

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. – Л.: Химия, 1969. – 428 с.
2. Софронов В.Л., Буйновский А.С., Васильев К.Ф. О сублимационной очистке тетрафторида титана / VII Всес. симпозиум по химии неорг. фторидов: Тез. докладов. – М.: Наука, 1984. – С. 73.
3. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. – М.: Химия, 1972. – 304 с.
4. Горелик А.Г., Амитин А.В. Десублимация в химической промышленности. – М.: Химия, 1986. – 272 с.
5. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. – М.: Мир, 1987. – 320 с.

Поступила 28.11.2006 г.

УДК 546.791.6'161

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ ЛЕТУЧИХ ФТОРИДОВ МЕТАЛЛОВ

П.А. Смолкин, А.С. Буйновский, В.В. Лазарчук, А.А. Матвеев, В.Л. Софронов, В.Н. Брендаков

Северская государственная технологическая академия
E-mail: spa-net@mail.ru, sofonov@ssti.ru

С целью оптимизации технологических параметров процесса и создания системы автоматического регулирования процессом десублимации создана математическая модель процесса десублимации летучих фторидов металлов в поверхностных аппаратах (на примере гексафторида урана). Оптимальные режимы процесса десублимации, рассчитанные с использованием разработанной модели, проверены в опытных условиях и показали удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

Введение

От правильной организации тепловых режимов процесса десублимации летучих веществ в поверхностных десублиматорах зачастую зависит не только стабильность и эффективность работы десублимационного оборудования, но и экологическая безопасность производства. Так, при получении гексафторида урана (ГФУ) путем фторирования оксидов урана, ГФУ при десублимации может накапливаться на определенных участках поверхности аппарата, где образуются наиболее эффективные условия для данного процесса [1], что часто приводит к забивке аппарата или проскоку несконденсированной фазы через аппарат, поэтому максимальная степень заполнения промышленных десублиматоров целевым продуктом ($G_{\max}$) редко превышает 80 %, а для аппаратов сложной геометрии, например, для кольцевых десублиматоров это значение составляет лишь 30...50 %.

По мере образования слоя твердого продукта свободное поперечное сечение десублимационного аппарата уменьшается, и, соответственно, увеличивается скорость газа, изменяются температура поверхности десублимации, а также условия теплопередачи от десублимирующегося продукта к поверхности аппарата [2]. Это приводит к изменению температуры поверхности десублимации, что может привести к проскоку газообразного ГФУ через аппарат, поэтому газы после стадии фторирования, содержащие ГФУ, кислород и избыток фтора проходят два или более последовательно соединенных десублиматоров. В каждом следующем аппарате по ходу газа поверхность десублимации увеличивается.

Поэтому актуальным является определение оптимальных условий десублимации ГФУ из парогазовой смеси с целью управления фронтом десублимации в аппарате и увеличения степени заполнения десублиматора твердым продуктом за счет равномерного его распределения по объему аппарата, исключения потерь продукта, связанных с неэффективной работой поверхности десублимации, предупреждения внезапной забивки аппарата твердым ГФУ.

Эти задачи можно решить с помощью разработанной нами математической модели процесса десублимации, описывающей массовые, тепловые и гидродинамические потоки внутри аппарата. Эта модель позволяет определить:

- массовые потоки парогазовой смеси и твердого ГФУ внутри аппарата (материальные потоки);
- коэффициенты тепло- и массопередачи от парогазовой смеси к твердой поверхности;
- время охлаждения парогазовой смеси от начальной температуры до температуры десублимации ГФУ;
- скорость и массу ГФУ, выделяющегося из газового потока в твердую фазу, на единицу поверхности десублиматора;
- изменение тепло- и гидродинамических потоков внутри аппарата, происходящих за счет увеличения толщины слоя продукта на его стенках в процессе десублимации.

