

УДК 655.3.021.3

Д. А. Анкуда

Белорусский государственный технологический университет

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЯЗКОСТЬЮ ФЛЕКСОГРАФСКИХ КРАСОК
НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

В статье поднимается актуальная проблема управления вязкостью спирторастворимых красок для машин флексографской печати. В процессе печати происходит испарение спирта, которое вызывает повышение вязкости краски и, как следствие, увеличение ее расхода. Для повышения качества печати и сокращения издержек целесообразно использовать автоматизированную систему поддержания вязкости.

При поддержании постоянной температуры краски ее вязкость будет определяться количеством растворителя (спирта). Поэтому задача управления вязкостью краски сводится к управлению концентрацией спирта в ней. Объектом управления является процесс смешения жидкостей (краски и спирта) в емкости с заданным постоянным объемом. Данный объект представляет собой динамическую систему со своими входными и выходными величинами. Входными величинами являются объемные расходы краски и спирта из устройств подкачки, а возмущающим воздействием является краска, которая подается из машины по системе циркуляции. Выходными величинами динамической системы являются объемный расход краски на выходе и концентрация спирта в ней.

В статье описывается построение математической модели объекта управления. Далее при помощи этой модели проводится настройка регулятора нечеткой логики для системы автоматического управления вязкостью краски. Результаты имитационного моделирования позволяют судить об успешном практическом применении подобных систем управления.

Ключевые слова: краска, вязкость, расход, концентрация, управление, регулятор.

D. A. Ankuda

Belarusian State Technological University

**VISCOSITY CONTROL OF FLEXO INK
BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER**

The article raises the urgent problem of control of viscosity alcohol-soluble inks for flexo printing machines. During printing, alcohol evaporation, which causes an increase in viscosity of ink and, as a consequence, increases its consumption. To increase print quality and reduce costs it is advisable to use an automated system of maintaining viscosity.

By maintaining a constant ink temperature its viscosity is determined by the amount of the solvent (alcohol). Therefore, ink viscosity control problem is solved by controlling of the alcohol concentration. The object of control is the process of mixing liquids (ink and alcohol) at a predetermined constant capacity. This object is a dynamic system with input and output values. The input variables are the flows of ink and alcohol from swap devices. Disturbance is a paint, which is supplied from the machine on the circulation system. Output variables of dynamic system are the volume flow of ink from the outlet and the concentration of alcohol therein.

This article describes the constructing mathematical model of the control object. Then with the help of this model the setup of fuzzy logic controller for automatic control system of ink viscosity is carried out. Simulations allow us to estimate the possibility of practical application of such management systems.

Key words: ink, viscosity, flow, concentration, control, controller.

Введение. Сегодня область применения флексографии очень широка, однако наиболее востребованным этот способ печати оказался в производстве упаковки и этикетки. Это объясняется тем, что флексографская печать является единственным способом, с помощью которого можно экономично запечатывать почти все используемые в упаковочной печати материалы, одновременно обеспечивая высокое качество полиграфического исполнения. В связи с этим

высокую актуальность приобретает задача управления красками.

Качество оттиска во многом зависит от стабильности вязкости красок. Прежде всего потому, что даже незначительное отклонение от нормы в процессе печати тиража может вызвать заметное изменение цвета на оттиске. Кроме того, при изменении вязкости в большую сторону расход краски значительно увеличивается, что невыгодно по экономическим

соображениям и часто приводит к увеличению времени высыхания и закрепления красочного слоя. Чем ниже вязкость, тем больше разбрызгивание краски в зоне контакта дукторного вала и, что еще более неприятно, быстрее загрязняется печатная форма, так как краска легче заполняет пробельные элементы. По данным Brookfield Engineering Laboratories, изменение вязкости всего на 1 с может увеличить расход краски на 25%. Такое изменение обусловлено тесной связью расхода краски, вязкости и уровня pH [1]. Причем каждый раз для коррекции используются соответствующие добавки. Это является одной из причин непредсказуемого изменения цвета и уменьшения оптической плотности.

