



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

13. Tihonov A. N. Uravneniya matematicheskoy fiziki / A. N. Tihonov, A. A. Samarskiy. – Moskva: Nauka, 1966. – 735 s;
14. Butkovskiy A. G. Strukturnaya teoriya raspredelennyih sistem / A. G. Butkovskiy. – Moskva: Nauka, 1977. – 320 s;
15. Koval V. A. Spektralnyiy metod analiza i sinteza raspredelennyih upravlyaemyih sistem / V. A. Koval. – Saratov: SGTU, 1997. – 192 s;
16. Martinenko N. A. Konechnyie integralnyie preobrazovaniya i ih primenenie k issledovaniyu sistem s raspredelennyimi parametrami / N. A. Martinenko, L. M. Pustyl'nikov. – Moskva: Nauka, 1986. – 304 s;
17. Marchuk G. I. Metodyi vyichislitel'noy matematiki / G. I. Marchuk. – Moskva: Nauka, 1989. – 608 s;
18. Assi A. H. Engineering Education and Research Using Matlab / Assi., 2011. – 490 c;
19. Eykhoff P. Osnovy identifikatsii sistem upravleniya / P. Eykhoff. – Moskva: Mir, 1975. – 683 s;
20. Astrid P. Model Reduction for Process Simulations: A Proper Orthogonal Decomposition Approach : PhD thesis, Eindhoven University of Technology / Astrid, P. – Eindhoven, 2004;
21. Egupov N. D. Metodyi robastnogo, neyro – nechetkogo i adaptivnogo upravleniya / N. D. Egupov. – Moskva: MTTU im. N. E. Bauman, 2002. – 744 s;
22. Geladi P. Partial least squares regression: a tutorial / P. Geladi, B. R. Kowalski. // Analitica Chimica Acta. – 1986. – №185. – С. 1–17;
23. Lyikov A. V. Teplomassoobmen / A. V. Lyikov. – Moskva: Energiya, 1972. – 560 s.

УДК 676.056.521.1

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОГРЕВА БУМАЖНОГО ПОЛОТНА В СУШИЛЬНОЙ ЧАСТИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Жученко А.И.¹, Черёпкин Е.С.¹

¹Національний технічний інститут України «Київський політехнічний інститут», Київ

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ONAF
Open Access

DOI: [10.15673/2312-3125](https://doi.org/10.15673/2312-3125).

Аннотация

В работе рассмотрен процесс прогрева бумажного полотна в сушильной части бумагоделательной машины при контактном подводе тепла. Определены основные показатели качества. Сформулирована задача оптимального управления процессом прогрева бумажного полотна в соответствии с выбранным критерием качества при наличии ограничений на параметры состояния и управляющие воздействия..

Abstract

This article examines the process of warming up of paper web in the drying section of a paper machine with contact method of heat delivery. Outstripped the main indicators of quality. Formulated the problem of optimal control of



1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

warm-up of the paper web in accordance with the selected criterion of quality in the presence of restrictions on the parameters of the state and control actions.

Ключевые слова

Сушильная часть бумагоделательной машины, критерий управления, управляющие воздействия, параметры качества, бумага

Введение

Процесс производства бумаги проходит на бумагоделательной машине (БДМ) и состоит из ряда последовательно проходящих стадий: подготовка бумажной смеси, разбавление ее водой, очистка от примесей, напуск смеси на сетку, формование бумажного полотна, обезвоживание на пресах, сушка бумажного полотна, каландрирование [1].

