

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МАССЫ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА

М. С. Ревунов¹, Д. С. Ревунов², А. Д. Семенов³

¹ ОАО «МАЯК», Пенза, Россия

^{1,2} ООО «Промсистем», Пенза, Россия

² НПФ «Круг», Пенза, Россия

³ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

^{1,2} revunov_rabota@mail.ru, ³ SAD-50@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В современных реалиях все более остро встает вопрос импортозамещения и модернизации существующего отечественного оборудования и систем управления во всех отраслях производства и промышленности РФ. Целью данной работы является поиск путей модернизации и усовершенствования автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) бумажного производства на примере действующей бумагоделательной машины Пензенской бумажной фабрики ОАО «МАЯК». *Материалы и методы.* В работе использованы методы современной теории автоматического управления и автоматизации технологических процессов, методы цифровой обработки изображений, компьютерное моделирование. *Результаты.* Создана компьютерная модель АСУТП, регулирующая вес бумажного полотна на бумагоделательной машине. *Выводы.* Рассмотренные пути совершенствования АСУТП бумажного производства доказали свою состоятельность. Применение АСУТП с регулятором соотношения скоростей напуска бумажной массы на сетку и сеточного стола позволило повысить качество регулирования процессом, снизив влияние временного запаздывания на систему.

Ключевые слова: бумагоделательная машина, напорное устройство, вес бумажного полотна, регулятор, имитационная модель

Для цитирования: Ревунов М. С., Ревунов Д. С., Семенов А. Д. Повышение эффективности автоматизированной системы управления технологическим процессом регулирования массы бумажного полотна // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1. С. 17–23. doi:10.21685/2307-5538-2023-1-2

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR REGULATING THE WEIGHT OF THE PAPER WEB

M.S. Revunov¹, D.S. Revunov², A.D. Semenov³

¹ JSC "MAYAK", Penza, Russia

^{1,2} LTD "Promsystem", Penza, Russia

² SPC "Krug", Penza, Russia

³ Penza State University, Penza, Russia

^{1,2} revunov_rabota@mail.ru, ³ SAD-50@mail.ru

Abstract. *Background.* In modern realities, the issue of import substitution and modernization of existing domestic equipment and control systems in all branches of production and industry of the Russian Federation is becoming more acute. The purpose of this work is to find ways to modernize and improve the automated control system of paper production on the example of the current paper-making machine of the Penza paper mill of JSC "MAYAK". *Materials and methods.* The paper uses methods of modern theory of automatic control and automation of technological processes, methods of digital image processing, computer modeling. *Results.* A computer model of an automated process control system has been created that regulates the weight of a paper web on a paper machine. *Conclusions.* The considered ways of improving the automated process control system of paper production have proved their viability. The use of an automated process control system with a speed ratio regulator allowed to improve the quality of process control, reducing the effect of time lag on the system.

Keywords: paper-making machine, pressure device, paper web weight, regulator, simulation model

For citation: Revunov M.S., Revunov D.S., Semenov A.D. Improving the efficiency of the automated control system for regulating the weight of the paper web. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(1):17–23. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2023-1-2

Объект управления

В зависимости от требуемых показателей качества бумажного полотна (вес, влажность, зольность и т.д.) операторы бумагоделательной машины (БДМ) по технологическим картам устанавливают задание уровня бумажной массы и давления «воздушной подушки» в напорном устройстве (НУ) [1–3], а также процент открытия граммового вентиля (в качестве начальных условий).

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) БДМ, регулирующая конечный вес бумажного полотна, включает в себя несколько взаимосвязанных контуров (рис. 1): контур поддержки заданного уровня бумажной массы в НУ; контур поддержки общего давления в НУ; контур регулирования скоростей приводов БДМ; контур управления массовой задвижкой [2, 4–7].