Изменение вязкости обусловлено механизмом переноса, циркуляции краски и испарением спирта. Циркуляция краски в красочном аппарате и изменение ее температуры вызывают в конечном итоге повышение вязкости, что в свою очередь делает непредсказуемым растискивание. Увеличение вязкости снижает глянец на оттиске и может послужить причиной засыхания краски прямо на печатной форме.

Таким образом, для поддержания вязкости в определенном диапазоне целесообразно использовать автоматизированную систему поддержания вязкости. Она позволит не только достичь желаемого качества, но и сократить затраты. Целью данного исследования и является разработка системы автоматического поддержания вязкости спирторастворяемых красок для флексографской печатной машины.

Основная часть. В процессе печати происходит постоянное испарение спирта, что влечет за собой динамическое изменение вязкости краски. Чтобы поддерживать вязкость на определенном заданном уровне, необходимо периодически вводить в систему циркуляции краски добавки спирта. Предлагается использовать автономное добавление спирта из емкости в бак с краской.

В разрабатываемой автоматизированной системе добавление растворителя в емкость с краской будет осуществляться за счет нормально закрытого электромагнитного клапана прямого действия. Он предназначен для открытия и прерывания подачи спирта в бак с краской в необходимый момент времени в соответствии с управляющими сигналами регулятора.

При поддержании постоянства температуры краски ее вязкость будет однозначно определяться концентрацией спирта. Составим математическое описание процесса смешения постоянного объема V , обеспечивающего идеальное перемешивание краски и спирта. Схема смешения представлена на рис. 1.

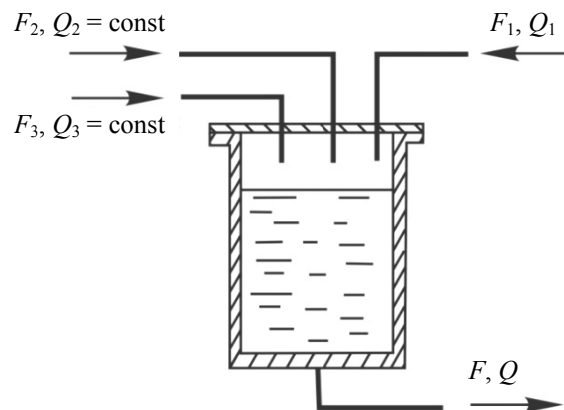


Рис. 1. Схема процесса смешения жидкостей

В бак подается краска, поступающая из красочного аппарата машины по системе циркуляции с расходом и концентрацией F_1, Q_1 , а также спирт и краска из емкостей для подкачки, расходы и концентрация которых соответственно равны F_2, Q_2 и F_3, Q_3 . Выходной величиной является состав жидкости Q на выходе из бака и ее расход F , а входными переменными – величины потоков на входе F_1, F_2 и F_3 , а также концентрация Q_1 . Концентрации подкачиваемых краски и спирта принимаем постоянными, причем

$$Q_2 > Q > Q_1 > Q_3. \quad (1)$$

Схема динамических каналов приведена на рис. 2.

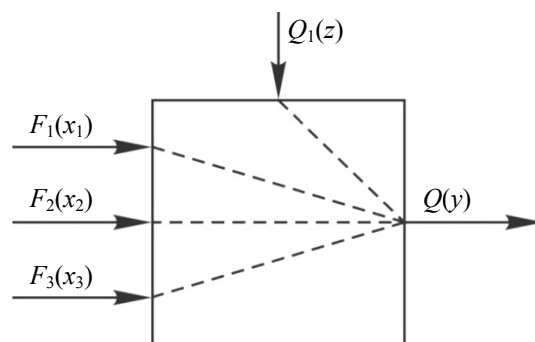


Рис. 2. Схема динамических каналов процесса смешения

Для получения уравнения динамики составим полный материальный баланс, а также материальный баланс с учетом концентрации вещества в каждом потоке за промежуток времени dt [2]:

$$F_1 + F_2 + F_3 = F; \quad (2)$$

$$F_1 Q_1 dt + F_2 Q_2 dt + F_3 Q_3 dt = F Q dt + V dQ. \quad (3)$$

Преобразуем уравнение (3) с учетом формулы (2) и получим:

$$V \frac{dQ}{dt} + Q(F_1 + F_2 + F_3) = F_1 Q_1 + F_2 Q_2 + F_3 Q_3. \quad (4)$$

