

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ ДЕСУБЛИМАЦИИ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

А.В. Вильнина, С.Н. Ливенцов

Томский политехнический университет

E-mail: anviv@mail.ru

На основе математической модели разработан адаптивный алгоритм управления узлом десублимации. Алгоритм управления сводится к определению начала времени включения режима отпарки для соответствующей секции. Адаптация заключается в определении текущего значения степени десублимации по показаниям тензосенсоров, что позволяет повысить эффективность заполнения баллона готовым продуктом (гексафторидом урана).

Сублиматное производство является одним из звеньев ядерно-топливного цикла, целевой продукт которого используется на этапе обогащения по изотопу ^{235}U . Химико-технологическая схема данного производства состоит из трех функциональных узлов: фторирования, десублимации и улавливания ценных компонентов из хвостовых газов. Управление основными технологическими процессами выполняются АСУ ТП, которое состоит из двух функциональных уровней, находящихся в иерархическом подчинении. Верхний уровень предназначен для поиска оптимальных уставок для систем управления отдельными стадиями, при которых критерий управления достигает экстремума. В подсистемах нижнего уровня реализован режим прямого цифрового управления отдельными стадиями, при котором средства вычислительной техники воздействуют непосредственно на исполнительные устройства аппаратов [1].

В процессе наладки модернизируемой системы управления на базе многофункционального контроллера возникла необходимость в разработке более сложных алгоритмов управления, в том числе адаптивных, с целью повышения производительности аппаратов, в частности, для узла десублимации.

Узел десублимации предназначен для выделения гексафторида урана UF_6 из технологического газа посредством осаждения его в твердом виде на внешней поверхности трубчатки аппарата. Конструктивно технологические аппараты, из которых состоит узел десублимации, представляют собой теплообменник с трубками Фильда, заключенными в корпус и разбитыми на секции.

Нормальное протекание технологического процесса происходит при накоплении некоторой толщины слоя десублимата на внешней поверхности трубчатки за время захлаживания и последующего его сброса в сменную емкость (баллон) при включении режима отпарки. Толщина слоя определяет температуру поверхности теплообмена и соответственно – равновесную концентрацию UF_6 . При достижении равновесной концентрации скорость осаждения UF_6 на внешней поверхности трубчатки и его возгонки равны [2]. Следовательно, если толщина слоя десублимата не оптимальна, то при малых ее значениях большая часть UF_6 возгонится в момент теплового сброса. При большом значении снизится степень десублимации; может произойти забивка горловины аппарата при сбросе большого количества продукта.

Критерием управления процессом десублимации является величина степени десублимации. Целью управления технологическим процессом десублимации является стабилизация толщины слоя десублимата на заданном уровне, который обеспечивает оптимальное соотношение между достигаемой степенью десублимации и насыпной плотностью готового продукта в транспортных емкостях [1].

Основой действующего алгоритма является определение дополнительного времени захлаживания Δt для $(j+1)$ -ой секции, которое необходимо для осаждения десублимата заданной толщины h . Тогда управление технологическим процессом будет заключаться в определении времени начала отпарки $(j+1)$ -ой секции по формуле:

$$t_{\text{но } j+1} = t_{\text{оо } j} + \Delta t_{j+1},$$

где $t_{\text{оо } j}$ – время окончания отпарки j -ой секции; Δt_{j+1} – дополнительное время захлаживания для $(j+1)$ -ой секции.

$$\Delta t_{j+1} = \frac{t_3 - t_{3\text{min } j+1}}{N},$$

где t_3 – текущее расчетное значение времени захлаживания; $t_{3\text{min } j+1}$ – минимальное значение времени захлаживания $(j+1)$ -ой секции; N – количество секций.

Алгоритм управления иллюстрируется временной диаграммой включения секций в режим отпарки (рис. 1).

Рассматриваемый технологический процесс является циклическим, при котором каждая секция трубчатки периодически находится в режимах захлаживания и отпарки, причем одновременно в режиме отпарки может находиться не более одной секции [2]. Поэтому продолжительность захлаживания j -ой секции не должна быть меньше минимального времени $t_{3\text{min } j}$. Это необходимо для предотвращения включения в отпарку одновременно нескольких секций, что может привести к забивке горловины аппарата и остановке производства.

Минимальное значение времени захлаживания определяется как сумма времен отпарок всех секций за исключением времени отпарки j -ой секции:

$$t_{3\text{min } j} = \left(\sum_{j=1}^N t_{\text{o } j} \right) - t_{\text{o } j},$$

где $t_{\text{o } j}$ – время отпарки j -ой секции.