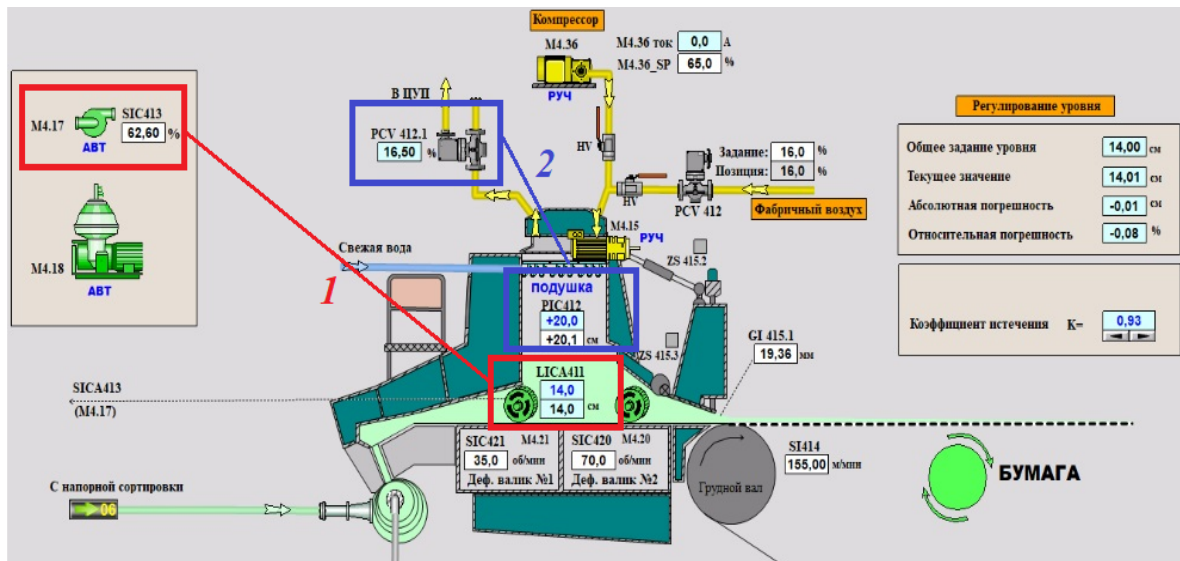


Рис. 1. Экран управления напорным устройством:

1 – контур управления уровнем массы в НУ; 2 – контур управления «воздушной подушкой»

При нормальных условиях эксплуатации и штатной работе БДМ первые три контура АСУТП имеют незначительные показатели временного запаздывания, что положительно сказывается на процессе регулирования веса бумаги. Иначе дело обстоит с контуром управления массовой задвижкой (рис. 2), так как исполнительный механизм расположен до НУ, считающегося «началом» БДМ, а управляющее воздействие формируется «на выходе» машины с помощью сканирующего устройства [1, 4, 6]. Таким образом, временное запаздывание системы может превышать десятки секунд.