Данное уравнение нелинейно. Для линеаризации уравнения заменим каждую переменную суммой базисного значения и приращения:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{10} + \Delta F_1; \\ F_2 &= F_{20} + \Delta F_2; \\ F_3 &= F_{30} + \Delta F_3; \\ Q_1 &= Q_{10} + \Delta Q_1; \\ Q &= Q_0 + \Delta Q. \end{aligned} \quad (5)$$

В результате такой замены получим:

$$\begin{aligned} V \frac{d\Delta Q}{dt} + Q_0 F_{10} + Q_0 \Delta F_1 + Q_0 F_{20} + Q_0 \Delta F_2 + \\ + Q_0 F_{30} + Q_0 \Delta F_3 + \Delta Q F_{10} + \Delta Q F_{20} + \\ + \Delta Q F_{30} = F_{10} Q_{10} + F_{10} \Delta Q_1 + \Delta F_1 Q_{10} + \\ + F_{20} Q_2 + \Delta F_2 Q_2 + F_{30} Q_3 + \Delta F_3 Q_3. \end{aligned} \quad (6)$$

В равновесном состоянии равнение смесителя (6) примет вид

$$\begin{aligned} Q_0 F_{10} + Q_0 F_{20} + Q_0 F_{30} = \\ = F_{10} Q_{10} + F_{20} Q_2 + F_{30} Q_3. \end{aligned} \quad (7)$$

Из условия базисные приращения связаны:

$$F_{10} + F_{20} + F_{30} = F_0. \quad (8)$$

Учитывая (8) и (1), вычтем почленно уравнение (7) из уравнения (6):

$$\begin{aligned} V \frac{d\Delta Q}{dt} + \Delta Q F_0 = F_{10} \Delta Q_1 - \Delta F_1 (Q_0 - Q_{10}) + \\ + \Delta F_2 (Q_2 - Q_0) - \Delta F_3 (Q_0 - Q_3). \end{aligned} \quad (9)$$

Перейдем к относительным величинам. Введем обозначения:

$$\begin{aligned} y &= \frac{\Delta Q}{Q_0}; \\ z &= \frac{\Delta Q_1}{Q_{10}}; \\ x_1 &= \frac{\Delta F_1}{F_{10}}; \\ x_2 &= \frac{\Delta F_2}{F_{20}}; \\ x_3 &= \frac{\Delta F_3}{F_{30}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Выражение (9) представляет собой уравнение смесителя в приращениях. Подставляем в уравнение (9) относительные величины (10). В результате подстановки получим:

$$\begin{aligned} V Q_0 \frac{dy}{dt} + F_0 Q_0 y = F_{10} Q_{10} z - \\ - F_{10} (Q_0 - Q_{10}) x_1 + \\ + F_{20} (Q_2 - Q_0) x_2 - \\ - F_{30} (Q_0 - Q_3) x_3. \end{aligned} \quad (11)$$

Разделив все слагаемые уравнения (11) на сомножитель $F_0 Q_0$, окончательно найдем

$$T_0 \frac{dy}{dt} + y = k_1 z - k_2 x_1 + k_3 x_2 - k_4 x_3. \quad (12)$$

В (12) приняты следующие обозначения:

$T_0 = \frac{V}{F_0}$ — постоянная времени объекта;

$k_1 = \frac{F_{10} Q_{10}}{F_0 Q_0}$ — коэффициент усиления по каналу Q_1-Q ;

$k_2 = \frac{F_{10} (Q_2 - Q_0)}{F_0 Q_0}$ — коэффициент усиления по каналу F_1-Q ;

$k_3 = \frac{F_{20} (Q_2 - Q_0)}{F_0 Q_0}$ — коэффициент усиления по каналу F_2-Q ;

$k_4 = \frac{F_{30} (Q_0 - Q_{30})}{F_0 Q_0}$ — коэффициент усиления по каналу F_3-Q .

