

УДК 62-503.56

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАПОРНЫМ ЯЩИКОМ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Казанцев В.П., Резатдинов В.А.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: kvppgtu@mail.ru

Проведен анализ технологического процесса подготовки и напуска массы в целлюлозно-бумажном производстве. Собраны и подготовлены данные о технологическом процессе, необходимые для дальнейшего анализа системы управления напорным ящиком. Основываясь на анализе был сделан вывод о том, что качество готовой продукции является зависимой переменной от нескольких свободных переменных, которыми являются параметры технологического процесса целлюлозно-бумажного производства. Проведен регрессионный анализ для оценки влияния параметров технологического процесса на зависимую переменную, которой является качество бумаги, методом наименьших квадратов. Проведен синтез двух основных контуров регулирования по суммарному напору воды и давлению воздуха в напорном ящике в среде *MatLab/Simulink* и приведены результаты полученных исследований. Даны аргументированные рекомендации по применению результатов исследований в целлюлозно-бумажном производстве. В работе использовались труды российских ученых, специальная справочная, нормативная литература, материалы периодической печати.

Ключевые слова: напорный ящик, система управления, целлюлозно-бумажное производство

AUTOMATED CONTROL SYSTEM SIMULATION OF THE HEADBOX PULP AND PAPER PRODUCTION AND QUALITY ASSESSMENT OF FINAL PRODUCT

Kazantsev V.P., Rezatdinov V.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kvppgtu@mail.ru

Was conducted the analysis of the technological process of mass preparation and a pumping system, data collection and preparation of the process. This all was necessary for the further analysis of Headbox. After this analysis was made a reasoned conclusion that the quality of the finished product is the dependent variable from several free variables, which are the parameters of technological process of pulp and paper production. After the data is loaded was conducted a regression analysis is a research statistical method of influence one or more independent variables on the dependent variable, and chosen the method of least squares. The six options of Headbox and the synthesis of the two major paths of the water pressure and the air pressure in the outlet box. Results of the analysis are presented in *MatLab/Simulink*. The main new results by my mind are located in possibilities of researching real enterprise Headbox pulp, having only laboratories one. With regard to the practical application is a detailed analysis of the similarity of laboratory and real samples.

Keywords: headbox, control system, the pulp and paper industry

Конкуренция, сложившаяся в целлюлозно-бумажной промышленности, и ужесточившиеся требования к обеспечению внутренних и внешних показателей качества выпускаемой продукции заставляют целлюлозно-бумажные предприятия решать вопросы повышения качества и увеличения производительности на предприятиях.

Критерий качества учитывает потери материала, которые происходят из-за производства не соответствующей определенным стандартам продукции. В целлюлозно-бумажной промышленности это забракованные рулоны.

Актуальными становятся вопросы повышения эффективности функционирования технологического оборудования, основанные на измерении и обработке конкретных производственных параметров, а также повышения качества продукции для снижения брака, что является одним из критериев эффективности бумагоделательной машины.

Основная цель исследования – разработка системы автоматического управления физической моделью напорного ящика целлюлозно-бумажного производства с критерияльно сопоставимыми технологическими параметрами производства для возможности последующего применения их на реальном объекте для повышения качества продукции.

Методы исследований базируются на использовании статистики и анализе данных, используются элементы математического аппарата, методы регрессионного моделирования.

Технологический цикл (процесс) производства бумажной продукции отличается большой разветвленностью и большим числом (множеством) взаимосвязанных технологических процессов, от каждого из которых в конечном счете зависит качество полученной продукции [1–7].

Отсюда – необходимость оптимизации каждого технологического процесса

в отдельности и производственного цикла в целом. Поскольку проводить экспериментальные работы на действующем оборудовании не всегда представляется возможным, целесообразно оптимизировать отдельные технологические процессы, используя физические модели.

В условиях производства наблюдается тенденция к увеличению производительности бумагоделательных машин, что неразрывно связано с совершенствованием системы управления формованием бумажного полотна.

Проведенный анализ технологического процесса производства картона показал, что основную роль в формировании качественных показателей бумажного полотна играют процессы в мокрой части бумагоделательной машины (БДМ) и особенно система напуска массы.