Расчет аппаратов, имеющих кольцевую форму или форму плоских пластин, является весьма сложным, поэтому рассмотрим математическую модель для определения оптимальных тепловых условий десублимации для кольцевых аппаратов.

1. Материальный расчет процесса десублимации ГФУ

Материальный расчет проводился на основе схемы потоков кольцевого десублиматора, поступающих и выходящих из него, с учетом десублимации гексафторида урана (рис. 1). Полученные данные в дальнейшем будут использованы при тепловом расчете процесса охлаждения парогазовой смеси, содержащей ГФУ.

Парогазовая смесь, выходящая из реактора фторирования оксидов урана, имеет сложный состав. Вместе с целевым продуктом реакции (ГФУ), в ней присутствуют избыток F_2 и HF , образующийся в результате взаимодействия фтора с неизбежно присутствующей в газовой фазе влагой (перед поступлением в реактор фторирования производится очистка исходного фтора от HF). Кроме того, в газовую смесь попадают примеси, присутствующие в оксидах урана, а также пары OF_2 и NOF . Ввиду невысокого содержания последних в парогазовой смеси, концентрациями HF , OF_2 и NOF можно пренебречь.

При заданной массовой производительности десублиматора по основному продукту и составу реакционных газов до десублимации определяют последовательно:

1) объемный расход ГФУ

$$V_{UF_6} = \frac{M_{UF_6}^{mac}}{\rho_{UF_6}},$$

где $M_{UF_6}^{mac}$ – массовый расход, кг/ч; ρ_{UF_6} – плотность паров при температуре поступающей парогазовой смеси, кг/м³; V_{UF_6} – объемный расход, м³/ч;

2) объемный расход каждой составляющей газовой смеси

$$V_i = \frac{V_{UF_6} M_i}{M_{UF_6}},$$

где V_i – объемный расход i -ой составляющей смеси, м³/ч;

3) массовый расход каждой составляющей газовой смеси

$$M_i^{mac} = V_i \cdot \rho_i,$$

где ρ_i – плотность i -ой составляющей смеси при заданных температуре T и давлении P , кг/м³ [3], определяемая как

$$\rho_i = \frac{M_i}{22,4} \cdot \frac{273 \cdot P}{T_z^{ex} \cdot P_0},$$

где M_i – молярная масса i -ой компоненты газа, кг/кмоль; P – парциальное давление компонентов в системе, Па; P_0 – общее давление смеси газов, Па; T_z^{ex} – температура i -ой составляющей компоненты газа, К.

Массовые расходы компонентов газовой смеси после десублиматора определяются из уравнения материального баланса

$$\sum M_{прис} = \sum M_{расх},$$

где $\sum M_{прис}$ и $\sum M_{расх}$ – массовые расходы веществ до и после десублимации, кг/ч, равные

$$\sum M_{прис} = M_{UF_6}^{mac} + M_{F_2}^{mac} + M_{O_2}^{mac};$$

$$\sum M_{расх} = (M_{F_2}^{mac}) + (M_{O_2}^{mac}) + M_{UF_6}^{mac}.$$

Суммарный массовый расход газовой смеси после десублиматора равен

$$\sum M_z^{mac} = (M_{F_2}^{mac}) + (M_{O_2}^{mac}) = \sum M_{прис} - M_{UF_6}.$$

Учитывая сложность и неоднозначность объяснения процесса десублимации ГФУ и поведения при этом примесей, принимаем следующие допущения:

- ГФУ десублимируется на 100 %;
- примеси, содержащиеся в ГФУ (F_2 и O_2), не претерпевают химических превращений и остаются в газовой фазе.

2. Тепловой и гидродинамический расчеты

При расчете охлаждения и десублимации ГФУ последовательно определяют для потоков, показанных на рис. 1:

- 1) интегральные физико-химические характеристики парогазовой смеси на входе и выходе десублиматора;
- 2) перенос теплоты для осесимметричной задачи.