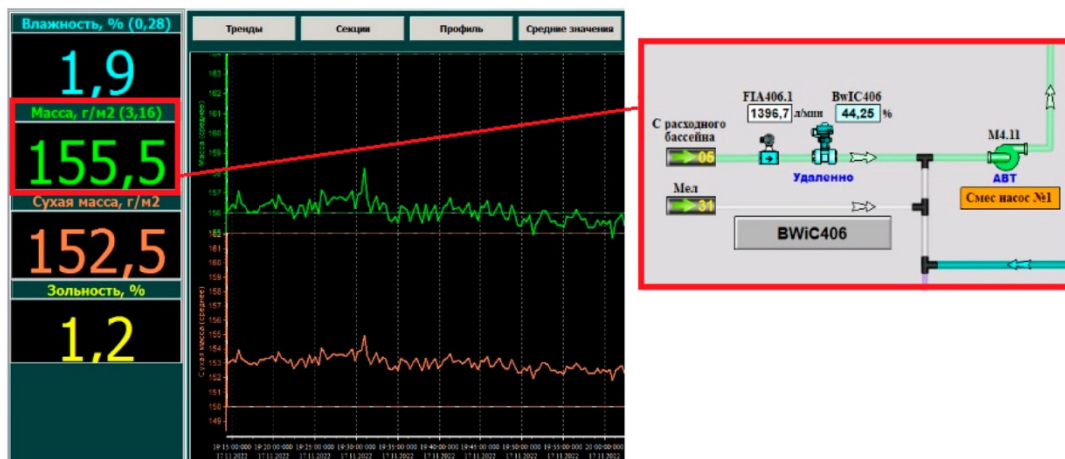


Рис. 2. Экран управления граммовым вентилем

В целях повышения качества регулирования, снижения дисперсии веса бумажного полотна, снижения перерасхода бумажной массы и брака конечной продукции предлагается ввести дополнительный контур регулирования соотношения скоростей напуска бумажной массы и сетки БДМ (рис. 3).

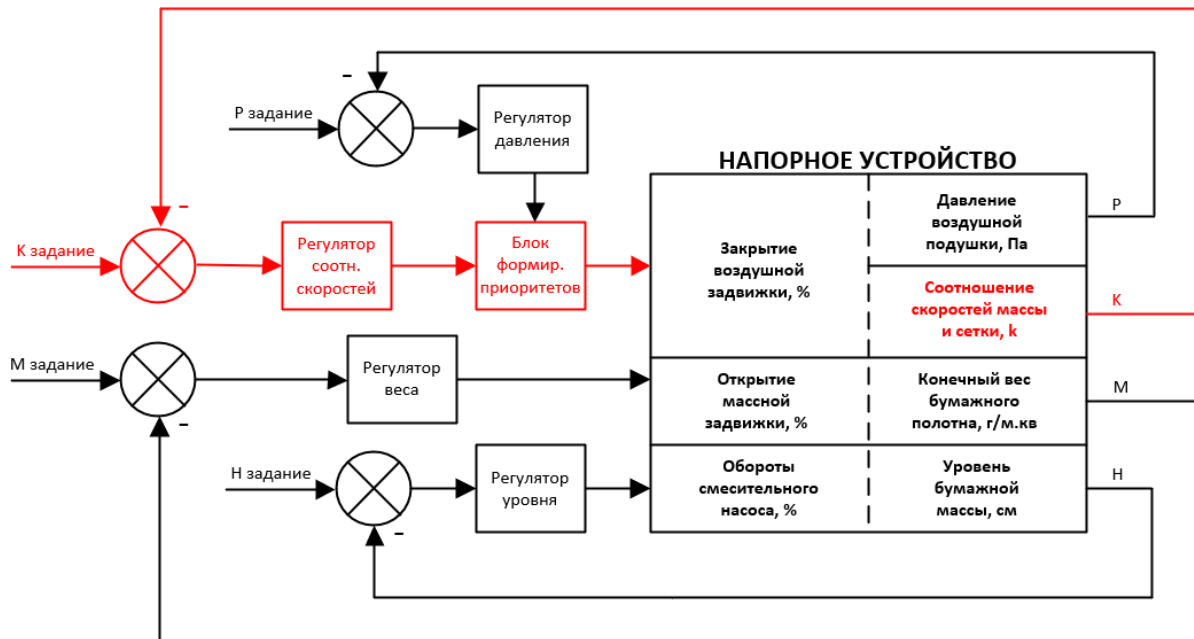


Рис. 3. Структурная схема системы управления процессом

Моделирование АСУТП

Построение компьютерных моделей АСУТП (рис. 4, 5) осуществлялось с помощью графической среды имитационного моделирования *Simulink* на основе экспериментальных данных и инструментов пакета *System Identification Toolbox* [8–10].

