

Выводы. Разработана технологическая схема дозированной системы налива и программа для контроллера Honeywell UMC800, которая реализовывает технологический процесс налива жидкого нефтепродукта (парафина) в автоцистерны. Реализована главная задача при построении АСУ ТП – обеспечение стабильности технологии дозированного налива нефтепродукта на экономически целесообразном для предприятия уровне. А именно. Значительно упростился процесс отгрузки парафина. Оператор самой низкой квалификации может успешно контролировать и самостоятельно (раньше работали двое) обслуживать АСУ ТП «Автоматический налив» - включил насос, ввел величину дозы и выключил насос.

Все параметры технологического процесса дозирования можно наблюдать по месту: на мониторе контроллера эстакады налива и местных индикаторах типа RMA3000 (Remote Meter Assemblies) возле насосов.

Один из ключевых базовых элементов АСУ ТП – интеллектуальный массовый расходомер Кориолиса.

CMFS 50 производства Honeywell. Он измеряет массовый и объемный расходы различных текучих сред. Это гибкая система, надежная работа и точные измерения: точность измерений массового расхода – 0,1%, рабочий диапазон расходов 1000 к 1, легкость конфигурирования. Принцип измерений основан на управляемой генерации сил Кориолиса независимо от температуры давления, вязкости, проводимости и профиля потока.

Несмотря на кажущуюся сложность примененного оборудования и программного обеспечения мы получили высоконадежную АСУ ТП. Срок окупаемости, которой составляет максимум 1 год при возросшей интенсивности отгрузки в 4–5 раз.

Литература

1. Бондаренко П.М., Губин В.Е., Поляков В.Г. Автоматизация налива нефтепродуктов в железнодорожные цистерны. М., 1999.
2. Губин В.Е. Слив и налив нефтей и нефтепродуктов. М., Недра, 1998.
3. Мишин Б. В., Шпотаковский М. Н. Краткий справочник по оборудованию- нефтебаз. Л., Недра, 1995.
4. Нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели нефтебаз. Киев, 1993.
5. Позиционеры электропневматические типа ПЭП-3. Принцип действия. Руководство по эксплуатации. ЗР2.508.111.РЭ
6. Современные технологии автоматизации. СТА. «СТА-ПРЕСС», №1,2007 (42), ISSN 0206-975X. стр.78.
7. SCM 3000 Smart Coriolis Mass Flowmeter. User's Manual., 34-CM-25-01B. 7/96. Honeywell Industrial Automation and Control Automation College.
8. ST3000 Smart Transmitter. Release 300 and Smart Field Communicator. Model STS103. User's Manual. 34-ST-25-14A. Issue 2-11/98.
9. UMC800 Controller. Installation and User Guide. 51-52-25-61C. Issue 4-02/00.
10. Официальный сайт компании «Хоневелл», www.honeywell.com

УДК 681.51

МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

Стопакевич А.А.,

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

В статье описана впервые разработанная многомерная математическая модель брагоректификационной установки косвенного действия в целом. Модель установки учитывает перекрестные связи между колоннами и позволяет существенно улучшить качество управления.

The article describes multivariable model of whole spirit rectification plant of indirect action, developed for first time. The model takes into account crosslinks between columns and allows to considerably increase quality of control.

Ключевые слова: ректификация, спирт, БРУ, бражная, эпорационная, ректификационная, колонна, многомерная, математическая, модель, качество, управление.

Высококачественный спирт является ценным продуктом не только в пищевой и медицинской промышленности, но и перспективным экологически чистым горючим для автомобилей, которое уже сейчас почти в два раза дешевле бензина.

Наиболее распространенным типом брагоректификационной установки (БРУ) для производства спирта в Украине является трехколонная установка косвенного действия, состоящая из бражной (БК), эпорационной (ЭК) и ректификационной (РК) колонн.

При синтезе систем управления БРУ объектами управления чаще всего являются отдельные каналы колонн, иногда – модели отдельных колонн. Такой подход не учитывает, что в БРУ существуют как прямые связи между колоннами, так и рецикл по непастеризованному спирту, который влияет на эпорационную колонну, играющую основную роль в очистке спирта от примесей [1].

