

УДК 681.5.01

Д.А. Даденков, Д.Н.Черемных, А.П. ЧестиковПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ КОНТУРОВ
РЕГУЛИРОВАНИЯ УЧЕБНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
УСТАНОВКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Рассмотрены локальные контуры регулирования технологического процесса учебно-экспериментальной установки целлюлозно-бумажного производства. В процессе исследований выполнена процедура идентификации объекта управления с определением его структуры и параметров. Представлены разомкнутые схемы локальных участков процесса и математическое описание элементов системы в виде передаточных функций. В результате анализа объекта управления предложены варианты и алгоритм построения замкнутых контуров управления. Выполнен синтез регуляторов уровня и расхода технологической жидкости, проведено моделирование синтезированных схем в среде *Matlab Simulink*. Результаты моделирования используются для реализации регуляторов непосредственно в технологическом процессе на реальном оборудовании установки. Отладка и настройка регуляторов на экспериментальной установке произведены с учётом поправок на неточность и упрощение моделей разомкнутых контуров технологического процесса. Работы выполнены в рамках НИОКР по теме «Разработка автоматизированной системы управления (с привязкой к параметрам технологического режима) экспериментальной установки имитации работы контуров регулирования технологических процессов на современной элементной базе для предприятия ООО «Пермский картон».

Ключевые слова: учебно-экспериментальная установка целлюлозно-бумажного производства, технологический процесс, локальные контуры регулирования, идентификация объекта управления, синтез и моделирование систем регулирования, регуляторы уровня и расхода.

D.A. Dadenkov, D.N. Cheremnykh, A.P. Chestikov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**SYNTHESIS AND MODELLING OF LOCAL MANAGEMENT
CIRCUITS OF EDUCATIONAL EXPERIMENTAL EQUIPMENT
ON PULP AND PAPER PLANT**

Local management circuits of technological process in educational experimental system of pulp and paper plant, have been considered in the article. During the research the managed object has been identified, and its structure and parameters were determined. Open circuits of technological process local parts and mathematical description of system elements in the form of transmissive functions, have been presented. As a result of managed object analysis, some variants and an algorithm of closed management circuits creation, have been suggested. Synthesis and modelling of regulators on level and flow rate of process liquid, have been carried out in the Matlab Sumulink software suite. The modelling results are used for regulation of tech-

nological process on actual plant equipment. Tuning of regulators on the experimental equipment has been performed considering some inaccuracies and simplicity of open circuits models of technological process. The works have been done as a part of R&D on "Development of an automated management system of experimental equipment for simulation of technological process circuit management (considering the parameters of the technological process)" at the modern enterprise "Permsky Karton Ltd."

Keywords: educational experimental equipment on pulp and paper plant, technological process, local management circuits, identification of managed object, synthesis and modelling of regulating systems, regulators of level and flow rate

Важнейшим фактором конкурентоспособности любого предприятия является качество выпускаемой продукции, которое представляет собой совокупность свойств, куда входят надежность, эргономичность, безопасность и экологичность продукции. Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности не являются исключением.

При производстве бумажного полотна качество выпускаемой продукции напрямую зависит от непрерывного и бесперебойного протекания технологического процесса, состоящего из множества взаимосвязанных технологических операций. Одним из важнейших этапов процесса производства бумаги является подготовка бумажной массы.

