внутри расчетной области [11].

После вычисления корреляционной функции производится поиск координат максимального корреляционного пика с подпиксельной точностью. Пример расчета кросскорреляционной функции по двум матрицам видеок кадров представлен на рис. 5.

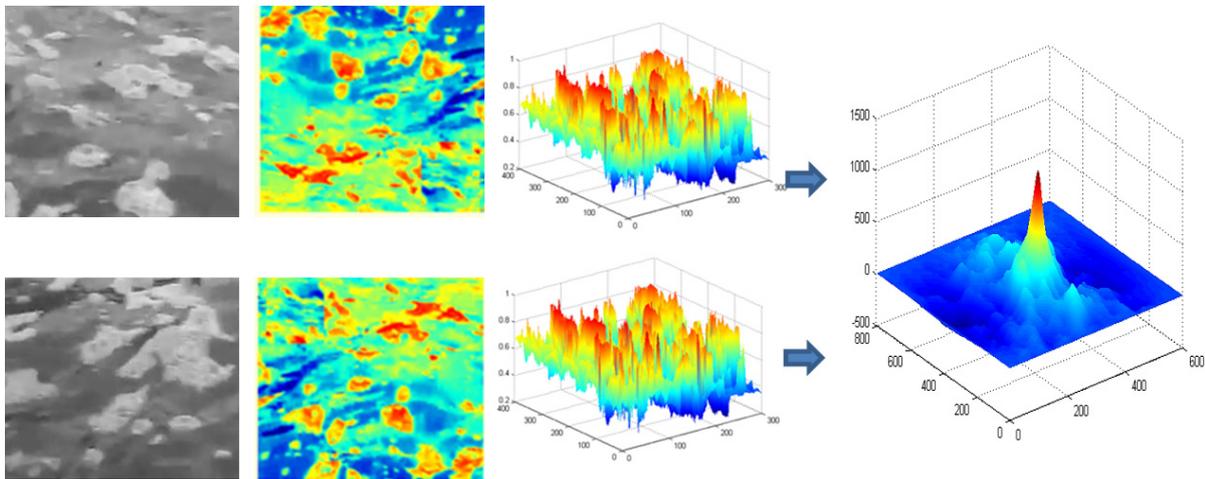


Рис. 5. Кросскорреляционная функция 42 и 43 кадров

5. Вычисление скорости движения объекта $v_{нк}$ [пиксель/кадр] и пересчет этой скорости в размерность [м/мин] происходит по формуле

$$v = v_{нк} m_l n_k,$$

где m_l – масштаб видеок кадра [м/пиксель], n_k – скорость видеосъемки [число кадров в минуту].

На рис. 6 приведены графики перемещения кросскорреляционного максимума по осям абсцисс и ординат.