Технология производства бумаги это очень дорогостоящий процесс с большими затратами сырья и энергии. Наиболее энергоемким процессом является удаление воды из бумажного полотна. Оно происходит при помощи серии последовательно проходящих стадий пока не будет достигнуто заданное значение влажности бумажного полотна. Первоначально удаление воды происходит путем дренажа на сеточном столе и вакуума на отсасывающих ящиках. Когда полотно бумаги достигает влажности 75-80 % (в зависимости от вида бумаги), оно переходит в прессовую часть, где влага удаляется при помощи механических прессов. Это наиболее экономичная секция удаления воды и поэтому на ней стараются удалить максимально возможное количество влаги. Однако достигается такое значение влажности, при котором механическое обезвоживание приводит к разрушению внутренней структуры полотна и негативно сказывается на качестве готовой продукции. Поэтому, дальнейшее удаление воды возможно только термическим способом в сушильной части БДМ. Содержание влаги в бумаге поступающей в сушильную часть зависит от эффективности прессов и может составлять от 60 до 75%. После сушки содержание влаги колеблется в пределах от 5 до 10%.

Как видно из выше изложенного, большая часть воды удаляется именно на стадии сушки бумажного полотна. Расходы на сушку составляют 30-40% от общей стоимости производства бумаги. Поэтому, задача оптимального управления процессом прогрева бумажного полотна в сушильной части БДМ является актуальной.

Анализ предыдущих исследований

В последние годы было опубликовано большое количество работ по созданию систем автоматического управления стадией сушки бумажного полотна [2-4]. Среди отечественных исследований стоит выделить работы Гринченко И.А. и Буйлова Г.П. [2, 3]. Авторами были выбраны различные стратегии управления системой и поставлены разные задачи. В работе [2], автор, с целью повышения качества производимой бумаги предлагает следующую стратегию построения системы управления:

- на основе информации о работе оборудования и заданных параметрах выпускаемой продукции анализируется состояние БДМ и формируются оценки режима эксплуатации;
- в режиме нормальной эксплуатации производится стабилизация влажности готовой бумаги путем изменения заданий регуляторам давления пара в сушильных группах;
- в момент обрыва полотна регулятор влажности бумаги отключается и запоминаются текущие температуры поверхности сушильных цилиндров. Эти температуры принимаются в качестве заданий стабилизирующим регуляторам, которые включаются в работу цилиндров путем воздействия на задания регуляторов давления пара в группах. В зависимости от длительности холостого хода настройки регуляторов температуры могут корректироваться;
- после заправки полотна регуляторы температуры цилиндров отключаются, и включается регулятор, стабилизирующий влажность готовой бумаги;
- в режиме смены вида продукции управление влажностью готовой бумаги осуществляется с использованием стабилизирующего и компенсирующего регуляторов. Последний обеспечивает независимость (инвариантность) влажности относительно изменений массы 1 м^2 полотна.

В работе [3] приводится более объемная задача. Основная цель автоматизации сушки бумажного полотна в сушильной части БДМ состоит в регулировании температурного режима сушки и получении бумаги оптимальной и равномерной влажности.



1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

Работа систем управления контактной сушкой должна быть согласована с решением основной задачи, которая заключается в обеспечении наиболее низкого соотношения расходов пара и удаленной воды из полотна бумаги. Все сушильные цилиндры разбиваются на несколько групп, чтобы между паровыми коллекторами, а также между паровым коллектором и коллектором конденсата каждой сушильной группы был соответствующий перепад давления. Основными управляемыми параметрами являются давление пара, перепад давления, уровни в водоотделителях, влажность и поверхностная плотность бумажного полотна.

Среди зарубежных исследователей, стоит выделить работу J. Akesson [4]. В ней рассматривается постановка двух задач. Первая из них сформулирована для математического моделирования процесса сушки. Ее суть заключается в минимизации отклонения параметров состояния, рассчитанных по модели, с экспериментально полученными данными производства. Для данной задачи выведен критерий качества на основании метода наименьших квадратов отклонения параметров рассчитанных по модели и полученных из системы:

$$J = \gamma_{T_m} \sum_{i=1}^{N_{cul}} (T_{m,i}^m - T_{m,i}^s)^2 + \gamma_{T_p} \sum_{i=1}^{N_{cul}} (T_{p,i}^m - T_{p,i}^s)^2 + \gamma_u (u_{out}^m - u_{out}^2)^2, \quad (1)$$

где: N_{cul} – количество цилиндров; $T_{m,i}^m$ – температура сушильного цилиндра; $T_{p,i}^m$ – температура бумаги; γ_{T_p} , γ_u , γ_{T_m} – весовые коэффициенты; m – обозначение данных рассчитанных по модели; s – обозначение реальных данных; u_{out}^m – значение влажности полученное по модели, %; u_{out}^2 – реальное значение влажности, %.