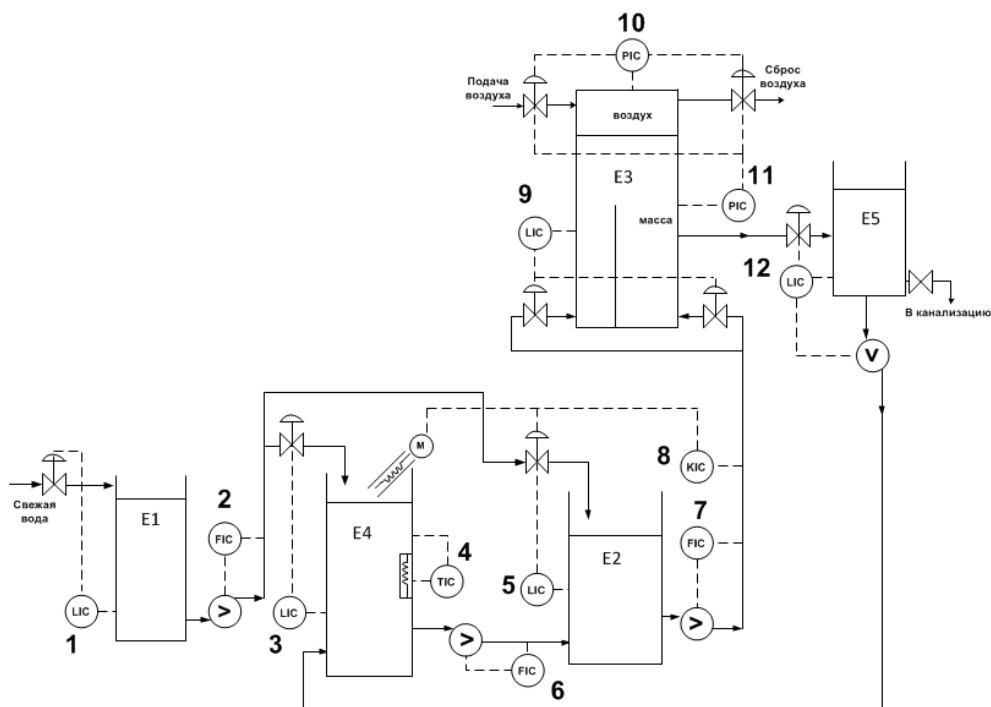


Рис. 1. Функциональная схема локальных контуров регулирования:
 1, 3, 5, 9, 12 – регулирование уровня; 2, 6, 7 – регулирование расхода;
 8 – регулирование концентрации; 10 – регулирование давления воздуха;
 11 – регулирование суммарного напора

Для исследования и оптимизации системы управления имитацией технологическим процессом подготовки бумажной массы на кафедре микропроцессорных средств автоматизации совместно с предприятием ООО «Пермский картон» была разработана и внедрена учебно-экспериментальная установка целлюлозно-бумажного производства [1]. Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

В соответствии с описанием технологических режимов работы установки и алгоритмами управления этими режимами было выделено несколько локальных контуров регулирования технологических параметров производственного процесса установки [1, 2].

В данной работе предлагается рассмотреть процедуру построения замкнутых систем управления, выполнить синтез регуляторов и моделирование полученных локальных контуров регулирования уровня и расхода в среде *MatlabSimulink*.

Математическая модель, объединяющая все контуры регулирования в одно целое, получается многомерной, громоздкой и сложной для синтеза и моделирования. Поэтому для решения практических задач целесообразно разбить систему на отдельные локальные контуры регулирования и для каждого из них провести расчет и настройку отдельного регулятора.

Рассмотрим на начальном этапе синтеза настройку локального контура регулирования уровня в технологическом бассейне Е1 для обеспечения поддержания заданного условиями технологии уровня.

Согласно технологической схеме экспериментальной установки (см. рис. 1) стабилизацию уровня в емкости Е1 можно осуществить автоматическим устройством, управляющим регулирующим органом, изменяющим расход воды, поступающей в емкость. Таким образом, регулирование уровня осуществляем при помощи регулирующего клапана с электроприводом.

Регулирование подачи жидкости осуществляется через верхнюю трубу и через установленный на ней клапан. Степень открытия клапана может изменяться от 0 до 100 %, тем самым устанавливается нужная величина подачи жидкости. Откачка жидкости осуществляется через

нижнюю трубу с помощью сетевого насоса, установленного на выходе емкости. При отключенном насосе слив жидкости не происходит, клапаны подачи жидкости в ёмкостях Е2 и Е4 перекрыты. Таким образом, управляющей величиной является приток жидкости, управляемой – величина уровня, а главным возмущением – изменение расхода откачивания жидкости при помощи изменения частот вращения насоса.