Рис. 1. Схема потоков, поступающих в десублиматор и выходящих из него. L – длина кольцевой емкости десублиматора; D_1 , D_2 – диаметры внешнего и внутреннего кольца аппарата

Плотность парогазовой смеси $\rho_{см}$ можно найти из уравнения

$$\rho_{см} = x_{UF_6} \rho_{UF_6} + x_{O_2} \rho_{O_2} + x_{F_2} \rho_{F_2},$$

где x_i – массовые доли компонентов смеси, равные

$$x_{UF_6} = \frac{M_{UF_6}}{M_{см}}; \quad x_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{M_{см}}; \quad x_{F_2} = \frac{M_{F_2}}{M_{см}}. \quad (1)$$

Коэффициент динамической вязкости $\mu_{см}$, удельную массовую теплоемкость при постоянном давлении $c_{p,см}$ и коэффициент теплопроводности $\lambda_{см}$ парогазовой смеси рассчитываются по аналогичным уравнениям

$$\mu_{см} = x_{UF_6} \mu_{UF_6} + x_{O_2} \mu_{O_2} + x_{F_2} \mu_{F_2}; \quad (2)$$

$$c_{p,см} = x_{UF_6} c_{p,UF_6} + x_{O_2} c_{p,O_2} + x_{F_2} c_{p,F_2}; \quad (3)$$

$$\lambda_{см} = x_{UF_6} \lambda_{UF_6} + x_{O_2} \lambda_{O_2} + x_{F_2} \lambda_{F_2}. \quad (4)$$

Средняя скорость движения парогазовой смеси по сечению аппарата W , м/с определяется по формуле

$$W = \frac{Q}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения аппарата, м².

Основные критерии теплового и гидродинамического подобия (Рейнольдса Re , Прандтля Pr и Пекле Pe) равны [4, 5]:

$$Re = \frac{W \rho_{см} d_э}{\mu_{см}}; \quad Pr = \frac{c_{p,см} \mu_{см}}{\lambda_{см}}; \quad Pe = RePr.$$

где $d_э$ – эквивалентный диаметр кольцевого сечения аппарата, м.

Расчет физико-химических свойств парогазовой смеси на выходе из аппарата проводится аналогично по формулам (1)–(4).

Уравнение переноса теплоты для случая осесимметричного ламинарного течения имеет вид [6, 7]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + W \frac{\partial T}{\partial x} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right).$$

Запишем приближенно:

$$W = \text{const}, \quad \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T - T_0}{x}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T - T_0}{x^2}$$

и рассмотрим отношение:

$$\left(W \frac{\partial T}{\partial x} \right) / \left(a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \frac{Wx}{a} = \frac{W d_э}{a} \frac{v}{d_э} \frac{x}{d_э} = \text{RePr} \frac{x}{d_э} = \text{Pe} \frac{x}{d_э} \gg 1,$$

где $W \frac{\partial T}{\partial x}$ – конвективный перенос теплоты;

$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ – диффузионный перенос теплоты;

$a = \frac{\lambda_{см}}{c_{см} \rho_{см}}$ – коэффициент температуропроводности газовой смеси, м²/с.

Проведенная оценка показывает, что отношение конвективного переноса теплоты к переносу теплоты теплопроводностью $\gg 1$ во всей расчетной области. Поэтому переносом теплового потока вдоль продольной оси (x) путем теплопроводности по сравнению с переносом конвекцией можно пренебречь.

В итоге получилось приближенное уравнение пограничного слоя. Учитывая соотношение между значениями коэффициентов теплопроводности (λ) и теплоотдачи (α), а также геометрические размеры области течения парогазовой смеси в кольцевом десублиматоре, можно сделать допущение о том, что газовый поток охлаждается до постоянной температуры, равной температуре десублимации ГФУ, а весь поток тепла, выделяющийся в процессе десублимации, отводится через боковые поверхности (рис. 2). Приняты следующие обозначения: T_0 , T_1 , T_s , T_w – температуры парогазовой смеси на входе в охлаждаемую зону десублиматора, фронта десублимации, поверхности десублимации и холодной стенки десублиматора; q_1 , q_2 – тепловые потоки, отводимые от газового потока к поверхности десублимации и через слой десублиматора к стенке аппарата.