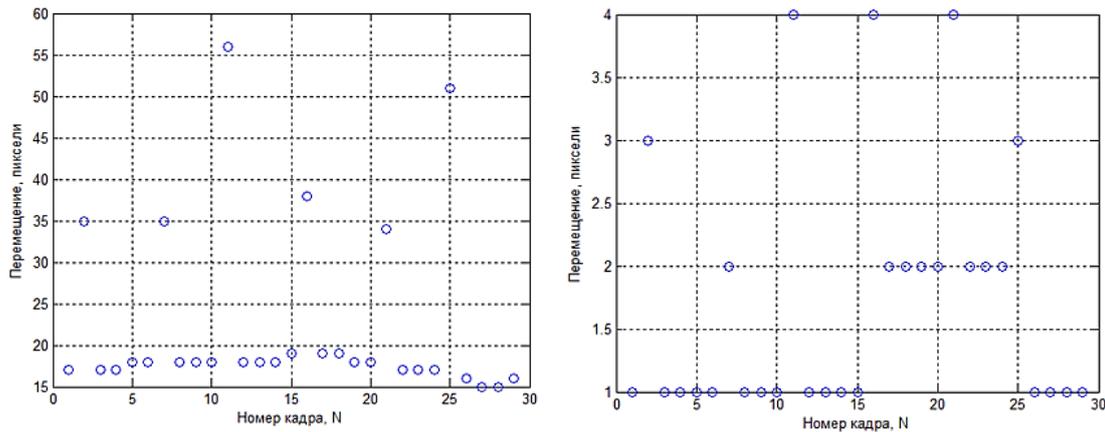


Рис. 6. Графики перемещения кросскорреляционного максимума

6. Зная скорость и направление движения исследуемого объекта, мы можем сформировать промежуточные матрицы RO, необходимые для работы алгоритма оценки свойств пикселя движущейся точки. Промежуточные матрицы RO формируются следующим образом: на первом кадре определяется исходное положение интересующего нас пикселя (или области из пикселей); полученные данные (номера строк и столбцов) записываются в матрицу RO в виде $RO(:, :, k)$. На втором и последующих кадрах также определяется положение интересующего нас пикселя (или области из пикселей), но уже на основе данных о его предыдущем положении, скорости и направлении движения объекта.

Стабилизация скорости напуска бумажной массы с использованием кросскорреляционного алгоритма

Изменение скорости постоянной части бумагоделательной машины (БДМ) ведет к изменению технологических режимов и влияет на все элементы и подсистемы машины. Поэтому для минимизации неравномерности просвета необходимо постоянно измерять скорость напуска бумажной массы с помощью оптико-электронных приборов (бесконтактных измерителей скорости) и изменять ее, регулируя напор в напускном устройстве.

Функциональная схема БДМ с контуром регулирования соотношения скоростей напуска бумажной массы и сеточной части бумагоделательной машины представлена на рис. 7.

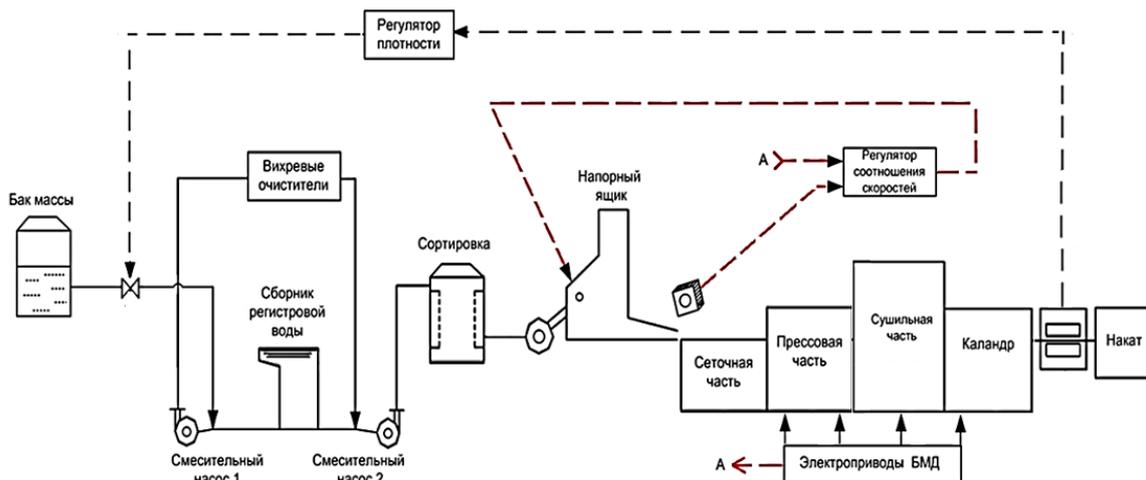


Рис. 7. Функциональная схема БДМ с дополнительным контуром регулирования

Модифицированный кросскорреляционный алгоритм (МКА) был апробирован при измерении скорости твердотельных объектов (автомобиль, промышленный конвейер и др.) и жидких сред (вода, бумажная масса). Съемка проводилась при естественном освещении с помощью камеры Nikon COOLPIX P500. В ходе экспериментов были получены видеофайлы длительностью 5–35 с с размером 1920×1080 (Full HD с частотой 30 кадров в секунду).

На рис. 8 показаны последние шесть кадров, взятые для расчета скорости напуска бумажной массы на сеточную часть БДМ (эксперимент при скорости машины 220 м/мин), а на рис. 9 и 10 – результирующие графики перемещения кросскорреляционного максимума.