Перейдем к операторной форме. Тогда уравнение динамики процесса смешения примет вид

$$(T_0 p + 1) y = k_1 z - k_2 x_1 + k_3 x_2 - k_4 x_3. \quad (13)$$

Передаточные функции объекта по его каналам описываются соответствующими равенствами:

$$\begin{aligned} W_1(p) &= \frac{k_1}{T_0 p + 1}; \\ W_2(p) &= \frac{k_2}{T_0 p + 1}; \\ W_3(p) &= \frac{k_3}{T_0 p + 1}; \\ W_4(p) &= \frac{k_4}{T_0 p + 1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Таким образом, по всем каналам прохождения сигналов рассматриваемый смеситель представляет собой устойчивый объект первого порядка.

Уравнению (13) соответствует структурная схема, приведенная на рис. 3.

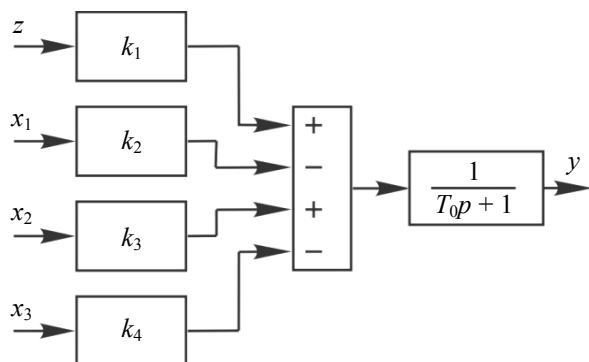


Рис. 3. Структурная схема процесса смешения

Таким образом, задача сводится к управлению процессом смешения краски и спирта, где возмущающим воздействием является краска, которая по системе циркуляции поступает из красочного аппарата машины в бак для приготовления краски.

Вязкость будет регулироваться за счет добавления требуемого количества спирта. Объем добавки определяет регулятор. Поскольку вязкость флексографских красок лежит в очень широком диапазоне $\eta = 0,05-0,50$ Па·с, то применение классических регуляторов затруднено. Наилучшим решением в данном случае будет применение систем нечеткой логики.

Все системы с нечеткой логикой функционируют по одному принципу: показания измерительных приборов фаззифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются, дефаззифицируются и в виде привычных сигналов подаются на исполнительные устройства. Фаззификация — сопоставление множеству значений аргумента (x) некоторой функции принадлежности $M(x)$, т. е. перевод значений (x) в нечеткий формат. Общая структура микроконтроллера, использующего нечеткую логику,

содержит в своем составе следующие части: блок фаззификации, базу знаний, блок решений, блок дефаззификации.

Блок фаззификации преобразует четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, описываемые лингвистическими переменными в базе знаний.

Блок решений использует нечеткие условия («if — then») правила, заложенные в базе знаний, для преобразования нечетких входных данных в требуемые управляющие воздействия, которые носят также нечеткий характер.

Блок дефаззификации преобразует нечеткие данные с выхода блока решений в четкую величину, которая используется для управления объектом.

В нечеткой логике вводится понятие лингвистической переменной, значениями которой являются не числа, а слова, называемые термами [3]. Так, в случае управления автоматизированной системой, задачей которой является контроль вязкости краски, можно ввести две лингвистические переменные: вязкость (разница между текущей и требуемой вязкостью) и расход (разница между текущим и требуемым расходом), таблица.

Значения лингвистической переменной вязкости можно определить термами: высокая, нормальная, низкая. А переменной расход зададим термы: слабый, нормальный, сильный. В качестве выходных переменных примем изменение положения вентиля краски и изменение положения вентиля спирта. Связь между входом и выходом зафиксируем в таблице нечетких правил. Для реализации систем нечеткой логики на практике используется Fuzzy Logic Toolbox — это пакет расширения Matlab, содержащий инструменты для проектирования систем нечеткой логики. Данный пакет включает специальные блоки для построения систем нечеткой логики в Simulink. С помощью имитационной модели в среде Simulink проиллюстрируем применение микроконтроллера, использующего нечеткую логику для управления вязкостью краски.