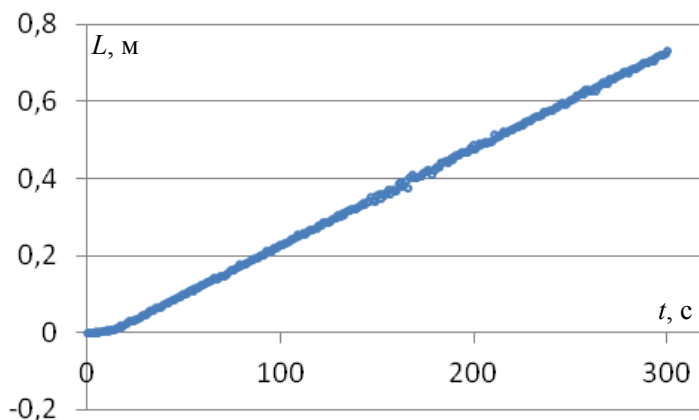


Рис. 2. График переходного процесса наполнения емкости

Процедура синтеза любой системы управления заключается в нахождении ее структуры и параметров, обеспечивающих заданное качество управления при известных входных воздействиях. Поэтому задачу синтеза начнём с определения структуры и параметров объекта управления, а также устройства управления.

Для идентификации объекта управления необходимо получить реакцию системы на выходе на задающий сигнал на входе системы. Для снятия графика переходного процесса подаем ступенчатый сигнал на открытие клапана и снимаем показания с датчика уровня, получая процесс заполнения ёмкости (рис. 2).

Как видно из графика (см. рис. 2), процесс наполнения емкости жидкостью является интегрирующим, то есть выходная величина объекта управления при подаче на вход ступенчатого воздействия не стремится к установившемуся значению, а продолжает непрерывно изменяться до снятия сигнала задания.

Согласно [3, 4] представим передаточную функцию технологиче-

ской ёмкости в виде интегрирующего звена: $W_e(p) = \frac{K}{p}$, а передаточную функцию клапана представим в виде апериодического звена первого порядка:

$$W_k(p) = \frac{Q(p)}{X(p)} = \frac{K_k}{T_k p + 1}$$

Результирующая математическая модель и структурная схема разомкнутой системы регулирования уровня получены согласно паспортным данным на оборудование, результатам экспериментальных исследований и процедуре идентификации.

Результирующая передаточная функция системы имеет следующий вид:

$$W_K \cdot W_E = \frac{0,00001259 \cdot 10}{10p + 1} \cdot \frac{1}{p}$$

Структурная схема разомкнутой системы приведена на рис. 3.

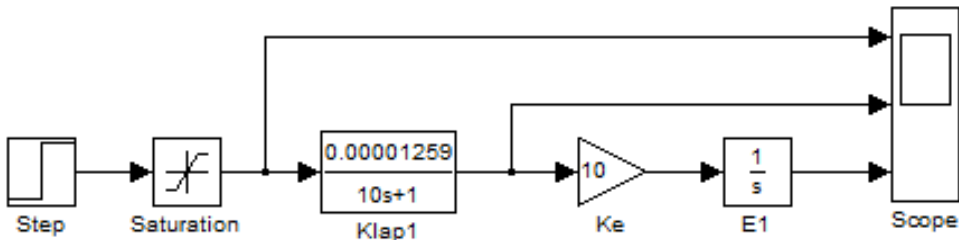


Рис. 3. Разомкнутая система регулирования уровня

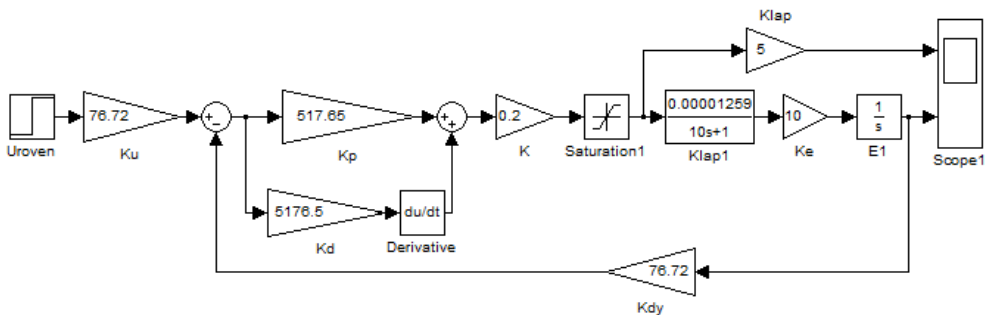


Рис. 4. Система стабилизации уровня с ПД-регулятором

Для синтеза системы стабилизации уровня при изменении задающего или возмущающего воздействия применим настройку регулятора

на апериодический оптимум [4]. В результате расчетов был получен ПД-регулятор.