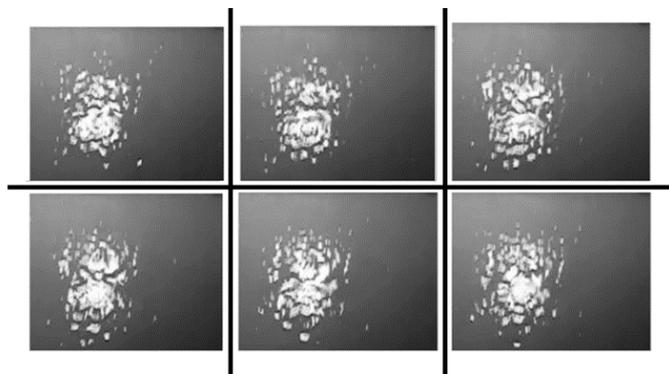


Рис. 8. Скорость напуска бумажной массы на сеточную часть БДМ

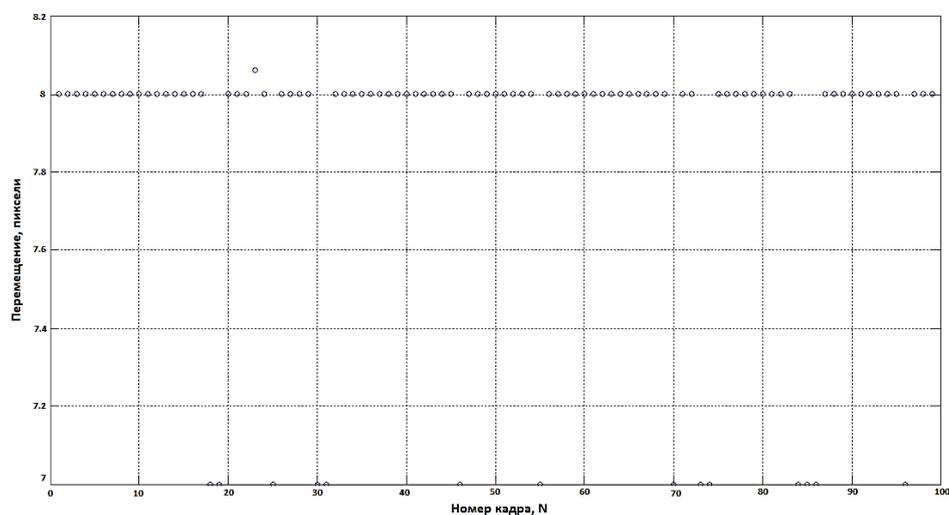


Рис. 9. Результирующий график перемещения ККМ

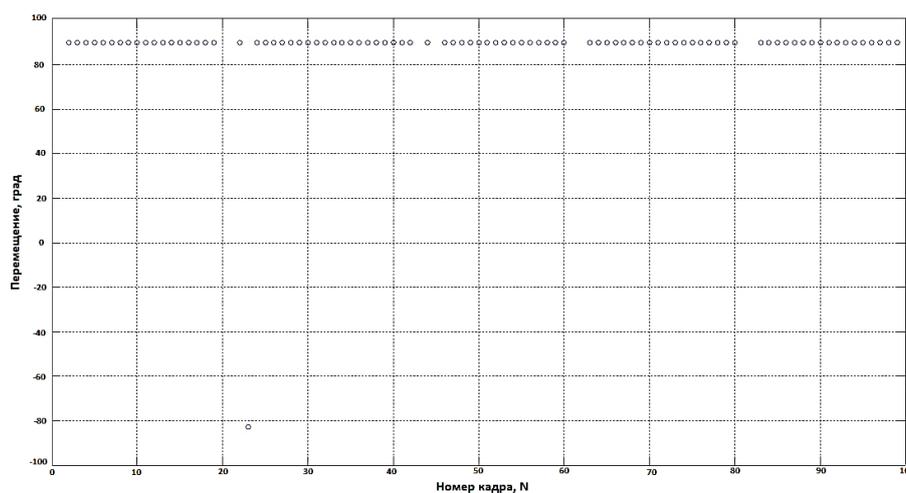


Рис. 10. Результирующий график направления движения ККМ

Для дальнейшего вычисления скорости напуска бумажной массы следует перейти от расстояния, пройденного в пикселях, к метрам и пересчитать время. Для этого понадобятся реальные размеры исследуемого объекта (рис. 11 и 12).

