

ЦИФРОВАЯ МНОГОМЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

А.А.СТОПАКЕВИЧ

DIGITAL MULTIVARIABLE CONTROL SYSTEM OF A TECHNOLOGICAL PLANT

A.A. STORAKEVICH

Аннотация.

В статье описан синтез многомерной системы управления брагоректификационной установкой. Доказана эффективность созданной системы по сравнению с классической, основанной на ПИ-законе регулирования.

Abstract. The paper describes synthesis of multivariable control system of a distillation column plant. The efficiency of system is better than efficiency of classical control system, based on PI-controllers.

Актуальной задачей модернизации оборудования спиртового производства является разработка современных цифровых систем управления наиболее распространенными в промышленности Украины и СНГ трехколонными брагоректификационными установками косвенного действия (БРУ), а также повышение их производительности.

Для решения поставленной задачи в работе [1] создана модель БРУ производительностью 6000 дал спирта в сутки с учетом взаимосвязей между колоннами, что позволяет рассматривать БРУ как единый многомерный многосвязный объект управления. Структурная схема разработанной модели изображена на рисунке 1.

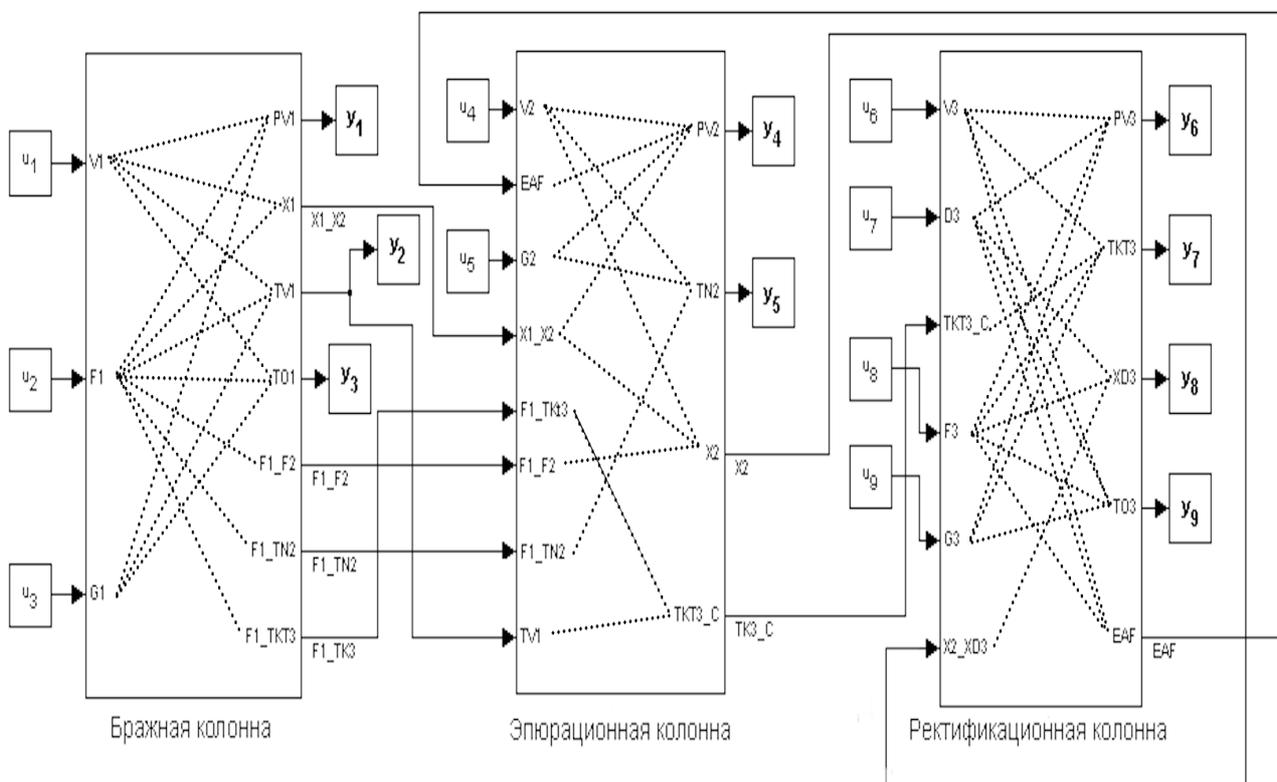


Рисунок 1 – Структурная схема модели БРУ

На структурной схеме использованы девять управляющих воздействий, выраженных в процентах хода исполнительного механизма (вектор u):

u_1 – расход пара в бражную колонну (БК);
 u_2 – расход бражки в БК;
 u_3 – расход охлаждающей воды в дефлегматор БК;
 u_4 – расход пара в эспирационную колонну (ЭК);
 u_5 – расход охлаждающей воды в дефлегматор ЭК;
 u_6 – расход пара в ректификационную колонну (РК);
 u_7 – отбор спирта из РК;
 u_8 – расход эспирата в РК;
 u_9 – расход охлаждающей воды в дефлегматор РК;
 и девять регулируемых параметров (вектор u):

y_1 – давление верха БК, Па;
 y_2 – температура верха БК, °C;
 y_3 – температура отходящей воды из дефлегматора БК, °C;
 y_4 – давление верха ЭК, Па;
 y_5 – температура низа ЭК, °C;
 y_6 – давление верха РК, Па;
 y_7 – температура на контрольной тарелке РК, °C;
 y_8 – крепость спирта-ректификата давление верха РК, % об;
 y_9 – температура отходящей воды из дефлегматора РК, °C.