Второй задачей в рассматриваемой работе является стабилизация влажности бумажного полотна. Для обеспечения решения такой задачи предложен метод описания состояния влажности полотна кусочно-непрерывными функциями для каждого сушильного цилиндра. С целью предотвращения неэффективных управлений, которые могут нарушить правильную работу системы, величина погрешности между управляющими воздействиями включена в критерий качества управления. Также введены строгие ограничения на величину управления. Критерием качеств для этой задачи записан в следующем виде:

$$\min \int_0^{T_f} \gamma_u (u_{out}^{sp} - \hat{u}_{out}(t))^2 dt + \sum_{i=0}^{N_u-1} \gamma_p (\Delta p_i)^2 \quad (2)$$

где: u_{out}^{sp} – реальное значение влажности; $\hat{u}_{out}(t)$ – заданное значение влажности; Δp_i – значение давления пара в трубопроводе, кПа; N_u – количество исследуемых интервалов по 5 секунд.

При использовании приведенных выше критериев оптимального система управления обеспечивает высокое качество процесса сушки. Однако предложенные модели не рассматривают процесс сушки с точки зрения многостадийности с индивидуальными характеристиками каждой стадии. С целью создания новой системы автоматического управления, целесообразно на основании теории сушки предложенной в работе [5], с использованием работ [2-4], сформулировать новую постановку задачи оптимального управления, которая будет учитывать в себе все достижения рассмотренных работ и новые задачи поставленные перед системами управления.

Постановка задачи

Прогрев бумажного полотна играет важную роль на этапе сушки и служит для доведения температуры материала до «рабочего» значения, при котором начинается эффективный процесс удаления влаги. Весь этап может занимать от 10 до 90 секунд, во время которых происходит нагрев бумажного полотна от 20 до 100°C (значения могут варьироваться в зависимости от вида продукции).

Несмотря на большое количество работ по созданию систем автоматического управления, многие из авторов не учитывают специфику отдельных стадий процесса сушки и формируют общий критерий оптимального управления для всего процесса.

Значительное изменение температуры за столь короткий промежуток времени может привести к необратимому ухудшению физико-механических свойств готовой продукции. В связи с этим возникает необходимость разработки системы оптимального управления процессом прогрева, которая обеспечит нагрев бумажного полотна до заданного значения при поддержании всех качественных показателей на заданном уровне.

Целью работы является постановка задачи оптимального управления процессом прогрева бумажного полотна, которая будет отображать требования по качеству выходного продукта, учитывать специфику управляющих воздействий и достигать цели оптимального управления.



1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

Задача оптимального управління

В связи с тем, что основной задачей процесса прогрева является доведение до заданного значения температуры бумажного полотна необходимо минимизировать отклонения реальной температуры от температуры задания. От эффективности этого процесса зависит качество дальнейшей сушки бумажного полотна.

Весь процесс сушки разбивается на n интервалов по s секунд (данный параметр зависит технологических особенностей машины и скорости пропускания полотна), каждый из которых состоит из участка контактной и конвективной сушки. Для каждого из них сформулировано свое задание по температуре полотна и вместе они формируют температурный график прогрева.

Температурный график индивидуален для каждого вида бумаги и отображает постепенное нагревание полотна, что необходимо для поддержания заданной внутренней структуры. При скачкообразном изменении температуры происходят безвозвратные процессы разрушения внутренней структуры и ухудшаются качественные показатели готовой продукции.

Для управления процессом нагревания сушильных цилиндров, которые впоследствии нагревают бумажное полотно применяют стратегию изменения давления в трубопроводах пара [6]. Как показали исследования [6] изменение этого параметра в наибольшей степени влияет на температуру цилиндров (бумаги).