Разработка модели БРУ как единого многомерного многосвязного объекта управления позволит существенно улучшить качество управления и, соответственно, качество спирта.

В монографии [2] приведены экспериментальные математические модели колонн типовых трехколонных БРУ косвенного действия, разработанные в результате масштабных исследований НПО «Пищепромавтоматика».

Предлагаемая нами структурная схема модели установки изображена на рис.1. Подлежащие разработке звенья 36 – 40, связывающие установку в единое целое, отмечены серым цветом. Дифференциальные уравнения известных звеньев приведены ниже:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= -8.22 \cdot 10^{-1} \cdot x_1 + 2.41 \cdot 10^{+1} \cdot u_1; & \dot{x}_{26} &= -1.42 \cdot 10^{-1} \cdot x_{28} + 5.66 \cdot 10^{-3} \cdot u_7(t - 5.23); \\
 \dot{x}_2 &= -2.73 \cdot 10^{-1} \cdot x_2 + 1.36 \cdot 10^{-2} \cdot u_1(t - 1.00); & \dot{x}_{27} &= -6.19 \cdot 10^{-2} \cdot x_{29} + 8.04 \cdot 10^{-4} \cdot u_7(t - 7.50); \\
 \dot{x}_3 &= -3.00 \cdot 10^{-1} \cdot x_3 + 3.00 \cdot 10^{-2} \cdot u_1(t - 2.50); & \dot{x}_{28} &= -3.53 \cdot 10^{-1} \cdot x_{30} - 4.62 \cdot 10^{+1} \cdot u_8(t - 0.30); \\
 \dot{x}_4 &= -1.28 \cdot 10^{-1} \cdot x_4 - 4.08 \cdot 10^{-2} \cdot u_1(t - 6.17); & \dot{x}_{29} &= -5.10 \cdot 10^{-2} \cdot x_{31} - 1.17 \cdot 10^{-2} \cdot u_8(t - 12.58); \\
 \dot{x}_5 &= -1.62 \cdot 10^{-1} \cdot x_5 + 2.87 \cdot u_2; & \dot{x}_{30} &= -3.33 \cdot 10^{-2} \cdot x_{32} + 1.46 \cdot 10^{-2} \cdot u_8(t - 20); \\
 \dot{x}_6 &= -1.33 \cdot 10^{-1} \cdot x_6 - 2.00 \cdot 10^{-2} \cdot u_2(t - 1.20); & \dot{x}_{31} &= -5.83 \cdot 10^{-1} \cdot x_{33} - 2.09 \cdot 10^{+1} \cdot u_9(t - 0.08); \\
 \dot{x}_7 &= -1.42 \cdot 10^{-1} \cdot x_7 - 1.28 \cdot 10^{-1} \cdot u_2(t - 2.67); & \dot{x}_{32} &= -1.44 \cdot 10^{-1} \cdot x_{34} + 7.64 \cdot 10^{-3} \cdot u_9(t - 4.78); \\
 \dot{x}_8 &= -1.54 \cdot 10^{-1} \cdot x_8 + 1.20 \cdot 10^{-1} \cdot u_2(t - 6.08); & \dot{x}_{33} &= -1.79 \cdot 10^{-1} \cdot x_{35} - 6.09 \cdot 10^{-2} \cdot u_9(t - 2.08); \\
 \dot{x}_9 &= -2.61 \cdot 10^{-2} \cdot x_9 + 2.09 \cdot 10^{-3} \cdot u_2(t - 21.66); & \dot{x}_{34} &= -4.62 \cdot 10^{-2} \cdot x_{36} + 4.38 \cdot 10^{-4} \cdot w_2(t - 20); \\
 \dot{x}_{10} &= -2.73 \cdot 10^{-1} \cdot x_{10} - 3.00 \cdot 10^{-1} \cdot u_3; & \dot{x}_{35} &= -1.85 \cdot 10^{-1} \cdot x_{35} + 1.48 \cdot 10^{-2} \cdot u_4(t - 1.00); \\