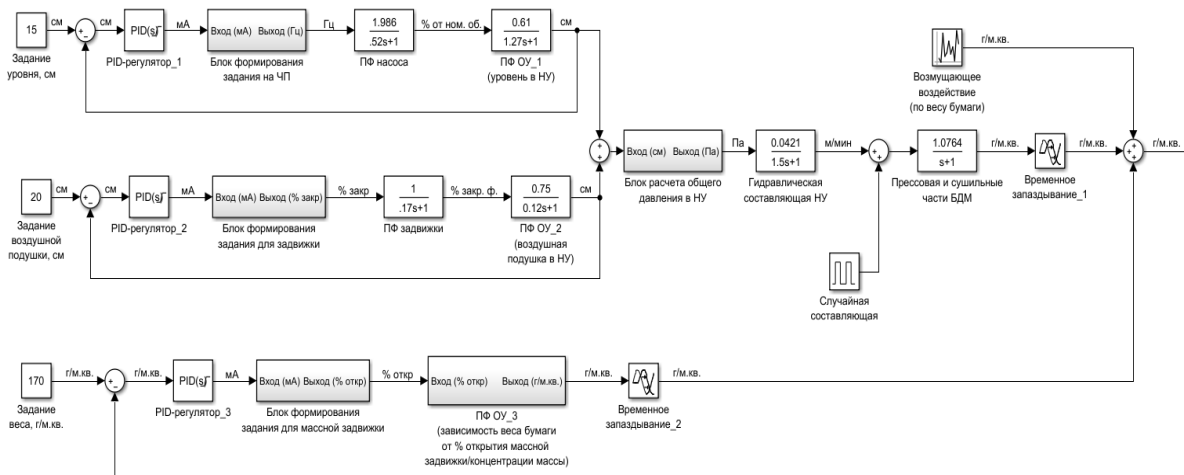


Рис. 4. Компьютерная модель действующей АСУТП, регулирующей вес бумажного полотна

Блок формирования приоритетов, необходимый для логической развязки регуляторов давления и соотношения скоростей, которые работают попеременно, реализован с помощью условных операторов и алгебры логики (рис. 6).

Для оценки динамических показателей качества регулирования были рассмотрены характеристики переходных процессов (реакций систем регулирования на скачкообразные и случайные входные воздействия) [10, 11]. Переходные характеристики представлены на рис. 7.

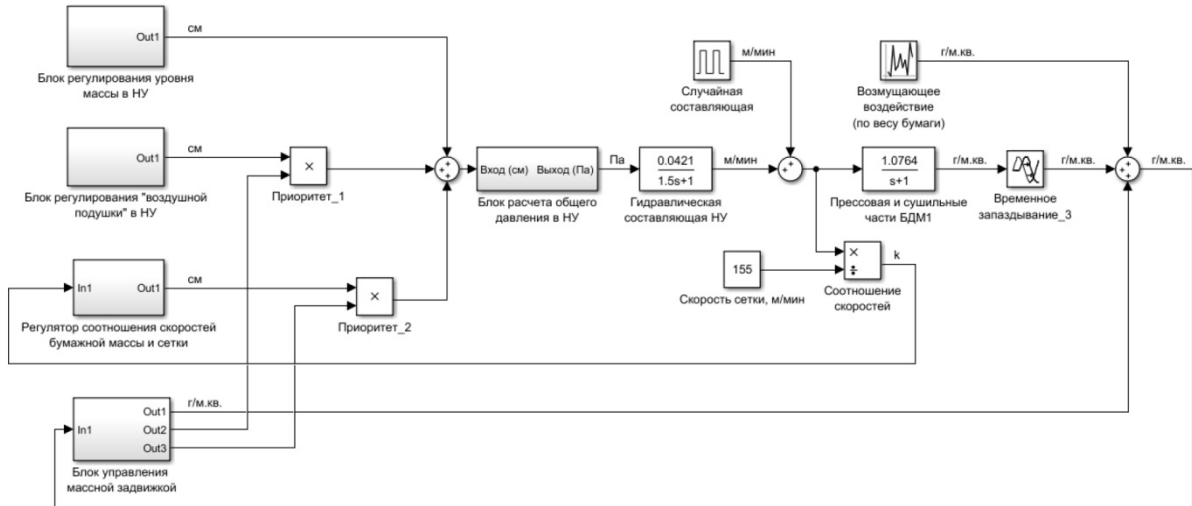


Рис. 5. Компьютерная модель АСУТП с регулятором соотношения скоростей напуска бумажной массы на сетку и сеточного стола БДМ