Структурная схема системы управления с ПД-регулятором приведена на рис. 4.

График переходного процесса заполнения ёмкости с отработкой регулятором заданных значений уровня приведен на рис. 5, где S – степень открытия клапана (%), L – уровень жидкости в емкости (м).

Из графиков видно, как сначала происходит заполнение ёмкости до заданного уровня 0,5 м примерно за 210 с, а затем на 250 с увеличиваем заданное значение уровня, и регулятор обрабатывает данное задание, наполняя емкость до уровня в 1 м.

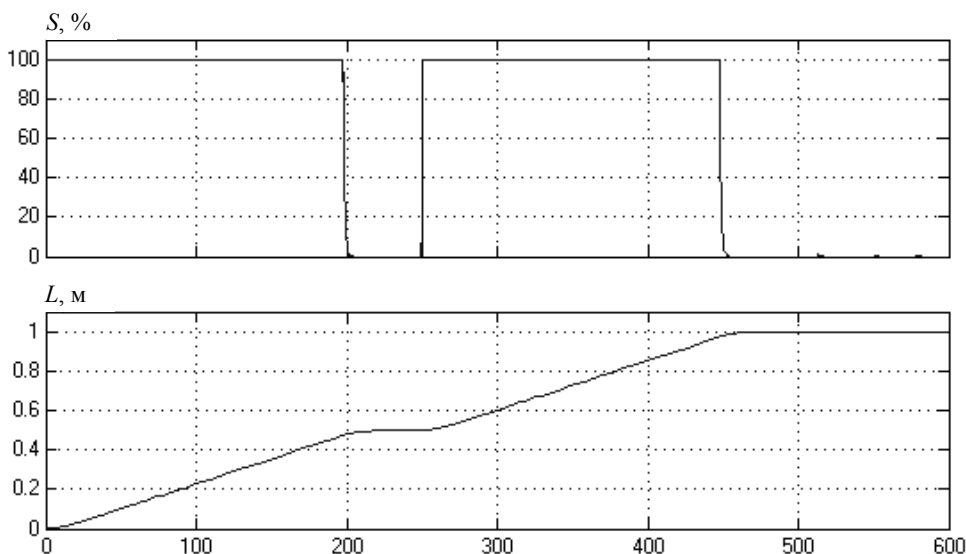


Рис. 5. Графики переходного процесса в системе стабилизации уровня с ПД-регулятором

На следующем этапе синтеза выполним построение замкнутого контура регулирования расхода, который будет являться возмущающим воздействием для контура регулирования уровня.

Задача системы регулирования расхода – поддержание заданного расхода воды в трубопроводах, связывающих технологические ёмкости Е1 и Е4. Стабилизацию расхода осуществляем при помощи регулирования частоты вращения двигателя сетевого насоса. Объект управления будет состоять из преобразователя частоты, двигателя и насоса. После проведения процедуры идентификации и определения

передаточных коэффициентов и постоянных времени были получены передаточные функции контура регулирования расхода.

Передаточная функция насоса:

$$W_n(p) = \frac{K_n}{T_n p + 1} = \frac{9,29e-7}{p + 1}.$$

Передаточная функция электродвигателя:

$$W_{ад}(p) = \frac{K_{ад}}{T_{ад} p + 1} = \frac{6,06}{0,05 p + 1}.$$

Передаточная функция преобразователя частоты:

$$W_{пч}(p) = \frac{K_{пч}}{T_{пч} p + 1} = \frac{2,5}{0,01 p + 1}.$$

Структурная схема модели разомкнутой системы регулирования расхода представлена на рис. 6.

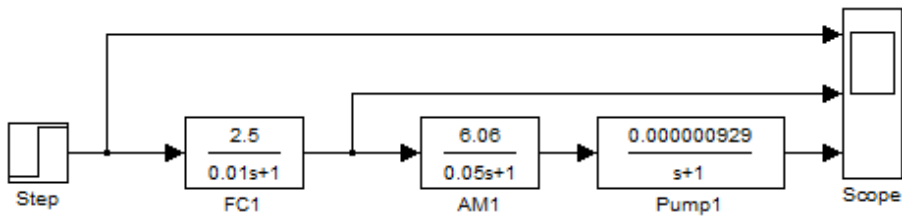


Рис. 6. Структурная схема разомкнутой системы регулирования расхода

Для синтеза системы регулирования расхода применим настройку регулятора на технический оптимум [4]. В результате расчетов был получен ПИД-регулятор.