 \dot{x}_{11} &= -3.16 \cdot 10^{-1} \cdot x_{11} - 2.84 \cdot 10^{-3} \cdot u_3(t - 1.66); & & \\
 \dot{x}_{12} &= -2.24 \cdot 10^{-1} \cdot x_{12} - 6.38 \cdot 10^{-2} \cdot u_3(t - 1.23); & y_1 &= x_1 + x_5 + x_{10}; \\
 \dot{x}_{13} &= -6.18 \cdot 10^{-1} \cdot x_{13} - 5.69 \cdot u_4; & y_2 &= x_2 + x_6 + x_{11}; \\
 \dot{x}_{14} &= -3.24 \cdot 10^{-1} \cdot x_{14} - 8.43 \cdot 10^{-3} \cdot u_4(t - 0.41); & y_3 &= x_3 + x_7 + x_{12}; \\
 \dot{x}_{15} &= -4.62 \cdot 10^{-2} \cdot x_{15} + 5.86 \cdot 10^{-6} \cdot w_1(t - 15.00); & y_4 &= x_{13} + x_{17} + x_{36} + x_{35}; \\
 \dot{x}_{16} &= -1.66 \cdot 10^{-1} \cdot x_{16} + 6.17 \cdot 10^{-5} \cdot x_{38}(t - 10.00); & y_5 &= x_{14} + x_{18} + x_{20}; \\
 \dot{x}_{17} &= -2.17 \cdot 10^{-1} \cdot x_{17} - 6.52 \cdot 10^{-2} \cdot u_5(t - 1.06); & y_6 &= x_{21} + x_{25} + x_{28} + x_{31}; \\
 \dot{x}_{18} &= -1.05 \cdot 10^{-1} \cdot x_{18} + 1.05 \cdot 10^{-3} \cdot u_5(t - 2.75); & y_7 &= x_9 + x_{19} + x_{22} + x_{26} + x_{29} + x_{32}; \\
 \dot{x}_{19} &= -2.86 \cdot 10^{-2} \cdot x_{22} + 1.43 \cdot 10^{-2} \cdot y_2(t - 18.30); & y_8 &= x_{27} + x_{30} + x_{34}; \\
 \dot{x}_{20} &= -4.28 \cdot 10^{-1} \cdot x_{23} - 6.86 \cdot 10^{-3} \cdot u_2(t - 12.50); & y_9 &= x_{23} + x_{33}; \\
 \dot{x}_{21} &= -9.23 \cdot 10^{-1} \cdot x_{24} + 3.10 \cdot 10^{+1} \cdot w_4; & & \\
 \dot{x}_{22} &= -6.67 \cdot 10^{-1} \cdot x_{25} + 3.34 \cdot 10^{-2} \cdot w_4(t - 0.50); & w_1 &= x_4 + x_8; \\
 \dot{x}_{23} &= -2.40 \cdot 10^{-1} \cdot x_{26} + 9.60 \cdot 10^{-3} \cdot w_4(t - 3.08); & w_2 &= x_{15} + x_{16} + x_{35}; \\
 \dot{x}_{24} &= -7.50 \cdot 10^{-1} \cdot x_{37} + 6.11 \cdot 10^{+2} \cdot u_6(t - 0.50); & w_3 &= w_4 - u_8; \\
 \dot{x}_{25} &= -6.67 \cdot 10^{-2} \cdot x_{27} + 6.67 \cdot 10^{-1} \cdot u_7(t - 7.00); & w_4 &= u_7 + x_{24};
 \end{aligned}$$

где

u_1 – Расход пара в БК;	y_1 – Давление верха БК;
u_2 – Расход бражки в БК;	y_2 – Температура верха БК;
u_3 – Расход охлаждающей воды в БК;	y_3 – Температура охл. воды БК;
u_4 – Расход пара в ЭК;	y_4 – Давление верха ЭК;
u_5 – Расход охлаждающей воды в ЭК;	y_5 – Температура низа ЭК;
u_6 – Расход пара в РК;	y_6 – Давление верха РК;
u_7 – Отбор спирта из РК;	y_7 – Температура на КТ РК;
u_8 – Расход эпората в РК;	y_8 – Крепость спирта-ректификата;
u_9 – Расход охлаждающей воды в РК;	y_9 – Температура охл. воды РК.