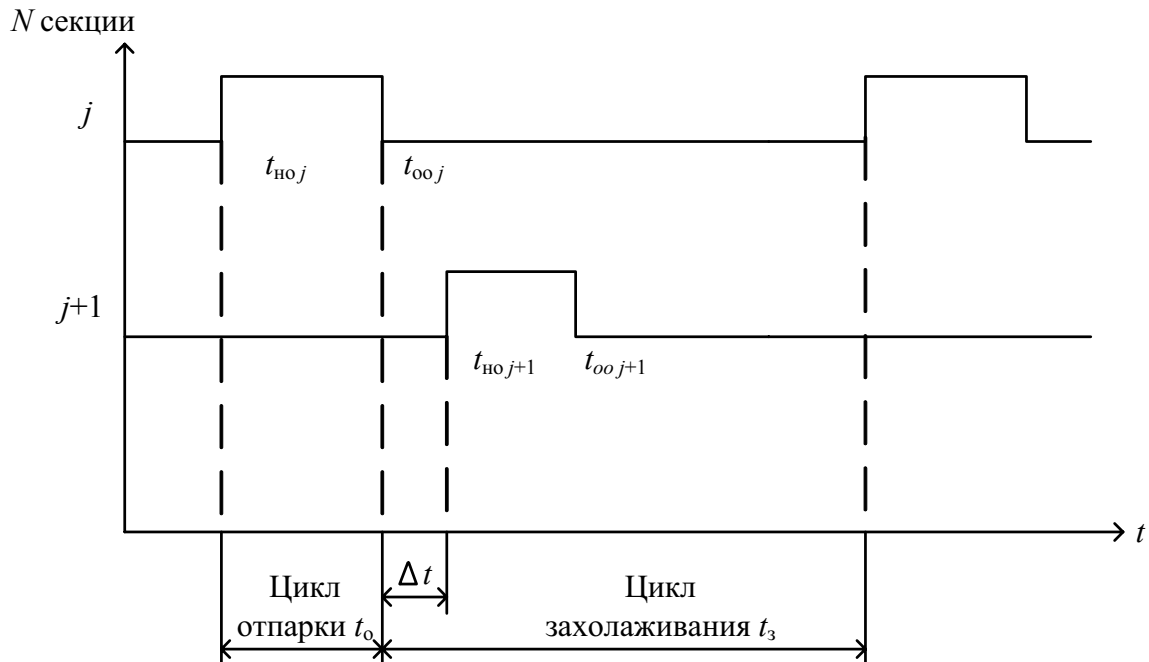


Рис. 1. Временная диаграмма включения секций в режим отпарки

Текущее значение времени захлаживания определяется как отношение текущего значения массы десублимата m_i , осевшего на внешней поверхности трубчатки, к произведению текущего значения расхода продукта G_i и степени десублимации α_{i-1} поступившего в аппарат.

$$t_{zi} = \frac{m_i}{G_i \alpha_{i-1}},$$

где m_i – расчетное текущее значение массы десублимата осевшего на внешней поверхности трубчатки, кг; G_i – текущее значение расхода продукта, кг/ч; α_{i-1} – значение степени десублимации за предыдущий цикл работы секций.

Текущее значение массы десублимата можно определить по формуле:

$$m_i = V \rho,$$

где V – расчетное значение объема, который занимает твердый UF_6 , осевший на внешней поверхности трубчатки, m^3 ; ρ – плотность UF_6 , $кг/м^3$.

Объем V можно определить, представив трубчатку с накопившимся на ней слоем десублимата толщиной h как коаксиальный цилиндр с внешним радиусом R , который равен сумме: $R=r+h$, где r – внутренний радиус трубчатки; h – толщина слоя десублимата и длиной L , м.

Тогда текущее значение массы десублимата может быть получено по формуле:

$$m_i = \pi L_{эфф} h_{зад} (2r + h_{зад}) \rho,$$

где $h_{зад}$ – заданное значение толщины слоя десублимата; $L_{эфф}$ – текущее значение эффективной длины трубчатки, м.

Под эффективной длиной трубчатки аппарата, работающего в переменном режиме (последова-

тельное включение режима отпарки и захлаживания), будем понимать длину труб эквивалентного аппарата, работающего постоянно в режиме захлаживания. Это обусловлено тем, что только в режиме захлаживания происходит осаждение продукта на внешней поверхности трубчатки.

Эффективная длина трубчатки определяется по формуле:

$$L_{эфф} = \sum_{j=1}^N \left[L_j \left(1 - \frac{t_{oj}}{t_{zj-1}} \right) \right],$$

где t_{oj} – время отпарки j -ой секции, ч; L_j – общая длина j -ой секции, м.

Текущее значение расхода гексафторида урана G_j определяется из стехиометрических расчетов материального баланса.