Структурная схема системы управления с ПИД-регулятором приведена на рис. 7. Графики переходного процесса приведены на рис. 8.

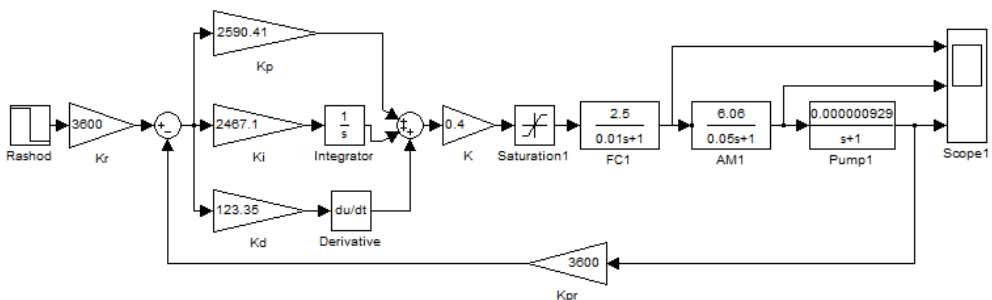


Рис. 7. Структурная схема контура регулирования расхода с ПИД-регулятором

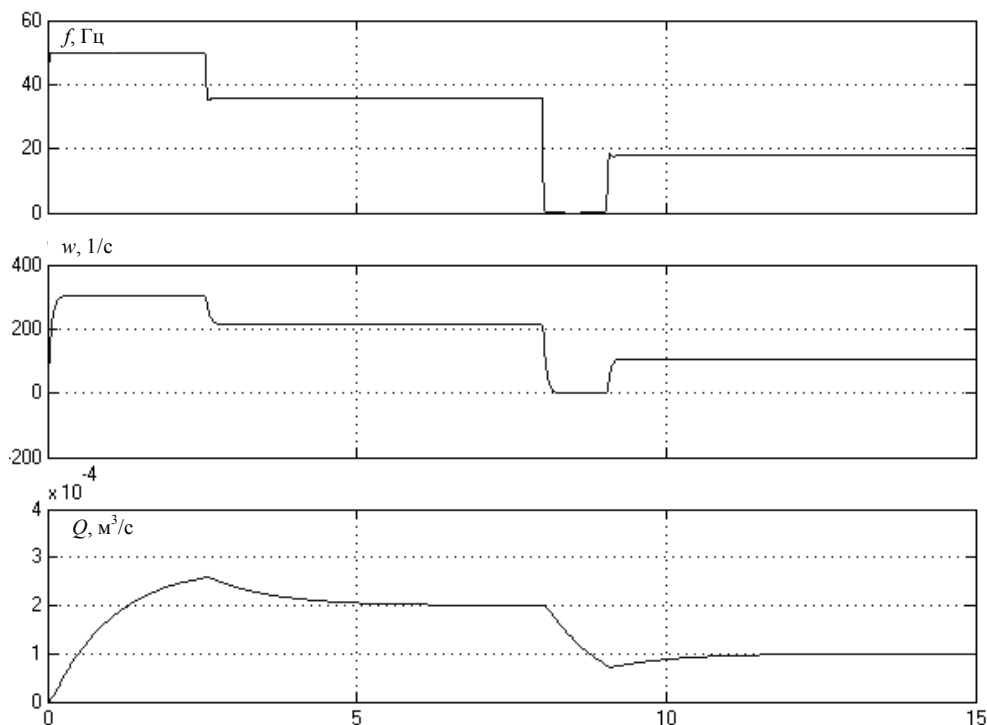


Рис. 8. Графики переходных процессов замкнутой системы регулирования расхода

На графиках обозначены технологические координаты контура регулирования расхода, где Q – расход откачиваемой из емкости Е1 жидкости, f – частота напряжения питания двигателя насоса, w – частота вращения двигателя насоса.

Из графиков видно, как сначала система обрабатывает начальное задание расхода: $Q = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$. При этом заметно, что в системе имеется перерегулирование, а время переходного процесса составляет 6 с. В момент времени $t = 8 \text{ с}$ уменьшаем уставку по расходу до $Q = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, и регулятор аналогичным образом обрабатывает изменение сигнала задания, снижая частоту вращения двигателя насоса.