Разработку математических моделей неизвестных звеньев выполним аналитически. Техника создания аналитической модели тарельчатой ректификационной колонны изложена в работе [3]. Созданная на основе описанной техники модель была проверена экспериментально и показала высокую степень адекватности.

При моделировании колонну рассматривают как совокупность отдельных тарелок, на которые поступают и с которых снимаются материальные и энергетические потоки.

Примем следующие обозначения: M_l – весовой расход жидкости; M_v – весовой расход пара; X – концентрация продукта в жидкости; Y – концентрация продукта в паре; i_l – удельная энтальпия жидкости; i_v – удельная энтальпия пара; P – давление.

В уравнения, описывающие динамику тарелки, входят независимые переменные $M_{l,n+1}$, $M_{v,n-1}$, M_N , X_{n+1} , Y_{n-1} , X_N , $i_{l,n+1}$, $i_{v,n-1}$, $i_{l,N}$ и зависимые переменные $m_{l,n}$, $m_{v,n}$, $M_{l,n}$, $M_{v,n}$, Y_n , X_n , $i_{l,n}$, $i_{v,n}$, i_k , P_n .

Уравнение материального баланса тарелки записывается следующим образом:

$$\frac{dm_{l,n}}{dt} + \frac{dm_{v,n}}{dt} = M_{l,n+1} - M_{l,n} + M_{v,n-1} - M_{v,n} + M_N \quad (1)$$

Уравнение материального баланса более летучего компонента записывается следующим образом:

$$\frac{d(m_{l,n} X_n)}{dt} + \frac{d(m_{v,n} Y_n)}{dt} = M_{l,n+1} X_{n+1} - M_{l,n} X_n + M_{v,n-1} Y_{n-1} - M_{v,n} Y_n + M_N X_N \quad (2)$$

Уравнение энергетического баланса тарелки записывается следующим образом:

$$\frac{d(m_{l,n} i_{l,n})}{dt} + \frac{d(m_{v,n} i_{v,n})}{dt} + m_k \frac{di_k}{dt} = M_{l,n+1} i_{l,n+1} - M_{l,n} i_{l,n} + M_{v,n-1} i_{v,n-1} + M_{v,n} i_{v,n} + M_N i_N \quad (3)$$

Молярное удерживание жидкости на тарелке зависит от геометрических размеров и объема паров в паровых каналах (этот объем приблизительно пропорционален относительному потоку паров) следующим образом:

$$m_{l,n} = \frac{S_k}{v} \left[\left(\frac{v \cdot M_{l,n}}{\rho} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,1 \cdot L_2 \right] - K_4 \cdot M_v \quad (4)$$

где S_k – площадь поверхности вещества на тарелках колонны, v – молярный объем паров спирта, $v = \mu / \rho$, μ – молекулярный вес, L_2 – высота кромки переливной трубки над тарелкой, ρ – плотность жидкости,

$$K_4 = \frac{-T_l \cdot \Delta M_l + K_2 \cdot M_l^{2/3} + K_3}{2M_v}, \quad \Delta M_l = M_l, \quad K_{2,n} = \frac{M_{v,n}}{2\Delta P_n}, \quad K_{3,n} = \frac{\Delta Y_n}{\Delta X_n}$$

Линеаризуя приведенные уравнения и учитывая номера тарелок, на которые поступают материально – энергетические потоки, получим передаточные функции требуемых звеньев.