Основным элементом системы напуска массы с точки зрения построения системы управления является напорный ящик [6–11].

$$Y_i^* = W(1) + W(2) \cdot v_i + W(3) \cdot C_{\text{ВНЯ}_i} + W(4) \cdot C_{\text{ННЯ}_i} + W(5) \cdot Q_{\text{ВНЯ}_i} + W(6) \cdot Q_{\text{ННЯ}_i} + \\ + W(7) \cdot H_{\text{ВНЯ}_i} + W(8) \cdot H_{\text{ННЯ}_i} + W(9) \cdot h_{\text{ВНЯ}_i} + W(10) \cdot h_{\text{ННЯ}_i} + \\ + W(11) \cdot P_{1-3_i} + W(12) \cdot P_{4-8_i} + W(13) \cdot P_{9-20_i} + W(14) \cdot P_{21-30_i}, \quad (1)$$

где Y_i^* – показатель качества готовой продукции; $W(1)–W(14)$ – параметры регрессионной модели; v_i – скорость БДМ; $C_{\text{ВНЯ}_i}$, $C_{\text{ННЯ}_i}$ – концентрация массы в верхнем и нижнем напорных ящиках (ВНЯ и ННЯ); $Q_{\text{ВНЯ}_i}$, $Q_{\text{ННЯ}_i}$ – расход массы в ВНЯ и ННЯ; $H_{\text{ВНЯ}_i}$, $H_{\text{ННЯ}_i}$ – суммарный напор в ВНЯ и ННЯ.

Разработка замкнутой системы регулирования и произведенный расчет коэффициентов системы автоматического управления позволили смоделировать проектируемую систему автоматического регулирования в среде «*Simulink*» математической программы *Matlab* (рис. 1) и получить графики переходных процессов, удовлетворяющие требованиям системы регулирования [8, 9, 13, 14, 15]. Система автоматического регулирования содержит два канала с перекрестными связями – канал регулирования уровня массы (верхний на схеме) и канал регулирования суммарного напора воздуха (нижний на схеме). В качестве регуляторов уровня и напора применены соответственно пропорционально-интегральный (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регуляторы. Для снижения перерегулирования координат до 8% при любых изменениях заданий на входах замкнутых контуров регулирования установлены аperiodические предшествующие фильтры.

Сбор данных о технологическом процессе и о качестве готовой продукции позволил сделать вывод о том, что качество готовой продукции является зависимой переменной от нескольких свободных переменных, которыми являются параметры технологического процесса целлюлозно-бумажного производства.

После подготовки данные о технологическом процессе и качестве готовой продукции были загружены в пакет математической программы *Matlab* для проведения регрессионного анализа и построения модели [12–15]. Тем самым проведенный сбор, подготовка и анализ данных позволили не только выявить оптимальный режим работы автоматического оборудования для обеспечения наилучшего соотношения качества продукции и производительности бумагоделательной машины, но также вывести регрессионную модель зависимости качества готовой продукции от технологических параметров:

По номинальным данным применяемого в учебно-исследовательской лаборатории оборудования рассчитаны параметры для использования регрессионной модели на учебно-экспериментальной установке. Проведенное сравнение реального технологического процесса с технологическим процессом учебно-экспериментальной установки позволило найти недостающие свободные коэффициенты и смоделировать проектируемую систему оценки качества готовой продукции от параметров технологического процесса в среде «*Simulink*» математической программы *Matlab* и получить графики переходных процессов.

В результате сравнительного анализа параметров и характеристик физической модели и натурного образца получены основные соотношения их подобия:

$$H_{\text{ННЯ}} = 10 \cdot H'_{\text{ННЯ}}; \\ C_{\text{ННЯ}} = 8 \cdot C'_{\text{ННЯ}}; \\ h_{\text{ННЯ}} = 1/3 \cdot h'_{\text{ННЯ}}, \quad (2)$$

где $H_{\text{ННЯ}}$, $H'_{\text{ННЯ}}$ – суммарный напор в нижнем напорном ящике и его физической модели; $C_{\text{ННЯ}}$, $C'_{\text{ННЯ}}$ – концентрация массы в нижнем напорном ящике и его физической модели; $h_{\text{ННЯ}}$, $h'_{\text{ННЯ}}$ – уровень массы в нижнем напорном ящике и его физической модели.

