

удобство в процессе текущей эксплуатации и развития исследований на термоядерной установке.

Литература

1. Тихомиров Л.Н., Ясельский В.К., Байструков К.И. и др. Система автоматизации экспериментов термоядерной материаловедческой установки КТМ // Изв. вузов. физика. –2000. №4. С. 53-61.
2. Тимонин В.В., Фяхретдинов А.И. Организация вычислительного процесса в системах автоматизации экспериментов на физических установках. – М.: 1983. 15с / Препринт ИАЭ –3777/15.
3. Stillerman J.A., Fredian T.W., et al. MDSplus Data Acquisition System // 11th Top. Conf. On High-Temp. Plasma Diag., Monterey, CA, 1996.

ADAPTATION OF SCADA-SYSTEM IN PROGRAM STRUCTURE OF AUTOMATION SYSTEM OF EXPERIMENTS ON KTM FUSION DEVICE

L.N. Tikchomirov*, V.K. Jaselskij, K.I. Bajstrukov, V.M. Pavlov,
I.L. Tazhibaeva*, A.V. Sharnin, E.A. Drapiko, E.I. Gromakov, V.V. Dzalbo*,
A.Y. Holosha, A.A. Storojenko

*Tomsk Polytechnical University,
National Nuclear Center of RK

Design problems of software of the automation system of experiments (ASE) on the fusion device-tokamak KTM are considered. Structural chart of ASE are represented. Variants of adaptation of TRACE MODE SCADA-system, produced by AdAstra Research Group, Ltd. (Russia), in the structure of ASE software are analyzed. Architecture of ASE software is developed and described. Functioning of ASE and flows of information in the system on stage preparation for experiments and in process of discharges are reviewed. Information representation forms on the control panel of the ASE are showed. Algorithms of performance of the experimental programs in automatic mode and within operator control panel are suggested.

УДК 661.879.1: 681.5

АСУТП ПРОИЗВОДСТВ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

Н.П. Курин, Г.Г. Андреев, В.Ф. Дядик, С.Н. Ливенцов,
А.А. Маслов, А.Н. Онищук

Томский политехнический университет

В соответствии с отраслевой программой на сублиматных заводах Сибирского Химического Комбината и Ангарского Электролизного Химического Комбината разработаны и внедрены в постоянную эксплуатацию АСУ ТП производствами гексафторида урана. В их создании принимал активное участие творческий коллектив сотрудников кафедр 24 и 43 ФТФ ТПУ под руководством профессора Курина Н.П.

Создание и функционирование АСУ ТП производства гексафторида урана (ПГУ) направлено на получение вполне определенных технико-экономических результатов:

- увеличение прямого извлечения урана из исходного сырья и повышения степени использования фтора;
- сокращение энергозатрат на единицу готовой продукции;
- увеличение межремонтного пробега технологического оборудования, сокращение эксплуатационных расходов;
- увеличение производительности труда.

АСУ ТП производства гексафторида урана состоит из двух функциональных уровней, находящихся в иерархическом подчинении.

Верхний уровень предназначен для поиска, с помощью ЭВМ оптимальных уставок системам управления отдельными стадиями, при которых критерий управления достигает экстремума. Нижний уровень состоит из подсистем управления отдельными стадиями: фторирования, десублимации, улавливания. Причем в подсистемах нижнего уровня реализован режим прямого цифрового управления, при котором средства вычислительной техники воздействуют непосредственно на исполнительные устройства аппаратов.

В процессе создания АСУ ТП ПГУ выполнялись следующие этапы работ:

- теоретические и экспериментальные исследования технологических процессов в аппаратах фторирования, десублимации и улавливания как объектах управления;
- разработка структур статических и динамических моделей аппаратов и определение их параметров на основании теоретических расчетов и путем экспериментальной обработки данных;
- структурный и параметрический синтез законов управления;
- разработка алгоритмов функционирования подсистем управления аппаратами;
- разработка специального программного обеспечения, реализующего функции управления аппаратами и его экспериментальная проверка;
- разработка нестандартных элементов технического обеспечения;
- анализ результатов эксплуатации систем управления.

На основании анализа технологической схемы производства гексафторида урана как объекта автоматизированного управления в качестве критерия управления приняты суммарные удельные потери урана и фтора

$$J_0(U) = \sum_{i=1}^{10} R_i P_i(U); \quad (1)$$

где: P_1, P_2 – содержание урана и фтора в огарках пламенного реактора; P_3, P_4 – содержание урана и фтора в пыли, уловленной системой фильтрации после пламенного реактора; P_5, P_6 – количество урана и фтора в пыли, уловленной системой фильтрации после аппарата улавливания; P_7, P_8 – количество урана и фтора в отходящих газах после аппарата улавливания; P_9, P_{10} – количество урана и фтора, унесенного с пылью после аппарата улавливания; R_i – весовые коэффициенты.

Целью функционирования АСУ ТП ПГУ является минимизация критерия (1) с учетом технологических ограничений на управляющие воздействия.