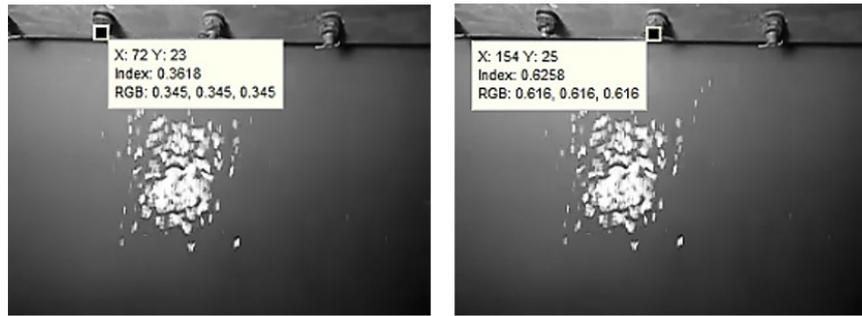


Рис. 11. Расстояние между секциями напорного ящика в пикселях



Рис. 12. Расстояние между секциями напорного ящика в сантиметрах

Таким образом, рассчитанная с помощью кросскорреляционного алгоритма скорость напуска равна ≈ 218 м/мин, что соответствует действительности (рис. 13).



Рис. 13. Тренды скорости БДМ

Библиографический список

1. *Иванов, С. Н.* Технология бумаги / С. Н. Иванов. – М. : Школа бумаги, 2006. – 310 с.
2. *Фляте, Д. М.* Свойства бумаги : учеб. пособие / Д. М. Фляте. – Краснодар : Лань, 2012. – 384 с.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. – СПб. : Политехника, 2004. – 315 с.
4. *Дунаев, Д. В.* Системный подход к обеспечению требуемых печатных свойств бумаги на основе информации о качестве печати : дис. ... канд. техн. наук / Дунаев Д. В. – СПб., 2006. – 148 с.
5. *Зорин, И. Ф.* Управление процессами целлюлозно-бумажного производства / И. Ф. Зорин, В. П. Петров, С. А. Рогульская. – М. : Лесная промышленность, 1981. – 272 с.
6. *Авдеева, О. В.* Экстремальное управление инерционным объектом с запаздыванием в условиях сильных помех / О. В. Авдеева, Д. В. Артамонов, С. В. Никулин, А. Д. Семенов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 3. – С. 54–64.
7. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства бумаги и картона. – СПб. : Политехника, 2005. – 423 с.
8. *Кремлевский, П. П.* Расходомеры и счетчики количества веществ : справочник / под общ. ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2004. – Кн. 2. – 412 с.
9. *Финкельштейн, Г. Э.* Оптический контроль бумаги / Г. Э. Финкельштейн. – СПб. : Бумажная промышленность, 1987. – С. 21–22.
10. *Ахметбеков, Е. К.* Корреляционная коррекция в методе слежения за частицами в потоках / Е. К. Ахметбеков. – М. : Вычислительные технологии, 2010. – 67 с.
11. *Прэртт, У. Н.* Цифровая обработка изображений / У. Н. Прэртт. – М. : Мир, 2000.

Ревунов Максим Сергеевич

инженер,
отдел АСУТП,
ООО «Маяктрансэнерго»
(Россия, г. Пенза, ул. Бумажников, 13а)
E-mail: Revunov_rabota@mail.ru

Revunov Maksim Sergeevich

engineer,
department of APCS,
LLC «Mayaktransenergo»
(13A Bumazgnikov street, Penza, Russia)

УДК 676.2.056-55

Ревунов, М. С.

Совершенствование систем стабилизации параметров потока бумажной массы с использованием кросскорреляционного алгоритма / М. С. Ревунов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 4 (26). – С. 24–31. – DOI 10.21685/2307-5538-2018-4-4.