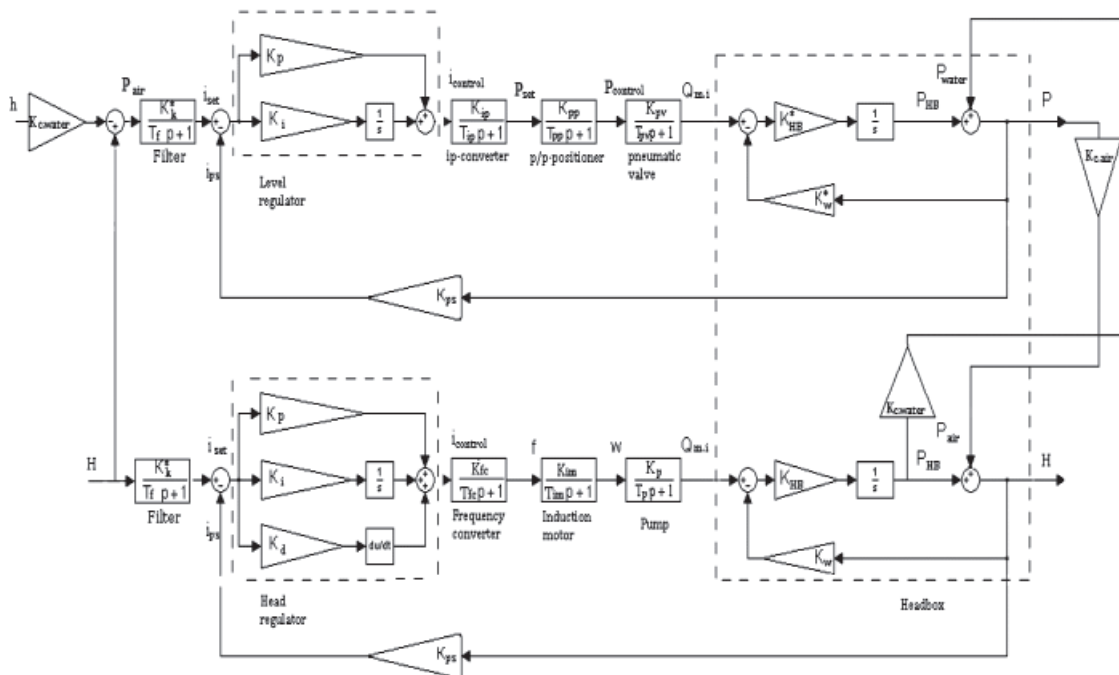


Рис. 1. Структурная схема САП напора и уровня напорного ящика в среде Simulink

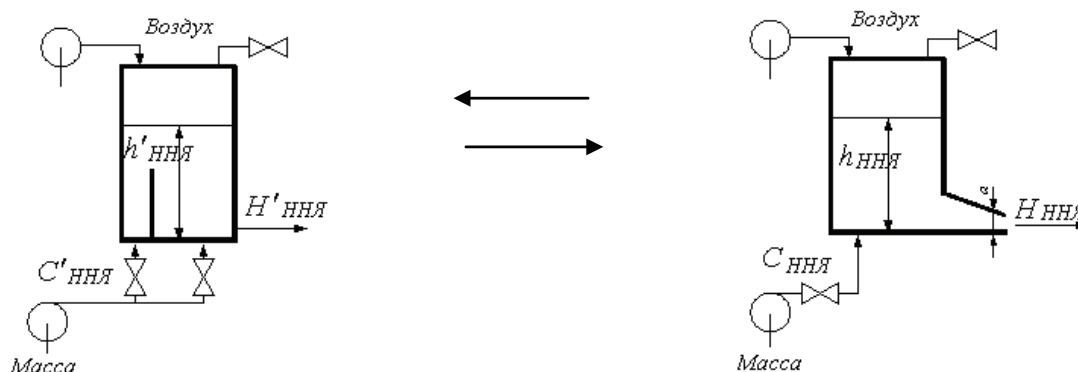


Рис. 2. К определению критериев подобию реального напорного ящика и физической модели

Выводы

1. На основе анализа технологического процесса подготовки и напуска массы определено, что основным элементом системы напуска массы с точки зрения построения системы управления является напорный ящик.

2. Синтезирована система управления напорным ящиком.

3. Построена регрессионная модель оценки качества готовой продукции.

4. Сформирован критерий подобию технологических параметров физической модели с параметрами реального производства для рассматриваемой системы.

5. Реализована возможность применения результатов, полученных на физической модели, к реальному технологическому процессу.

6. Предлагаемое решение по автоматизации экспериментальной установки дает возможность не только практического знакомства и опытной работы с микропроцессорным оборудованием, первичными измерительными преобразователями и исполнительными устройствами, но также оценки качества продукции, соответствующей текущим технологическим параметрам.

7. Реализована модель системы оценки качества в пакете *Matlab*.