Введение в эксплуатацию нового контрольно-измерительного оборудования (тензовесов) позволяет реализовать контур адаптации для управления узлом десублимации. Адаптивное управление технологическим процессом реализуется через перерасчет степени десублимации по приращению веса продукта в баллоне, отнесенное к количеству продукта, поступившего в аппарат за время цикла.

$$\alpha_{i-1} = \frac{\Delta W_{i-1}}{\Delta G_{i-1} t_{ци-1}},$$

где ΔW_{i-1} – приращение веса продукта в баллоне за предыдущий цикл по показаниям тензовесов, кг; ΔG_{i-1} – расход продукта на входе аппарата за предыдущий цикл, кг/ч; $t_{ци-1}$ – продолжительность $(i-1)$ цикла, ч.

Таким образом, при определении степени десублимации используют показания тензовесов в моменты времени, соответствующие началу и концу $(i-1)$ цикла. За время цикла принимается промежу-

ток времени, за которое все секции были один раз переведены в режим отпарки.

Структурная схема разработанного адаптивного алгоритма управления представлена на рис. 2.

Анализ экспериментальных данных показал, что

степень десублимации α изменяется в диапазоне 0,65...0,80. Таким образом, использование в алгоритме управления экспериментальной определенной степени десублимации позволяет учесть влияние таких внутренних возмущений, как температура хладонотителя,