Задача управления сводится к получению таких значений расхода и концентрации раствора, которые обеспечили бы требуемые уровни вязкости и расхода краски.

Таблица нечетких правил для автоматизированной системы

Расход	Вязкость		
	высокая	нормальная	низкая
Слабый	спирт быстро открыть; краску медленно открыть	спирт медленно открыть; краску медленно открыть	спирт медленно открыть; краску быстро открыть
Нормальный	спирт медленно открыть; краску медленно закрыть	спирт зафиксировать; краску зафиксировать	спирт медленно закрыть; краску медленно открыть
Сильный	спирт медленно закрыть; краску быстро закрыть	спирт медленно закрыть; краску медленно закрыть	спирт быстро закрыть; краску медленно закрыть

Нечеткий контроллер реализован системой нечеткого вывода Мамдани с двумя входами и двумя выходами. Входными переменными являются: *viscosity* — разница между текущей и требуемой вязкостью и *flow* — разница между текущим и требуемым расходом. Выходными переменными являются: *ink* — добавление краски и *alc* — добавление спирта.

Для лингвистической оценки входных переменных используется по три терма. Крайние термы заданы трапециевидными функциями принадлежности, а остальные треугольными. Для лингвистической оценки выходных пере-

менных используется по пять термов с треугольными функциями принадлежности.

Имитационное моделирование проводилось со следующими параметрами. Задано значение вязкости $\nu = 0,20$ Па·с, соответствующее желаемому значению, и величина амплитуды отклонения от желаемого значения ($\pm 0,05$ Па·с). Также заданы желаемое значение расхода $Q = 0,7$ дм³/с и величина амплитуды отклонения ($\pm 0,1$ дм³/с).

В результате моделирования были получены графики изменения вязкости и расхода краски, представленные на рис. 4 и 5.