Задача оптимального управления процессом прогрева бумажного полотна формулируется таким образом: необходимо подобрать такие управляющие воздействия (давления в трубопроводах пара), которые обеспечивают соблюдение температурного графика прогрева с минимальным отклонением.

Задача формулируется при допущениях, что расход пара, поступающего в сушильный цилиндр, равен расходу конденсата покидающего его. Вторым допущением является то, что пар, который поступает сушильный цилиндр, заполняет равномерно все его внутреннее пространство.

Для такой задачи критерий управления принимает следующий вид:

$$I = \sum_{i=0}^n (T_i^{real} - T_i^{zad})^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

где, T_i^{real} – реальная температура бумаги в конце i -го интервала, °С; T_i^{zad} – задание по температуре бумаги в конце i -го интервала, °С.

При ограничениях:

$$(T_i^{real} - T_i^{zad})^2 = e \quad (4)$$

где, e – допустимое температурное отклонение (зависит от типа бумаги), °С.

$$p_{min}^c \leq p_i^c \leq p_{max}^c$$

где, p_i^c – давление в трубопроводе пара к сушильному цилиндру на i -м интервале, кПа; p_{min}^c , p_{max}^c – допустимые значения давления в трубопроводе пара к сушильному цилиндру, кПа.

Ограничения на параметры качества бумажного полотна

В процессе сушки бумажное полотно нагревается до достаточно высоких температур (100 и больше °С), что приводит, как упоминалось выше, к изменению его внутренней структуры и влечет за собой смену качественных показателей. Их предельные значения нормируются стандартами для каждого вида бумаги. Для офсетной бумаги, например, значения качественных параметров должно соответствовать требованиям ГОСТа [7] (данные приведены для высшего сорта):

1. масса бумаги площадью 1 м², г (65±2);
2. плотность, г/см² (0,75-0,85);
3. разрывная длина, м (3700);
4. прочность на излом, число двойных перегибов (не менее 7);
5. степень проклейки, мм (1,2-1,8);
6. белизна каждой стороны, %(85-88);
7. гладкость, с (30-80 после сушильной части);
8. массовая доля золы, % (10-14);
9. линейная деформация, % (+2,2);
10. сорность (число соринок на 1 м²) (80);
11. влажность, %(5,5±1);
12. стойкость поверхности к выщипыванию, м/с (2,2).



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Не все из показанных выше параметров качества зависят от режима сушки [8], поэтому сформулируем ограничения только для тех из них, что зависят.

Разрывная длина:

$$Rd(i) \geq Rd_{gost_s} \quad (5)$$

Rd_{gost_s} – значение параметра «разрывная длина» приведенное в стандарте (для разных видов бумаги это значение разное).

s – обозначения сорта готовой продукции (Высший, Первый, А, Б).

В формуле (4) и далее под i необходимо понимать интервал из диапазона $1 \dots n$. Тогда, $Rd(i)$ – значение параметра разрывной длины бумажного полотна к концу i -го интервала.

Прочность на излом (число двойных перегибов):

$$Dp(i) \geq Dp_{gost_s} \quad (6)$$

Dp_{gost_s} – количество двойных перегибов приведенное в стандарте (для разных видов бумаги это значение разное).

Степень проклейки:

$$Sp(i) \geq Sp_{gost} \quad (7)$$

Sp_{gost} – значение параметра «степень проклейки», приведенное в стандарте (для разных видов бумаги это значение разное). Данный параметр единый для всех сортов бумаги (которая рассматривается в виде примера) и потому коэффициент s , отсутствует.

Масса бумаги:

$$M_{gost_s}^{min} \leq M(i) \leq M_{gost_s}^{min} \quad (8)$$

$M_{gost_s}^{min}$, $M_{gost_s}^{min}$ – минимальное и максимальное допустимое значение массы 1 м^2 приведенное в стандарте (для разных видов бумаги это значение разное).