Для синтеза систем управления модель объекта представлена в матричной форме пространства состояний (для моделирования запаздывания использована аппроксимация Паде второго порядка):

$$\dot{x} = \bar{A}t x + \bar{B}t u, \quad y = C t x,$$

где $x_0 \in \mathbb{R}^{107}$ – вектор состояния; $\bar{A} \in \mathbb{R}^{107 \times 107}$, $\bar{B} \in \mathbb{R}^{107 \times 9}$, $C \in \mathbb{R}^{9 \times 107}$ – матрицы соответствующей размерности.

Цифровая форма модели

$$x_{i+1} = A \chi x_i + B \chi u_i, \quad y_i = C \chi x_i,$$

получена путем пересчета матриц исходной системы по зависимости

$$\begin{matrix} \text{ж} & A & B \chi & \\ \text{з} & 0 & I \chi & \end{matrix} = e^{\begin{matrix} \text{ж} \bar{A} & \bar{B} \chi \Delta t \\ \text{з} 0 & 0 \chi \end{matrix} \Delta t},$$

где шаг дискретности Δt выбран по зависимости $\Delta t = \min |0.1 / \lambda(\bar{A})|$, $\lambda(\bar{A})$ – собственные значения матрицы \bar{A} .

Процесс брагоректификации – последняя и наиболее ответственная стадия процесса получения спирта. В качестве технологического критерия качества управления примем минимальное отклонение концентрации спирта на выходе ректификационной колонны при наиболее неблагоприятных возмущениях и при максимально возможной производительности установки. В качестве наиболее неблагоприятных приняты приведенные ко входу возмущения по расходу бражки на -10% хим, по расходу пара (при условии, что давление пара стабилизировано на котельной) на +3% хим, по расходу охлаждающей воды на -20% хим [2].

В настоящее время в системах автоматизации БРУ в основном используют системы управления, состоящие из девяти одноконтурных систем по каналам $u_i - y_i$ с типовыми ПИ регуляторами [3]. Использование такого закона регулирования обусловлено тем, что большое время запаздывания по большинству каналов приводит к резкому возрастанию

Для включения модели скачкообразных возмущений в модель объекта управления, последнюю следует расширить по правилу:

$$A_1 = \begin{matrix} \text{ж} A & 0_{\text{ц}} \\ \text{з} C & I_{\text{ш}} \end{matrix}, \quad B_1 = \begin{matrix} \text{ж} B_{\text{ц}} \\ \text{з} 0_{\text{ц}} \\ \text{и} I_{\text{ш}} \end{matrix}, \quad C_1 = (0 \quad I)$$

Критерий качества для оптимального синтеза запишем в виде:

$$J = \prod_{i=1}^r e_i^T \Psi \bar{Q} \Psi e_i + \Delta u_i^T \Psi R \Psi u_i = \prod_{i=1}^r x_i^T \Psi Q \Psi x_i + \Delta u_i^T \Psi R \Psi u_i,$$

где $Q = C^T \Psi \bar{Q} \Psi C$.

Матрицы \bar{Q} и R интегрального квадратического критерия качества равны:

$$\bar{Q} = \text{diag}[1; 1; 1; 1; 1; 1; 1.2 \cdot 10^8; 10^8; 1]$$

$$R = \text{diag}[1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1] \cdot 10^3$$

Матрицы Q_1, R_1 фильтра Калмана определяются в зависимости от погрешностей выбранных средств измерения по методике, изложенной в [6].

$$Q_1 = \text{diag}[7.69 \cdot 10^{-12}; 2.24 \cdot 10^{-8}; 1.49 \cdot 10^{-8}; 7.69 \cdot 10^{-12}; 2.11 \cdot 10^{-8}; 7.69 \cdot 10^{-12}; 2.08 \cdot 10^{-8}; 1.51 \cdot 10^{-7}; 1.49 \cdot 10^{-8}]$$

$$R_1 = \text{diag}[3.08 \cdot 10^{-11}; 3.08 \cdot 10^{-11}]$$

Синтез цифрового регулятора и фильтра Калмана ведется с использованием матлаб-программы `dlqr`, решающей соответствующие матричные уравнения Риккати. Фрагмент программы определения неизвестных матриц K и L имеет вид:

$$K = \text{dlqr}(A_1, B_1, Q, R);$$

$$L = \text{dlqr}(A_1', C_1', Q_1, R_1)';$$

Матрицы K и L разбиваются на матрицы пропорциональной (K_1 и L_1) и интегральной (K_2 и L_2) частей в виде:

$$K_1 = K(:, 1:107); \quad K_2 = K(:, 108:116);$$

$$L_1 = L(1:107, :); \quad L_2 = L(108:116, :);$$

Матрица собственно регулятора

$$u_{i+1} = Cr \Psi x_i$$

$$x_{i+1} = Ar \Psi x_i + Br \Psi u_i$$

определяются в виде

$$Ar = \begin{matrix} \text{ж} A - B \Psi K_1 & - B \Psi K_2 - L_1 & L_1 \Psi \\ \text{з} C & I - L_2 & L_2 \Psi \\ \text{з} 0 & 0 & I_{\text{ш}} \end{matrix}, \quad Br = \begin{matrix} \text{ж} 0_{\text{ц}} \\ \text{з} 0_{\text{ц}} \\ \text{и} I_{\text{ш}} \end{matrix}, \quad Cr = (-K_1 \quad -K_2 \quad 0)$$

Результаты моделирования процессов в БРУ показаны на рис.2.

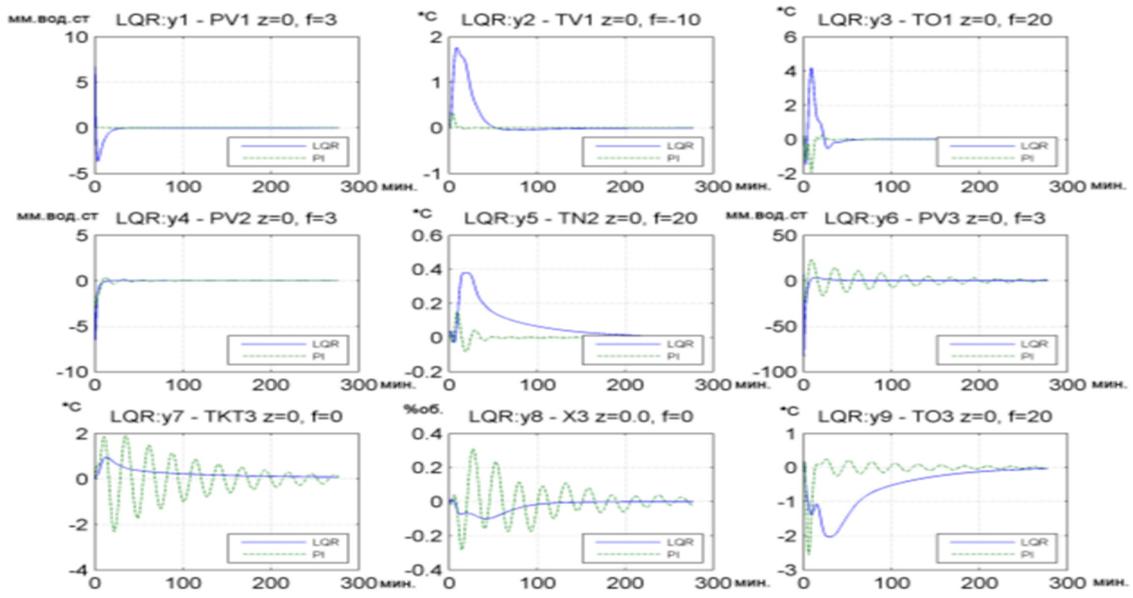


Рисунок 3 – Сравнение процессов по отклонению концентрации спирта разработанной и типовой системе управления

Как видно из графиков, в разработанной системе управления отклонение по наиболее важным параметрам (крепость спирта и температура на контрольной тарелке) значительно меньше, чем в типовой, и процесс устанавливается быстро, практически без колебаний. Кроме того, процесс в разработанной системе управления устанавливается при номинальном уровне открытия регулирующих органов в 72%, а в типовой – при 70%, что дает экономию в 2% производительности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стопакевич А.А. Разработка многомерной модели БРУ//Сборник докладов. Информационные технологии и автоматизация. II Всеукраинская научная конференция. Одесса, 15-16 октября 2009.– Одесса, 2009.–с.92-93.
2. Мандельштейн М.Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации.– М.: Пищевая промышленность, 1975
3. Стопакевич А.А., Тодорцев Ю.К. Анализ современного состояния систем управления брагоректификационными установками спиртового производства//ААЭКС.– №2.–2009.–С. 180–184
4. Соколов В.А. Автоматизация технологических процессов пищевой промышленности.– М.: Агропромиздат, 1991
5. Astrom K. J., Hagglund T., Advanced PID Control.– N.Y.: The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2005
6. Стопакевич А.А., Тодорцев Ю.К. Определение настроечных матриц фильтра Калмана в задачах управления промышленными технологическими процессами//Автоматика 2010. Тези доповідей. 17 Міжнародна конференція з автоматичного управління.– Харків, 2010