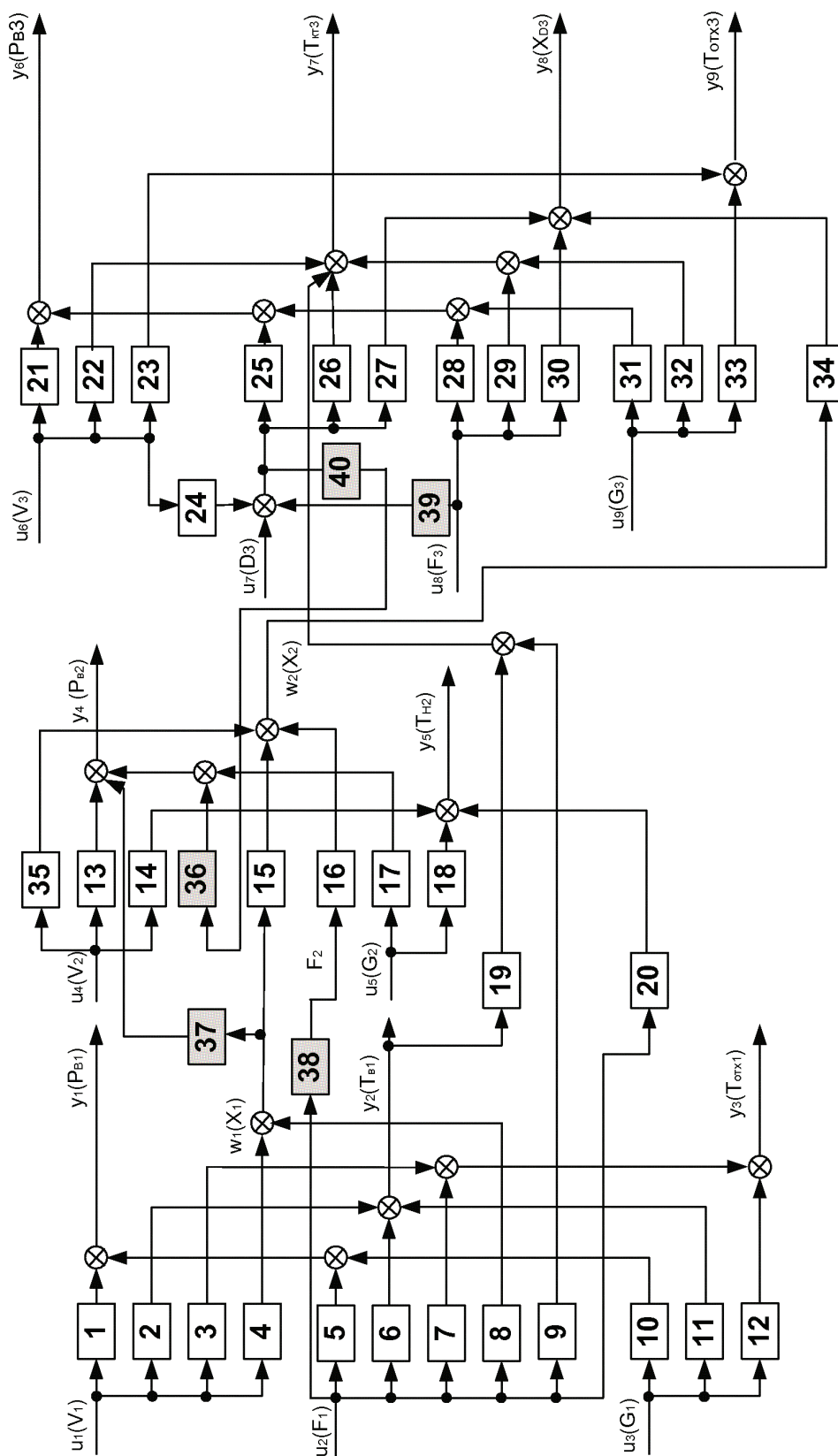


Рис. 1 – Структурная схема математической модели БРУ

Модель звена 36 выражает связь между расходом неаpasteризованного спирта и давлением верха в эспoрационной колонне.