Рис. 6. Блок управления массовой задвижкой из рис. 5

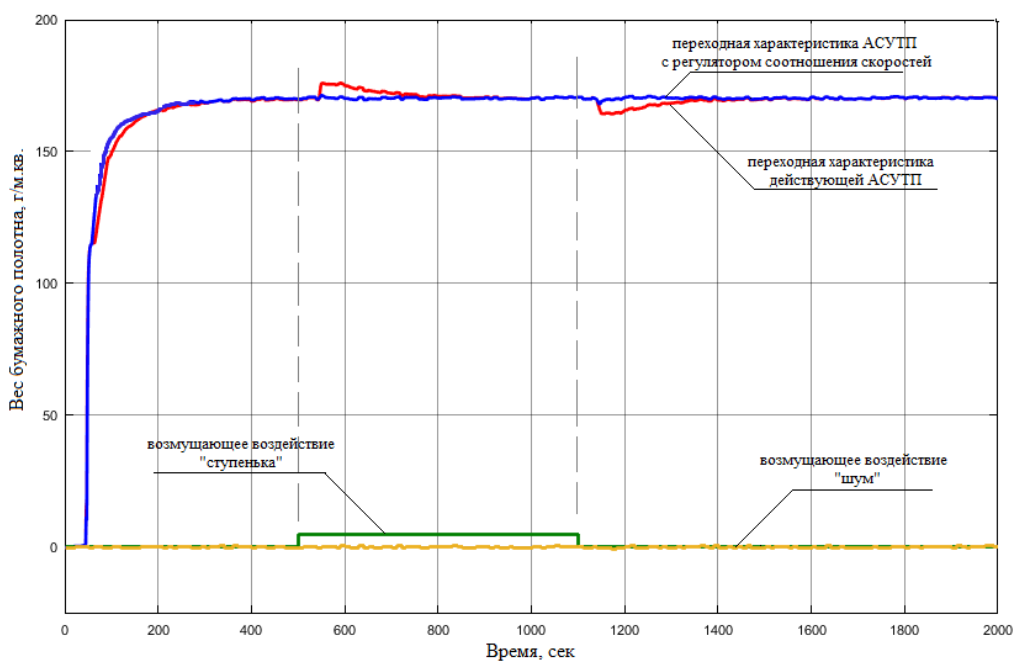


Рис. 7. Переходные характеристики моделей АСУТП

Реализация контура регулирования соотношения скоростей

Для внедрения в АСУТП дополнительного контура управления необходимо решить вопрос с бесконтактными измерениями скорости бумажной массы. Измерительный канал можно реализовать с помощью кросскорреляционного оптического вычислителя [12–15], а информацию о линейной скорости приводных точек БДМ получить от частотных преобразователей, связанных с ними (рис. 8).