На подсистемы управления нижнего уровня возлагаются задачи стабилизации на заданных уровнях соответствующих регулируемых переменных.

Итогом анализа узлов фторирования, десублимации и улавливания явились их структурные схемы, перечень и классификация технологических переменных, характеризующих указанные процессы.

Статические модели узлов составлены на основе анализа физико-химических процессов, происходящих в аппаратах, тепловых и материальных балансов, соответствующих процессов. Эти модели позволили оценить линейность объектов управления, чувствительность регулируемых переменных к нестабильности входных координат объектов, вычислить величины коэффициентов передач по каналам управляющих и возмущающих воздействий. С помощью этих моделей реализованы косвенные измерения важных технологических переменных и осуществлены процедуры адаптации в системах управления путем перерасчетов соответствующих коэффици-

ентов алгоритмов управления при изменениях нагрузки производства по фтору, смене партий твердого сырья; изменении элементов технологического оборудования и т.д. [1].

Задача управления технологическим процессом в реакторе фторирования сводится к стабилизации на заданном уровне (удержание в регламентном диапазоне) концентрации фтора (либо отношения концентраций фтора и гексафторида) в реакционных газах на выходе реактора. Это достигается изменением количества твердого сырья, загружаемого в реактор фторирования (РФ) за счет регулирования частоты вращения шнека загрузки.

Динамическая модель узла фторирования, необходимая для аналитического синтеза алгоритма управления, представлена линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами:

$$T_0 \cdot \frac{dC(t)}{dt} + C(t) = K_0^f \cdot G_F(t - \tau_0) - K_0^u \cdot N(t - \tau_0) \quad (2)$$

где: C – концентрация фтора на выходе реактора (управляемая переменная); G_F – расход технического фтора на входе реактора (основное возмущение); N – частота вращения шнека загрузки твердого сырья (управляющее воздействие);

K_0^f – коэффициент передачи по каналу $G_F \rightarrow C$; K_0^u – коэффициент передачи по каналу $N \rightarrow C$; T_0 – постоянная времени характеризующая инерционность объекта; τ_0 – время чистого запаздывания.

Она построена на основании экспериментальных исследований реакции объекта на ступенчатое входное воздействие. Этот экспериментальный метод определения динамических характеристик промышленного объекта заключается в снятии переходной функции и аппроксимации ее решением линейного дифференциального уравнения.

На базе полученной модели и критерия оптимального модуля [2] проведен структурный и параметрический синтез цифрового закона управления. В результате получены рекуррентные соотношения, позволяющие реализовать с помощью управляющей ЭВМ ПИД закон управления по отклонению и компенсацию основного возмущения. В разработанном алгоритме функционирования и программном обеспечении подсистемы управления узлом фторирования учтены особенности технологического оборудования, реализован цифровой закон управления [3] и автоматическая настройка (адаптация) параметров закона управления в зависимости от условий протекания процесса и характеристик исходных продуктов.

Для обеспечения минимальной погрешности передачи управляющих воздействий разработана и смонтирована тиристорная система управления частотой вращения приводов шнеков загрузки аппаратов фторирования.

Проведенные испытания и результаты промышленной эксплуатации показали функциональную работоспособность подсистемы и обеспечение удовлетворительного качества управления.

Целью управления узлом десублимации в целом является стабилизация выходной концентрации гексафторида урана на уровне оптимального приближения ее к равновесному (установившемуся) состоянию в объеме аппарата, что может быть достигнуто изменением циклов захолаживания и отпарки секций охлаждаемой трубки аппарата. Для аппаратов первой и второй ступени десублимации эта цель трансформирована в стабилизацию на заданном уровне толщины слоя десублимата на внешней поверхности трубки, чем обеспечивается оптимальное соотношение между достигаемой степенью десублимации и насыпной плотностью готового про-

дукта в транспортных емкостях. Стабилизация толщины слоя достигается изменением времени захлаживания отдельных секций трубочки в зависимости от текущих значений технологических переменных в соответствии с выражением:

$$T_i = \frac{22.415 \cdot 60 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot \rho \cdot h \cdot (2R + h) \cdot L_3}{352 \cdot \bar{G} \cdot \bar{C}_{UF_6} \cdot \beta} - t_{отп\ i}, \quad (3)$$

где: h – заданная толщина слоя десублимата [мм]; R – внешний радиус трубок охлаждающей трубочки [мм]; ρ – плотность слоя десублимата [кг/м³]; \bar{G} [нм³/ч] – расход технологического газа на входе в аппарат десублимации, усредненный за время $\tau_{ср}$; \bar{C}_{UF_6} – концентрация гексафторида урана на входе в аппарат десублимации усредненная за время $\tau_{ср}$; β – степень десублимации аппарата; $t_{отп\ i}$ – время отпарки секции, после отпарки которой производится перерасчет времени захлаживания; L_3 – эффективная длина трубочки.