$$W_{36}(s) = \frac{\Delta P_{44}(s)}{\Delta M_N(s)} = \frac{\Delta M_{41}(s)}{\Delta M_N(s)} \cdot \frac{\Delta P_{42}(s)}{\Delta M_{41}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{43}(s)}{\Delta P_{42}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{44}(s)}{\Delta P_{43}(s)} = \frac{C_6^{42} \cdot C_2^{43} \cdot C_2^{44}}{(T_l^{41} \cdot s + 1) \cdot (T_p^{42} \cdot s + 1) \cdot (T_p^{43} \cdot s + 1) \cdot (T_p^{44} \cdot s + 1)} \quad (5)$$

где

$$T_l = \frac{S_k}{v} \cdot \left(\frac{\mu}{\sqrt{M_{l,n}}} \right)^{2/3} \quad (6)$$

$$T_p = \frac{m_{l,n} \left(\frac{\partial i_{l,n}}{\partial \xi_n} \right)_{\xi_{n,0}} + m_{v,n} \left(\frac{\partial i_{v,n}}{\partial P_n} \right)_{P_{n,0}} + (i_{v,n} - i_{l,n}) \frac{\partial m_v}{\partial P}}{J_M} \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{M_v}{2 \cdot DP} \left[i_{v,n} - i_{l,n} - \left(\frac{\partial i_{v,n}}{\partial P_n} \right)_{P_{n,0}} DP - \left(\frac{\partial i_{v,n}}{\partial \xi_n} \right)_{P_{n,0}} D\xi_{n-1} \right] \quad (8)$$

$$C_6 = \frac{\left(\frac{\partial i_{l,n}}{\partial P_n} \right)_{\xi_{n,0}} DP + \left(\frac{\partial i_{l,n}}{\partial \xi_n} \right)_{P_{n,0}} D\xi_n}{J_M} \quad (9)$$

$$J_M = M_l \left(\frac{\partial i_{l,n}}{\partial P_n} \right)_{\xi_{n,0}} + M_v \left(\frac{\partial i_{v,n}}{\partial P_n} \right)_{\xi_{n,0}} - \frac{M_v}{2 \cdot DP} \left[\left(\frac{\partial i_{v,n}}{\partial P_n} \right)_{\xi_{n,0}} DP + \left(\frac{\partial i_{v,n}}{\partial \xi_n} \right) D\xi_{n-1} - 2(i_{v,n} - i_{l,n}) \right]$$

Подставив параметры технологического режима, переходя к измерению постоянных времени и запаздываний в минутах, а управляющих воздействий в процентах хода исполнительного механизма, аппроксимируя модель в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием, получим дифференциальное уравнение звена

$$\xi_{36} = -1.57 \cdot 10^{-1} \cdot x_{36} + 9.12 \cdot 10^{-3} \cdot x_{40}(t - 0.13) \quad (10)$$

Модель звена 37 выражает связь между расходом бражного дистиллята на входе в ЭК и давлением вверху ЭК.

$$W_{37}(s) = \frac{\Delta P_{44}(s)}{\Delta X_{36}(s)} = \frac{\Delta P_{36}(s)}{\Delta X_{36}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{37}(s)}{\Delta P_{36}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{38}(s)}{\Delta P_{37}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{39}(s)}{\Delta P_{38}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{40}(s)}{\Delta P_{39}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{41}(s)}{\Delta P_{40}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{42}(s)}{\Delta P_{41}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{43}(s)}{\Delta P_{42}(s)} \cdot \frac{\Delta P_{44}(s)}{\Delta P_{43}(s)} = \frac{C_7^{36} \cdot C_2^{37} \cdot C_2^{38} \cdot C_2^{39}}{T_p^{36} \cdot s + 1 \cdot T_p^{37} \cdot s + 1 \cdot T_p^{38} \cdot s + 1 \cdot T_p^{39} \cdot s + 1} \cdot \frac{C_2^{40} \cdot C_2^{41} \cdot C_2^{42} \cdot C_2^{43} \cdot C_2^{44}}{T_p^{40} \cdot s + 1 \cdot T_p^{41} \cdot s + 1 \cdot T_p^{42} \cdot s + 1 \cdot T_p^{43} \cdot s + 1 \cdot T_p^{44} \cdot s + 1} \quad (11)$$