На значение влажности в процессе прогрева не накладываются ограничения в связи с незначительным количеством воды удаляемой из материала, что обусловлено низкой температурой бумаги [11].

Функциональную зависимость между параметрами качества и управляющим воздействием (давления в трубопроводах пара) выведем через параметр температуры сушильных цилиндров. Такой метод используется поскольку экспериментальные данные [5, 6, 8] устанавливают зависимость между качественными параметрами и температурой цилиндра. Зависимость между температурой и давлением пара может быть получена из уравнения теплового баланса [5] и имеет вид:

$$T_i^c = \frac{\alpha_{par}}{\lambda_{kond}} T_i^{par} k p_i^c \quad (9)$$

где, T_i^c – температура цилиндра на i -го интервале, °С; α_{par} – коэффициент теплоотдачи от пара к конденсату, Вт/м²°С; λ_{kond} – коэффициенты теплопроводности конденсата, Вт/м°С; k – коэффициент влияния давления пара на температуру пара; p_i^c – давление в трубопроводе пара к сушильному цилиндру на i -м интервале, кПа.

В исследованиях, проведенных авторами [6, 8], предлагается накладывать ограничения на температуру сушильных цилиндров. Данное ограничения будет иметь следующий вид:

$$Tc_{min} \leq T_i^c \leq Tc_{max} \quad (10)$$

Tc_{min} – минимальное значение температуры, при котором параметры качества бумаги соответствуют установленным значениям в стандарте, °С,

Tc_{max} – максимальное значение температуры, при котором параметры качества бумаги соответствуют установленным значениям в стандарте, °С.

Tc_{min} и Tc_{max} выбираются в зависимости от вида бумаги, которая производится.

T_i^c температура i -го сушильного цилиндра ($i=1, 2, \dots, n$, где n количество цилиндров в процессе прогрева), °С.

Для расчета численных значений показателей качества бумаги необходимо воспользоваться их функциональными зависимостями от температуры сушильных цилиндров. Такие зависимости можно построить на основании экспериментальных данных из работ [6, 8].



1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

Для параметра разрывная длина:

$$Rd = r1T + r0$$

где Rd – значение параметра разрывная длина, м; T – температура сушильного цилиндра, °C; $r1$, $r0$ – весовые коэффициенты, значения которых зависят от технологических параметров процесса и особенностей бумажного полотна.

Для прочности на излом формируется более сложная зависимость.

Поскольку значения данного параметра являются дискретной величиной, для описания зависимости необходимо применить кусочно-заданную функцию:

$$Dp = \begin{cases} Dp_1, & T_1 \leq T \leq T_2 \\ Dp_2, & T_2 \leq T \leq T_3 \\ \dots \\ Dp_n, & T_{n-1} \leq T \leq T_n \end{cases} \quad (11)$$

где $Dp_1 \dots Dp_n$ – число двойных перегибов для заданного диапазона температур, шт.; $T \dots T_{n-1}$ значения температуры сушильных цилиндров, °C. Все описанные выше величины зависят от вида вырабатываемой бумаги.

Для параметра степень проклейки:

$$Sp = s2T^2 + s1T + s0$$

Sp – степень проклейки, мм; $s2, s1, s0$ – весовые коэффициенты, значения которых зависят от технологических параметров процесса и особенностей бумажного полотна.

Значение влажности рассчитывается при помощи математической модели (2-5).

Величина массы бумажного полотна напрямую зависит от влажности и может быть рассчитана таким образом [6]:

$$M_b = M_s + M_v \quad (12)$$

где, M_b – масса 1 м² бумаги, г; M_s – масса абсолютно сухой бумаги, г; M_v – масса влаги, которая находится в бумаге, г.

Массу воды в бумаге можно выразить из формулы определения абсолютной влажности материала:

$$C = M_v / M_s \quad (13)$$

где, C – абсолютная влажность бумаги, %.

Значение абсолютной влажности известно для начального момента прихода бумаги в сушильную часть (получено от датчика влажности установленного после прессовой части БДМ).