Рассчитанное управляющее воздействие через специально разработанное оптоэлектронное устройство согласования поступает на исполнительные механизмы клапанов подачи хладоносителя и греющего пара. Алгоритм функционирования подсистемы управления узлом десублимации предусматривает расчет времени захлаживания и отпарки секций трубочки аппаратов первой и второй ступени десублимации и формирование управляющих воздействий в виде циклических сигналов управления клапанами захлаживания и отпарки. Производственные испытания и промышленная эксплуатация подсистемы подтвердили ее работоспособность и показали, что она обеспечивает достижение поставленных целей управления (степень десублимации всего узла составляет не менее 96 %).

Целью управления узлом улавливания является:

- повышение степеней улавливания фтористого водорода, фтора, гексафторида урана;
- стабилизация содержания фтор-ионов в полупродуктах, выгружаемых из аппарата улавливания и поступающих далее на стадию фторирования.

Названные цели достигаются стабилизацией избытка твердой фазы в реакционной зоне аппарата над его стехиометрическим количеством путем изменения загрузки оксидов урана в аппарат комбинированного типа (АКТ) узла улавливания. Расчет загрузки твердого сырья производится по статической математической модели исходя из условия согласования выгрузки полупродукта из АКТ и его загрузки в РФ:

$$G_3 = \frac{G_{АКТ}}{1 - K_{п}} \cdot \left[\left(\frac{0.85}{Q_F} - 0.49 \right) \cdot C_{HF_i} \cdot L_{HF} + \left(\frac{1.7}{Q_F} - 1.22 \right) \cdot C_{F_2_i} \cdot L_F + \left(\frac{5.1}{Q_F} - 1.57 \right) \cdot C_{UF_6_i} \cdot L_{UF_6} \right],$$

где $G_{АКТ}$ – расход газа на входе АКТ; Q_F – содержание фтор-иона, в твердых полупродуктах выгружаемых из АКТ и загружаемых в РФ рассчитанное исходя из условия согласования; C_{HF_i} , $C_{F_2_i}$, $C_{UF_6_i}$ – соответственно концентрации фтороводорода, фтора и гексафторида урана на входе в АКТ; L_{HF} , L_F , L_{UF_6} – степени улавливания фтороводорода, фтора и гексафторида урана в АКТ; $K_{п}$ – коэффициент пылеуноса.

Содержание фтор-иона рассчитывается исходя из условия согласования для заданного значения концентрации фтора на выходе РФ:

$$Q_F = \frac{(0.235 - 0.052 \cdot C) \cdot (0.986 \cdot C_F + 0.68) - 0.384 \cdot C_F \cdot (1 - C)}{0.2232 \cdot C_F \cdot (C - 1) + (0.986 \cdot C_F + 0.68) \cdot (0.74 - 0.414 \cdot C)},$$

где C_F – концентрация фтора в техническом фторе на входе РФ.

Расход газа на входе АКТ и концентрации основных компонентов вычисляются с учетом процессов фторирования и десублимации:

$$G_{AKT} = G_A + G_{PФ} \cdot (0.47 \cdot Q_F - 0.128) .$$

Концентрации фтороводорода фтора и гексафторида урана на входе в АКТ определяются сначала по показателям работы ПР следующим образом :

$$C_{HF_i}^* = \frac{G_F}{G_{AKT}} \cdot (1 - C) ,$$

$$C_{F_2i}^* = \frac{G_F \cdot C_F - G_{PФ} \cdot (0.237 - 0.751 Q_F)}{G_{AKT}} ,$$

$$C_{UF_6i}^* = \frac{G_{PФ}}{G_{AKT}} \cdot (0.0016 - 0.001 \cdot Q_F) ;$$

Затем с помощью рекуррентного соотношения вводятся запаздывание и инерционность канала изменения концентраций обусловленного пространственной распределенностью оборудования:

$$C_i = C_{i-1} \cdot e^{-T_{ц}/T_c} + \left(1 - e^{-T_{ц}/T_c} \right) \cdot C_{i-n}^* ,$$

где: $T_{ц}$ – цикл расчета управляющего воздействия; T_c , τ_c – постоянная времени и время запаздывания информационного канала между точкой измерения концентрации и входом в АКТ; i – номер текущего отсчета,

$$n = \frac{\tau_{c50}}{T_{ц}} - 1 .$$

Выгрузка из АКТ определяется с учетом изменения состава оксидов урана загружаемых в АКТ

$$G_B = G_3 \cdot (1 - K_{II}) + G_{AKT} \cdot (0.49 \cdot C_{HF_i} \cdot L_{HF} + 1.22 \cdot C_{F_2i} \cdot L_{F_2} + 15.7 \cdot L_{UF_6}) .$$

Подсистема управления узлом улавливания также успешно прошла производственные испытания и введена в постоянную эксплуатацию.

Разработанные и внедренные на двух комбинатах системы управления производством гексафторида урана приняты в промышленную эксплуатацию Государственной комиссией и получили высокую оценку.

Литература

1. Дядик В.Ф. Цели управления технологическими процессами производства гексафторида урана. Синтез системы прямого цифрового управления узлом фторирования. Известия вузов. Физика, № 5. 2000 г. С.91-96.
2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. 328 с.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления - М.: Мир, 1984. 541 с.