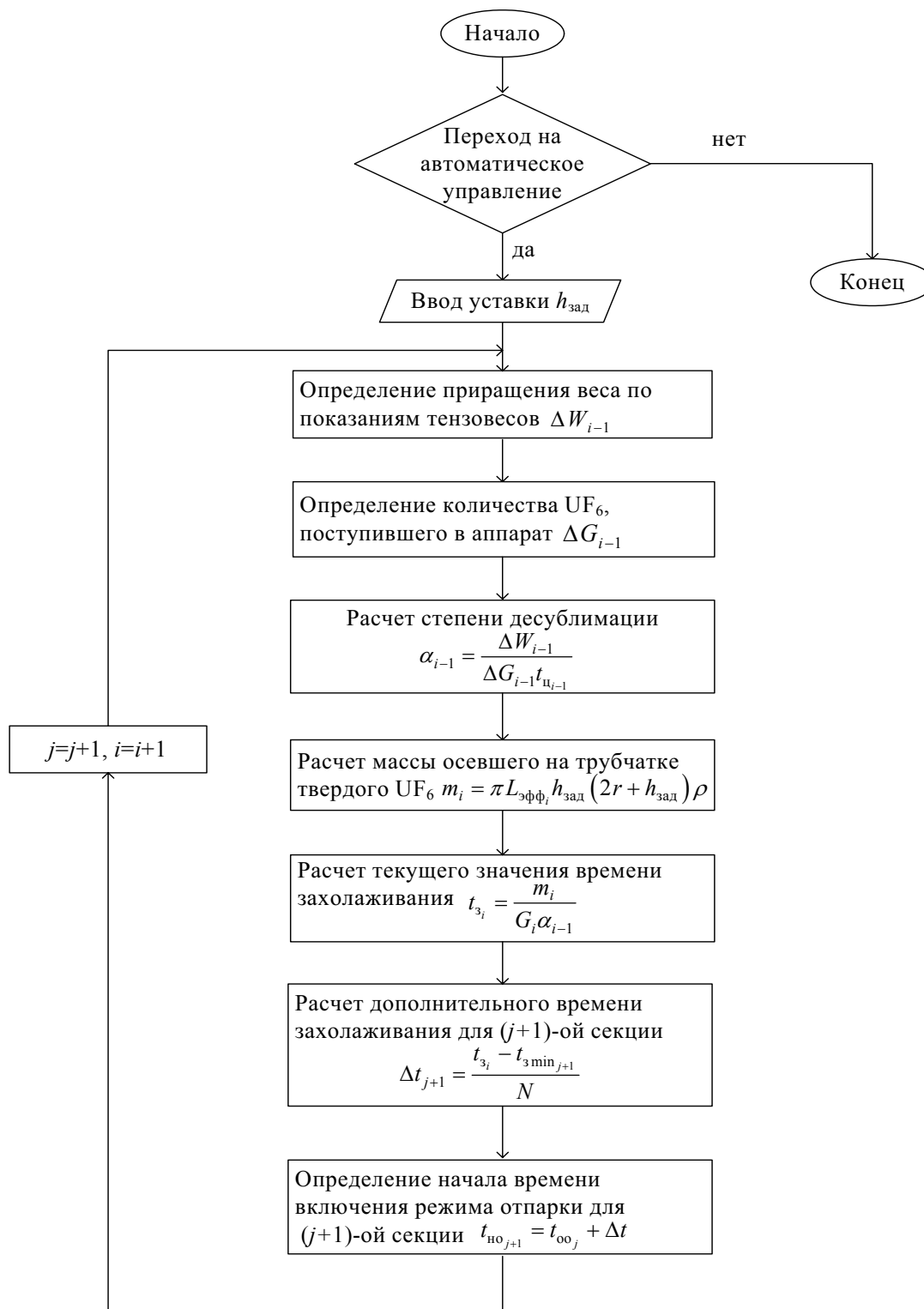


Рис. 2. Структурная схема адаптивного алгоритма управления

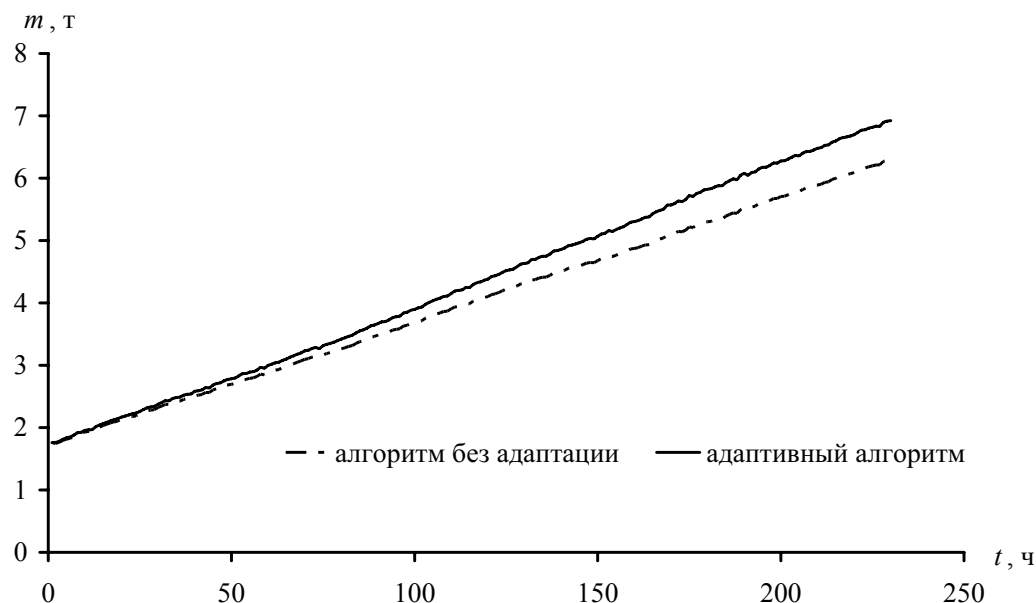


Рис. 3. Временная зависимость наполнения баллона продуктом

газа, пара, наличие примесей в газе, залипание твердого UF_6 на внешней поверхности трубочки и т. п. на ход технологического процесса в целом. Это позволяет решить задачу адаптации, повысить качество управления и стабильность процесса десублимации.

Моделирование алгоритма управления осуществлялось в пакете Simulink Matlab и заключалось в определении времени наполнения баллона при алгоритме управления с адаптацией и без. Поскольку изменение степени десублимации в алгоритме управления без адаптации не учитывается, то значение времени захлаживания остается постоянным независимо от количества сброшенного твердого UF_6 . При моделировании адаптивного алгоритма управления перерасчет степени десублимации позволял оценить реальное количество осевшего UF_6 на внешней поверхности трубочки с учетом влияния внутренних возмущений и скорректировать время захлаживания, при котором будет десублимироваться заданное количество UF_6 .

Результаты моделирования (рис. 3) показали, что в обоих случаях уменьшение степени десублимации приводит к увеличению времени наполнения баллона, но в отличие от алгоритма без адаптации время наполнения баллона при использовании

адаптивного алгоритма управления снижается приблизительно на 5 %.

Выводы

1. Разработан алгоритм управления узлом десублимации гексафторида урана, суть которого заключается в определении времени включения секции в режим отпарки.
2. Введенный в алгоритм управления контур адаптации позволяет формировать управляющее воздействие с учетом действующих возмущений, которые влияют на степень десублимации.
3. На основе экспериментальных данных был определен диапазон изменения степени десублимации, который составил 0,65...0,80; получены результаты моделирования алгоритмов управления с контуром адаптации и без него.
4. Предложенный адаптивный алгоритм управления может быть применен на производствах, в которых используют процесс десублимации, для извлечения продукта из газовой смеси, на аппаратах, имеющих подобную конструкцию с периодическим принципом действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курин Н.П., Андреев Г.Г., Дядик В.Ф., Ливенцов С.Н., Маслов А.А., Онищук А.Н. АСУТП производств гексафторида урана // Известия Томского политехнического университета. — 2002. — № 3 (спецвыпуск). — С. 398–402.
2. Горелик А.Г., Амيتين А.В. Десублимация в химической промышленности. — М.: Химия, 1986. — 272 с.

Ключевые слова:

Десублимация, алгоритм управления, время захлаживания, гексафторид урана.

Поступила 07.12.2006 г.