Действуя аналогично предыдущему случаю, получим дифференциальное уравнение звена в виде:

$$\xi_{37} = -9.26 \cdot 10^{+0} \cdot x_{37} + 4.07 \cdot 10^{-2} \cdot w_1(t - 0.15) \quad (12)$$

Модель звена 38 выражает связь между расходом бражки в БК и расходом бражного дистиллята на выходе БК:

$$W_{38}(s) = \frac{\Delta M_{26}(s)}{\Delta M_{21}(s)} = \frac{\Delta M_{26}(s)}{\Delta M_{25}(s)} \cdot \frac{\Delta M_{25}(s)}{\Delta M_{24}(s)} \cdot \frac{\Delta M_{24}(s)}{\Delta M_{23}(s)} \cdot \frac{\Delta M_{23}(s)}{\Delta M_{22}(s)} \cdot \frac{\Delta M_{22}(s)}{\Delta M_{21}(s)} =$$

$$\frac{1}{T_1^{21} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T_1^{22} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T_1^{23} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T_1^{24} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T_1^{25} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T_1^{26} \cdot s + 1} \cdot \frac{C_l^{BK}}{(T_l^{BK} \cdot s + 1)^5} = \frac{C_l^{BK}}{(T_l^{BK} \cdot s + 1)^5} \quad (13)$$

где F_1 – расход бражки, F_2 – расход бражного дистиллята, $C_l^{BK} = \frac{F_2}{F_1}$

Действуя аналогично предыдущему случаю, получим дифференциальное уравнение звена в виде:

$$\dot{x}_{38} = -4.45 \cdot 10^{-2} \cdot x_{38} + 8.17 \cdot 10^{-2} \cdot u_2(t - 16.6) \quad (14)$$

Модель звена 39 выражает связь между расходом эюрата на входе в РК и расходом спирта на выходе РК.

$$W_{39}(s) = \frac{\Delta M_{70}(s)}{\Delta M_{64}(s)} = \frac{C_l^{PK}}{(T_1 \cdot s + 1)^7} \quad (15)$$

где F_1 – расход эюрата, F_2 – расход спирта, $C_l^{PK} = \frac{F_2}{F_1}$.

Действуя аналогично предыдущему случаю, получим дифференциальное уравнение звена в виде:

$$\dot{x}_{39} = -3.53 \cdot 10^{-2} \cdot x_{39} + 3.62 \cdot 10^{-2} \cdot u_8(t - 25) \quad (16)$$

Звено 40 будет иметь следующий вид:

$$W_{40}(s) = \frac{\Delta F_{nc}}{\Delta D_3} \quad (17)$$

где F_{nc} – расход нестандартного спирта;

D_3 – расход стандартного спирта.

Подставив параметры технологического режима и переходя к проценту хода исполнительного механизма в коэффициенте передачи, получим:

$$x_{40} = 0.16 \cdot u_7 \quad (18)$$

Выводы

Таким образом, создана многомерная математическая модель БРУ в целом, которая учитывает связи между колоннами и внутренние взаимосвязи колонн, пригодная для синтеза многомерного регулятора установки.

Литература

1. Технология спирта/ под.ред. В.Л.Яровенко.– М.: Колос, 2002.– 464с.
2. Мандельштейн М. Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации. – М.: Пищевая промышленность, 1975.– 240с.
3. Чермак И., Петерка В., Заворка И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии. – М.: Мир, 1972.– 624с.

УДК 681.335:004.891

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

Мазурок Т.Л., к.т.н., доцент

Одесский национальный политехнический университет

Предложен графо-аналитический метод прогнозирования вектора состояния модели обучаемого в схеме синергетического управления обучением. Разработана и обучена нейросетевая модель определения оптимального соотношения между знаниями и умениями

A graphical-analytical method of predicting the state vector of the learner model in the scheme of synergistic teaching control. Designed and trained neural network model definition optimal balance between knowledge and skills.