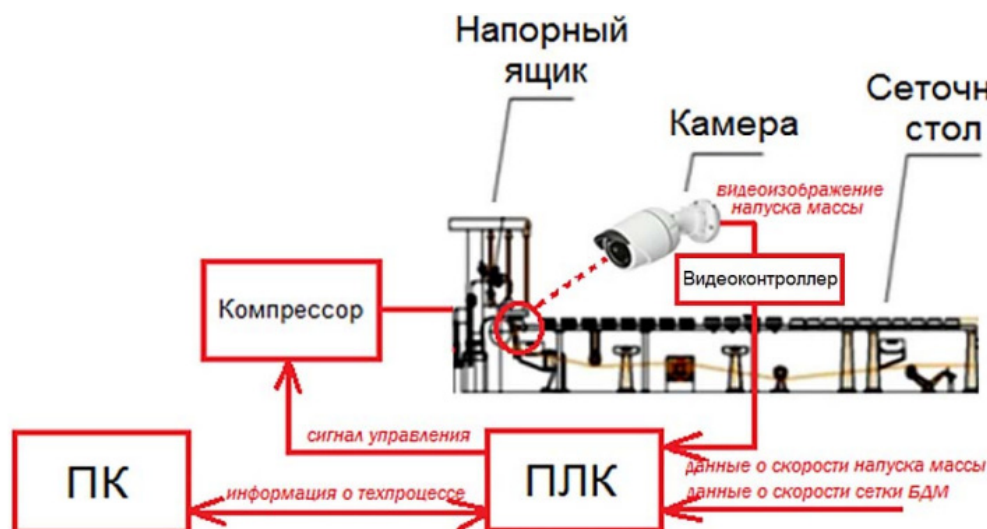


Рис. 8. Функциональная схема кросскорреляционного оптического вычислителя

Таким образом, в результате исследования удалось:

- по экспериментальным данным построить компьютерную модель действующей АСУТП регулирования веса бумажного полотна;
- повысить качество регулирования действующей АСУТП путем введения дополнительного контура управления (регулятора соотношения скоростей);
- провести апробацию и внедрение результатов исследования на реальном производстве ОАО «МАЯК» и ООО «Маяк-Техноцелл» при проектировании функциональных подсистем АСУТП БДМ (о чем свидетельствуют акты об использовании результатов диссертационной работы).

Список литературы

1. Фляте Д. М. Свойства бумаги : учеб. пособие. Краснодар : Лань, 2012.
2. Иванов С. Н. Технология бумаги. М. : Школа бумаги, 2006.
3. Вураско А. В., Агеев А. Я., Агеев М. А. Технология получения, обработки и переработки бумаги и картона : учеб. пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2011. 281 с.
4. Зорин И. Ф., Петров В. П., Рогульская С. А. Управление процессами целлюлозно-бумажного производства. М. : Лесная промышленность, 2008.
5. Revunov M. S., Semenov A. D., Nikulin S. V. Fuzzy extremal regulatory system with multidimensional input // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Bristol : IOP Publishing, 2020. Vol. 709, iss. 2. doi:10.1088/1757-899X/709/2/022085
6. Гудвин Г. К., Гребе С. Ф., Сальгадо М. Э. Проектирование систем управления. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 911 с.
7. Ревунов М. С., Салмов Е. Н. Имитационные модели напорного устройства бумагоделательной машины // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11.
8. Филипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. М. : Лаборатория базовых знаний, 2001. 616 с.
9. Федоров Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка. М. : Инфра-Инженерия, 2008. 958 с.
10. Черных И. В. Simulink среда создания инженерных приложений. М. : Диалог-МИФИ, 2004. 491 с.
11. Янушевский Р. Т. Управление объектов с запаздыванием. М. : Наука, 1978. 416 с.
12. Артамонов Д. В., Семенов А. Д., Костюнин А. В., Куприянов И. В. Анализ спекловой картины для разработки алгоритма автоматической настройки оптических систем // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2017. № 2. С. 42–54.

13. Алексеенко С. В., Бильский А. В., Маркович Д. М. Применение метода цифровой трассерной визуализации для анализа турбулентных потоков с периодической составляющей // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 5. С. 145–153.
14. Ревунов М. С. Совершенствование систем стабилизации параметров потока бумажной массы с использованием кросскорреляционного алгоритма // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2018. № 4. С. 24.
15. Андреев А. Н., Гаврилов Е. В., Ишанин Г. Г. [и др.]. Оптические измерения. М. : Университетская книга ; Логос, 2008. 416 с.