Список литературы

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
2. Кугушев И.Д. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумажно- и картоноделательные машины. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. – 588 с.
3. Цешковский Э.В., Пиргач Н.С., Ерашкин Г.Д. Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 368 с.
4. Примаков С.Ф. Производство бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 354 с.
5. Фляте Д.М. Технология бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 440 с.
6. Петров В.П., Зорин И.Ф., Роговская С.А. Управление процессами целлюлозно-бумажного производства. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 272 с.
7. Пиргач Н.С. Математическое описание динамики напускных камер быстроходных бумагоделательных машин / Сб. научн. тр. УкрНИИБ. – М.: Лесная промышленность, 1972. – Вып. 15. – С. 100–113.
8. Френке Р. Математическое моделирование в химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 272 с.
9. Ворошилов М.С., Балмасов Е.Я. Автоматизация технологических процессов целлюлозно-бумажного производства. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – 471 с.
10. Пиргач Н.С., Пиргач В.С. Автоматическое регулирование и регуляторы в целлюлозно-бумажной, лесохимической и деревообрабатывающей промышленности / учебн. для техн. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 264 с.
11. Цешковский Э.В., Пиргач Н.С., Ерашкин Г.Д. Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 368 с.
12. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. Applied Regression Analysis. – 3-е изд. – М.: Дialektika, 2007. – 912 с.
13. Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий / Э.В. Цешковский, Н.С. Пиргач, Г.Д. Ерашкин и др. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 368 с.
14. Шамсон А.С., Пиргач Н.С. Автоматизация напорных ящиков быстроходных бумагоделательных машин. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 104 с.
15. Кондрашкова Г.А., Леонтьев В.Н., Шапоров О.М. Автоматизация технологических процессов производства бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 328 с.

References

1. Ivanov S.N. Tekhnologiya bumagi. Moscow, Shkola bumagi, 2006, 696 p.
2. Kugushev I.D. Teoriya i konstruktsiya mashin i oborudovaniya otrasli. Bumago- i kartonodelatelnyye mash-

iny.St. Petersburg, Izdatelstvo Politehnicheskogo universiteta, 2006, 588 p.

3. Teshkovskiy E.V., Piryach N.S., Yerakshin G.D Spravochnik po avtomatizatsii tsellyulozno-bumazhnykh predpriyatiy. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1989, 368 p.
4. Primakov S.F. Proizvodstvo bumagi. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1987, 354 p.
5. Flyate D.M. Tekhnologiya bumagi. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1988, 440 p.
6. Petrov V.P., Zorin I.F., Rogulskaya S.A. Upravlenie protsessami tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1981, 272 p.
7. Piryach N.S. Matematicheskoye opisaniye dinamiki napsuknykh kamer bystrokhodnykh bumagodelatelnykh mashin / Sb. nachn. tr. UkrNIIB. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1972, no. 15, pp. 100–113.
8. Frenke R. Matematicheskoye modelirovaniye v khimicheskoy tekhnologii. Moscow, Khimiya [Chemistry], 1971, 272 p.
9. Voroshilov M.S., Balmasov Ye.Ya. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. Moscow, Goslesbumizdat, 1960, 471 p.
10. Piryach N.S., Piryach V.S. Avtomaticheskoye regulirovaniye i regulatory v tsellyulozno-bumazhnoy, lesokhimicheskoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti / uchebn. dlya tekhn. Moscow, Lesnayapromyshlennost, 1983, 264 p.
11. Teshkovskiy E.V., Piryach N.S., Yerashkin G.D Spravochnik po avtomatizatsii tsellyulozno-bumazhnykh predpriyatiy. Moscow, Lesnayapromyshlennost, 1989, 368 p.
12. Dreyper N., Smit G. Prikladnoy regressiionnyy analiz. Mnozhestvennaya regressiya = Applied Regression Analysis. 3-e izd. Moscow, «Dialektika», 2007, 912 p.
13. Spravochnik po avtomatizatsii tsellyulozno-bumazhnykh predpriyatiy / E.V. Teshkovskiy, N.S. Piryach, G.D. Erashkin i dr. Moscow, Lesnayapromyshlennost, 1989, 368 p.
14. Shamson A.S., Piryach N.S. Avtomatizatsiya napornykh yashchikov bystrokhodnykh bumagodelatelnykh mashin. Moscow, Lesnayapromyshlennost, 1965, 104 p.
15. Kondrashkova G.A., Leontyev V.N., Shaporov O.M. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov proizvodstva bumagi. Moscow, Lesnayapromyshlennost, 1989, 328 p.

Рецензенты:

Бочкарев С.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры микропроцессорных средств автоматизации, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь;

Цаплин А.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой общей физики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 06.11.2014.