Выразив из (12) массу воды и подставив в (13) можно получить значение массы бумаги.

Значение величины параметра плотности рассчитывается на основании значения массы бумаги, при делении ее на единицу площади. В стандартах, за единицу площади принято принимать – г/м².

Выводы и пути дальнейших исследований: в работе сформулирована задача оптимального управления первым этапом сушки бумажного полотна – процессом прогрева. Предложен критерий качества управления, которые отображает точность достижения поставленной задачи, соблюдения температурного графика и наименьшим отклонением. На основе анализа литературы и использования математического аппарата, установлены ограничения на управление, давление в трубопроводе пара и показатели качества процесса: температура бумаги, масса, прочность на излом, разрывная длина и другие.

В дальнейших работах планируется, на основе решения поставленной задачи, построить модель оптимального управления процесса прогрева бумажного полотна.

Литературы

1. Фляте Д.М. Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 440 с;
2. Гринченко И.А. Совершенствование систем управления процессом сушки бумаги / И.А. Гринченко, В.В. Пожитков, Ю.С. Жукова // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2009. – № 01– С. 80-81;
3. Буйлов Г.П. Автоматизация оборудования целлюлозно-бумажного производства / ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2009. – 167 с;
4. J. Akesson and J. Ekvall. "Parameter optimization of a paper machine model." In Proceedings of Reglermöte 2006, Stockholm, Sweden, May 2006;
5. Лыков А. В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с;
6. Иванов С.Н. Технология бумаги : [учеб. пособ.] / С.Н. Иванов. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – 719 с;

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

7. ГОСТ 9094-89 Бумага для печати офсетная. Технические условия;
8. Фляте, Д.М. Свойства бумаги [Текст]. Издание 3-е / Д.М. Фляте. / – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с.

References

1. Flyate D.M. tehnologiya bumagi. m.: lesn. prom-st, 1988. – 440 s;
2. Grinchenko I.A. sovershenstvovanie sistem upravleniya processom sushki bumagi / I.A. grinchenko, V.V. pozhitkov, Y.S. Zhukova // cellyuloza. bumaga. karton. 2009. – № 01– s. 80-81;
3. Bujlov g.p. avtomatizaciya oborudovaniya cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva / gouvpo spbgturp. spb., 2009. – 167 s;
4. J. Akesson and J. Ekvall. “parameter optimization of a paper machine model.” in proceedings of reglermoyote 2006, stockholm, sweden, may 2006;
5. lykov A. V. teoriya sushki. – М.: energiya, 1968. – 472 s;
6. Ivanov S.N. tehnologiya bumagi : [ucheb. posob.] / s.n. ivanov. – m.: goslesbumizdat, 1960. – 719 s;
7. ГОСТ 9094-89 бумага для печати офсетная. технические условия;
8. Flyate, D.M. svoystva bumagi [tekst]. izdanie 3-e / d.m. flyate. / – m.: lesn. prom-st, 1986. – 680 s.

УДК 62-933.6:004

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО- ИНТЕГРАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

Павлов А.И.¹¹ Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>DOI: [10.15673/2312-3125](https://doi.org/10.15673/2312-3125).**Аннотация**

Рассмотрен способ реализации динамической коррекции коэффициента передачи пропорционально-интегрального автоматического регулятора. Способ основан на измерении величины теплового потока нелинейного диссипативного объекта. При работе теплообменных аппаратов постепенно снижаются их коэффициенты теплопередачи. Это приводит к снижению коэффициентов передачи аппаратов как объектов регулирования. Для обеспечения высокого качества регулирования температуры в таких объектах необходимо увеличивать коэффициент передачи автоматического регулятора. Этого можно достичь, если использовать информацию о величине теплового потока объекта. Тепловой поток интерпретируется как «внутреннее» управляющее воздействие объекта регулирования. Коэффициент передачи регулятора корректируется по изменению теплового потока объекта. Результаты исследований переходных процессов в системе регулирования на ее модели представлены.