References

1. Flyate D.M. *Svoystva bumagi: ucheb. posobie = Properties of paper : textbook*. Krasnodar: Lan', 2012. (In Russ.)
2. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi = Paper technology*. Moscow: Shkola bumagi, 2006. (In Russ.)
3. Vurasko A.V., Ageev A.Ya., Ageev M.A. *Tekhnologiya polucheniya, obrabotki i pererabotki bumagi i kartona: ucheb. posobie = Technology of obtaining, processing and processing paper and cardboard : textbook*. Ekaterinburg: UGLTU, 2011:281. (In Russ.)
4. Zorin I.F., Petrov V.P., Rogul'skaya C.A. *Upravlenie protsessami tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva = Management of pulp and paper production processes*. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 2008. (In Russ.)
5. Revunov M.S., Semenov A.D., Nikulin S.V. Fuzzy extremal regulatory system with multidimensional input. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Bristol: IOP Publishing, 2020;709(2). doi:10.1088/1757-899X/709/2/022085
6. Gudvin G.K., Grebe S.F., Sal'gado M.E. *Proektirovanie sistem upravleniya = Design of control systems*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2014:911. (In Russ.)
7. Revunov M.S., Salmov E.N. Simulation models of the pressure device of a paper-making machine. *Inzhenernyy vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*. 2020;(11). (In Russ.)
8. Philips Ch., Kharbor R. *Sistemy upravleniya s obratnoy svyaz'yu = Feedback control systems*. Moscow: Laboratoriya bazovykh znaniy, 2001:616. (In Russ.)
9. Fedorov Yu.N. *Spravochnik inzhenera po ASUTP: proektirovanie i razrabotka = Handbook of an engineer on automated control systems: design and development*. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2008:958. (In Russ.)
10. Chernykh I.V. *Simulink sreda sozdaniya inzhenernykh prilozheniy = Simulink environment for creating engineering applications*. Moscow: Dialog-MIFI, 2004:491. (In Russ.)
11. Yanushevskiy R.T. *Upravlenie ob"ektov s zapazdyvaniem = Management of objects with a delay*. Moscow: Nauka, 1978:416. (In Russ.)
12. Artamonov D.V., Semenov A.D., Kostyunin A.V., Kupriyanov I.V. Speckle pattern analysis for the development of an algorithm for automatic tuning of optical systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = News of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences*. 2017;(2):42–54. (In Russ.)
13. Alekseenko S.V., Bil'skiy A.V., Markovich D.M. Application of the digital tracer visualization method for the analysis of turbulent flows with a periodic component. *Pribory i tekhnika eksperimenta = Instruments and experimental techniques*. 2004;(5):145–153. (In Russ.)
14. Revunov M.S. Improvement of systems for stabilizing paper pulp flow parameters using a cross-correlation algorithm. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2018;(4):24. (In Russ.)
15. Andreev A.N., Gavrilov E.V., Ishanin G.G. et al. *Opticheskie izmereniya = Optical measurements*. Moscow: Universitetskaya kniga; Logos, 2008:416. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Максим Сергеевич Ревунов

кандидат технических наук,
 технический директор,
 ООО «Промсистем»
 (Россия, г. Пенза, ул. Московская, 40);
 инженер отдела АСУТП,
 ОАО «МАЯК»
 (Россия, г. Пенза, ул. Бумажников, 1)
 E-mail: revunov_rabota@mail.ru

Maksim S. Revunov

Candidate of technical sciences, technical director,
 LLC "Promsystem"
 (40 Moskovskaya street, Penza, Russia);
 engineer of the APCS department,
 OJSC "MAYAK"
 (1 Bumazhnikov street, Penza, Russia)

Дмитрий Сергеевич Ревунов

генеральный директор,
ООО «Промсистем»
(Россия, г. Пенза, ул. Московская, 40);
заместитель технического директора,
НПФ «Круг»
(Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 1)
E-mail: revunov_rabota@mail.ru

Dmitriy S. Revunov

General director,
LLC "Promsystem"
(40 Moskovskaya street, Penza, Russia);
deputy technical director,
SPC "Krug"
(1 Germana Titova street, Penza, Russia)

Анатолий Дмитриевич Семенов

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры информационно-
измерительной техники и метрологии,
заведующий лабораторией цифровых
информационно-управляющих систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: SAD-50@mail.ru

Anatoly D. Semenov

Doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the sub-department
of information and measuring equipment
and metrology,
head of the laboratory of digital
information and control systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 20.10.2022

Поступила после рецензирования/Revised 20.11.2022

Принята к публикации/Accepted 23.12.2022