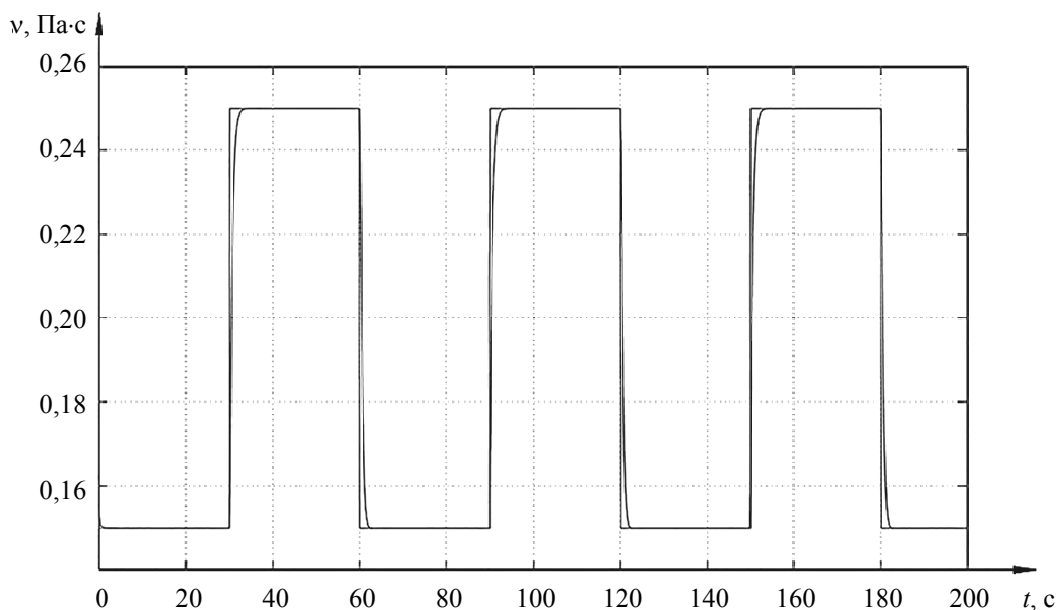


Рис. 4. График изменения вязкости краски

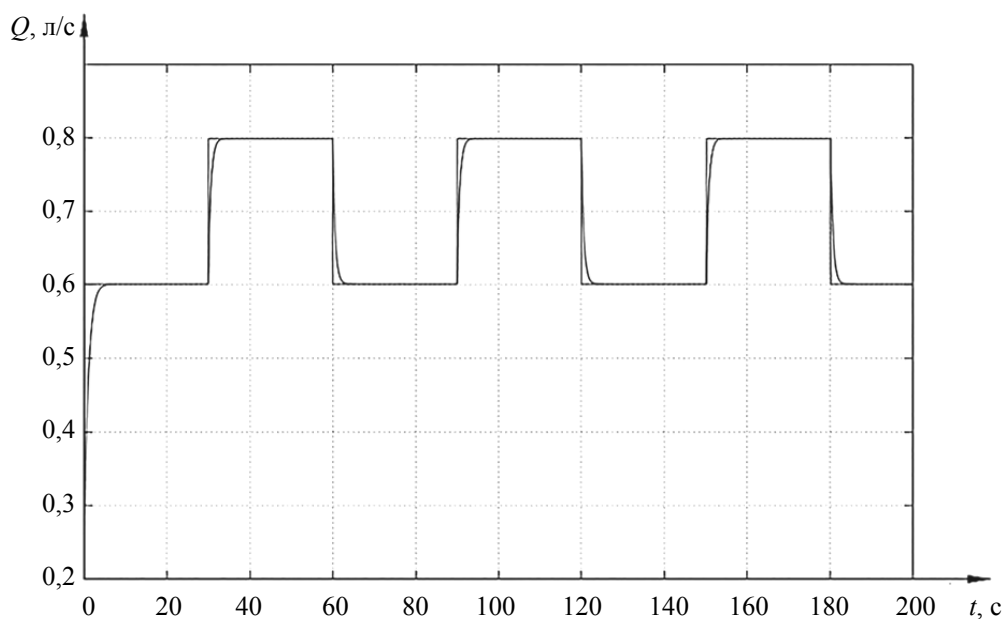


Рис. 5. График изменения расхода краски

Заключение. Требуемые значения вязкости и расхода краски изменяются по прямоугольному закону (показаны прямыми линиями на графиках). Текущие значения этих параметров, отработанные регулятором с нечеткой логикой, показаны на графиках кривыми линиями. По результатам моделирования видно, что регулятор с быстродействием порядка 5 с устанавливает фактическое значение вязкости и расхода краски в соответствии с заданием с требуемой

точностью (ошибка не превышает 0,1%). Таким образом, предлагаемая система для поддержания вязкости краски в флексографской печатной машине при внедрении позволит улучшить качество продукции, сократить затраты на расходные материалы. Регулятор с нечеткой логикой позволит системе работать с большой номенклатурой спиртовых красок различных производителей и широким диапазоном вязкостей этих красок.

Литература

1. Гельмут Киппхан. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства; пер. с нем. М.: МГУП, 2003. 1280 с.
2. Полоцкий Л. М., Лапшенков Г. И. Автоматизация химических производств: Теория, расчет и проектирование систем автоматизации: учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 1982. 296 с.
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.

References

1. Gel'mut Kippkhan. *Entsiklopediya po pechatnym sredstvam informatsii. Tekhnologii i sposoby proizvodstva* [Encyclopaedia of print media. Technology and production methods]. Moscow, MGUP Publ., 2003. 1280 p.
2. Polotskiy L. M., Lapshenkov G. I. *Avtomatizatsiya khimicheskikh proizvodstv: Teoriya, raschet i proektirovaniye sistem avtomatizatsii* [Automation of chemical production: Theory, calculation and design of automation systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 296 p.
3. Shtovba S. D. *Proyektirovaniye nechetkikh sistem sredstvami Matlab* [Design of fuzzy systems Matlab tools]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2007. 288 p.

Информация об авторе

Анкуда Денис Анатольевич — магистр технических наук, старший преподаватель кафедры полиграфического оборудования и систем обработки информации. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ankuda_d@belstu.by

Information about the author

Ankuda Denis Anatol'yevich – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Printing Equipment and Information Processing Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ankuda_d@belstu.by

Поступила 02.03.2016