Заключительным этапом процедуры синтеза является объединение контуров регулирования уровня в емкости Е1 и регулирования расхода жидкости в трубопроводе Е1–Е4 в единую двухконтурную систему, когда один из контуров будет являться возмущающим воздействием на другой контур.

Структурная схема двухконтурной системы управления представлена на рис. 9.

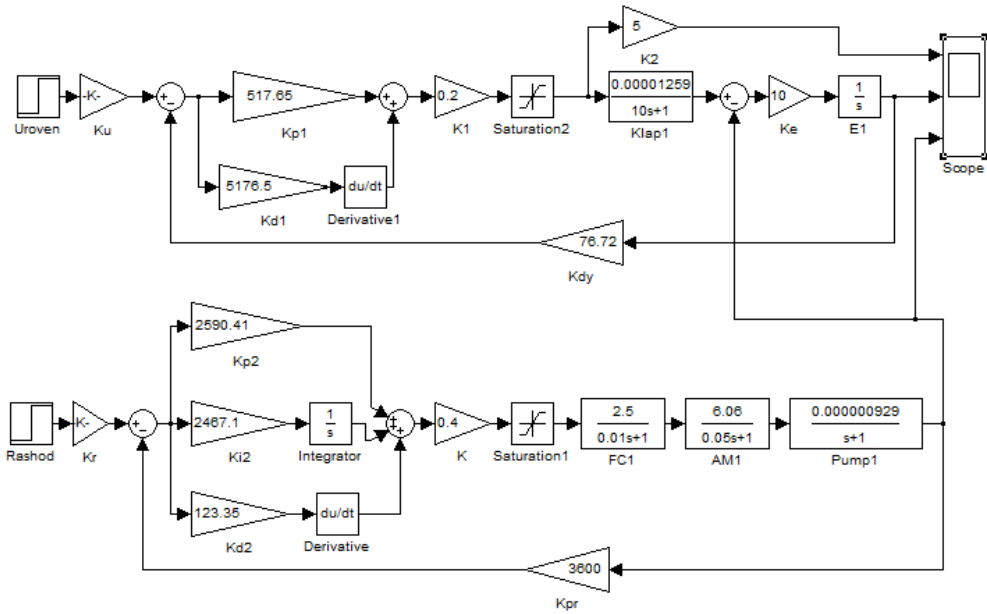


Рис. 9. Структурная схема двухконтурной системы регулирования уровня и расхода

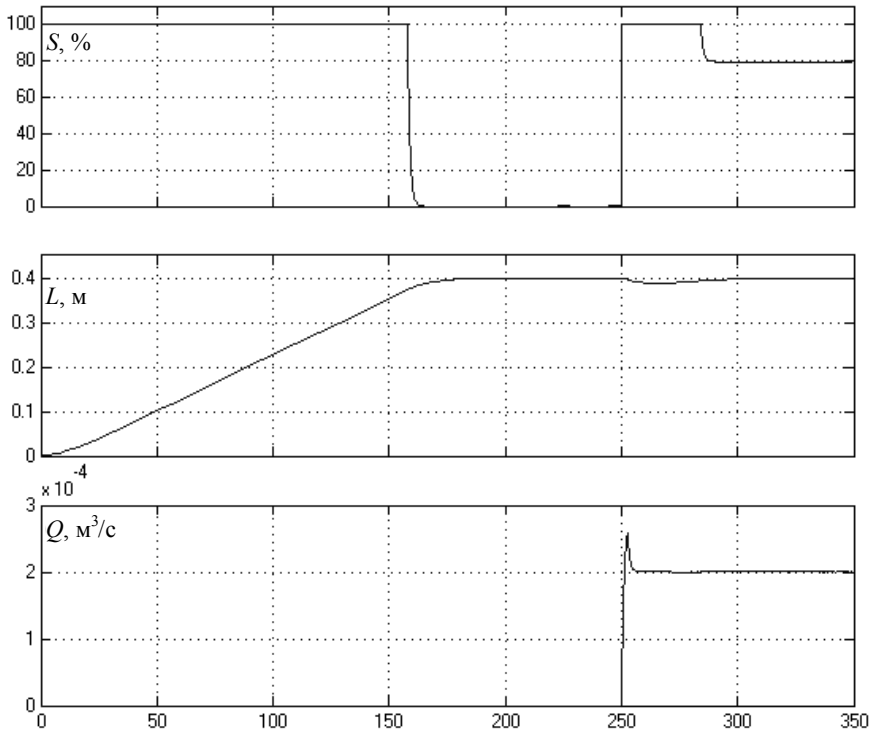


Рис. 10. Графики переходных процессов регулирования уровня и расхода

Графики переходных процессов отражены на рис. 10, где S – степень открытия клапана, %, L – уровень жидкости в емкости, м, Q – расход жидкости, откачиваемой из емкости, м³/с.

Выполняя анализ полученных результатов, видим, что в начальный момент времени на входе системы задана уставка по уровню $L = 0,4$ м и происходит заполнение ёмкости Е1, при этом отток жидкости отсутствует, сетевой насос выключен и клапаны в емкостях Е2 и Е4 закрыты. Далее на 250-й с включается сетевой насос и начинается откачка жидкости с заданным расходом $Q = 2 \cdot 10^{-4}$ м³/с. С началом откачки уровень в емкости начинает уменьшаться и обрабатывает контур стабилизации уровня, открывая клапан подачи жидкости, время переходного процесса отработки возмущающего воздействия составляет примерно 50 с.

В результате экспериментальных, расчётных и модельных исследований, представленных в данной работе, выполнены синтез и моделирование локальных контуров регулирования уровня и расхода жидкости технологического процесса учебно-экспериментальной установки целлюлозно-бумажного производства. Результаты моделирования будут использованы при реализации регуляторов непосредственно в технологическом процессе на реальном оборудовании установки. Отладка и настройка регуляторов будут выполнены с учётом поправок на неточность и упрощения моделей разомкнутых контуров технологического процесса.

Дальнейшим этапом в разработке автоматизированной тренажерной системы управления [5] для экспериментальной установки, в рамках совместной научно-исследовательской работы и сотрудничества с ООО «Пермский картон», является синтез и моделирование контуров регулирования концентрации, температуры и давления, а так же их интеграция в единую интеллектуальную систему автоматического управления.

Библиографический список

1. Разработка экспериментальной установки имитации работы контуров регулирования технологических процессов производства бумаги предприятия ООО «Пермский картон» / Д.А. Даденков, Л.В. Поносова, А.Б. Петроченков, И.Г. Друзьякин, А.Г. Лейсле // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энерге-

тике: материалы III Междунар. науч.-техн. интернет-конф. – Пермь: Изд-во Перм гос. техн. ун-та, 2009.

2. Разработка и реализация алгоритма управления технологическим процессом экспериментальной установки имитации контуров регулирования целлюлозно-бумажного производства / Д.А. Даденков, Д.Н. Черемных, А.А. Каверин // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы VI Междунар. науч.-техн. интернет-конф. – Пермь: Изд-во Перм нац. исслед. политехн. ун-та, 2012.

3. Лукас В.А. Теория управления техническими системами: учебное пособие для вузов. – 4-е изд., испр. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 677 с.

4. Казанцев В.П. Системы управления исполнительными механизмами: учебное пособие. – Пермь: Изд-во Перм гос. техн. ун-та, 2010. – 216 с.

5. Даденков Д.А., Петроченков А.Б. Опыт создания лабораторно-тренажерного комплекса для подготовки специалистов в области автоматизированных систем управления технологическими процессами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 5 (87). – С. 251–255.

Сведения об авторах

Даденков Дмитрий Александрович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: dadenkov@mail.ru).

Черемных Денис Николаевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: chermnyhdn@gmail.com).

Честиков Антон Павлович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: chestikov.anton@gmail.com).

About the authors

Dadenkov Dmitry Alexandrovich (Perm, Russian Federation) is a Senior Lecturer at the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: dadenkov@mail.ru).

Cheremnykh Denis Nickolaevich (Perm, Russian Federation) is a Master's Degree Student of the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: cheremnyhdn@gmail.com).

Chestikov Anton Pavlovich (Perm, Russian Federation) is an assistant at the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: chestikov.anton@gmail.com).

Получено 06.09.2013