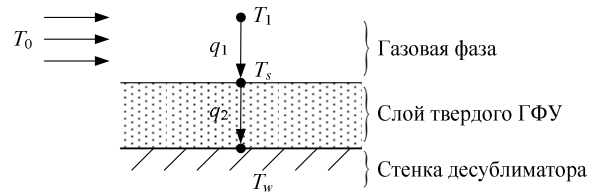


Рис. 2. Схема процесса охлаждения и десублимации ГФУ из парогазовой смеси

Для оценки длины начального неустановившегося участка течения парогазовой смеси l_i можно воспользоваться формулой [6–8]:

$$\frac{l_i}{d_э} = 0,055 \text{ Re}.$$

Тепловой баланс в системе опишем уравнением

$$dQ = dm \Delta H = \alpha dT dF d\tau,$$

где ΔH – теплота десублимации ГФУ, кДж/моль; dF – площадь элементарной ячейки (поверхности) десублимации, м², равная

$$dF = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) dx,$$

где D_1 , D_2 – диаметры внешнего и внутреннего кольца цилиндрического аппарата, рис. 1, м; dx – длина элементарной ячейки, м.

Потеря массы ГФУ при десублимации можно определить по формуле

$$dm = dV \rho_{мс} = dF d\delta \rho_{мс},$$

где $d\delta$ – изменение толщины слоя ГФУ на охлаждаемой поверхности десублиматора за время $d\tau$, м; dV – объем выделившегося в твердую фазу ГФУ, м³, равный

$$dV = dF d\delta.$$

Отсюда:

$$\Delta H d\delta \rho_{me} dF = \alpha dT dF d\tau,$$

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{\alpha dT dF}{\Delta H} = \dot{m},$$

$$\frac{\dot{m}}{\rho_{me}} = \dot{V} = dF \beta = \frac{\alpha dT dF}{\Delta H \rho_{me}}.$$

где $\dot{m}$ – скорость выделения массы, кг/с; $\dot{V}$ – скорость выделения объема ГФУ, м³/с.

Тогда

$$\beta = \frac{d\delta}{dT} = \frac{\alpha dT}{\Delta H \rho_{me}}, \quad (5)$$

где β – коэффициент массопередачи от газа к холодной поверхности, м/с [4–6].

Проинтегрировав ур. (5) по температуре, можно получить уравнение для массопередачи от газа к поверхности десублимации:

$$\beta = \frac{\alpha(T_1 - T_s)}{\Delta H \rho_{me}}.$$

Из закона Ньютона для теплоотдачи можно выразить тепловой поток, передаваемый газом поверхности десублимации:

$$q_1 = \alpha(T_s - T_1),$$

а из закона Фурье для теплопередачи – тепловой поток, передаваемый через слой твердого ГФУ стенке аппарата:

$$q_2 = -\lambda_{me} \frac{T_s - T_w}{\delta} = -\frac{\lambda_{me}}{\delta} (T_s - T_w).$$

На основании вышесказанного принимаем $q_1 = q_2$, тогда

$$\alpha(T_s - T_1) = -\frac{\lambda_{me}}{\delta} (T_s - T_w). \quad (6)$$

Выразив из ур. (6) температуру поверхности десублимации, имеем:

$$T_s = \left(\alpha + \frac{\lambda_{me}}{\delta} \right) = \alpha T_1 + \frac{\lambda_{me}}{\delta} T_w.$$

Тогда

$$T_s = \frac{\alpha T_1 + \frac{\lambda_{me}}{\delta} T_w}{\alpha + \frac{\lambda_{me}}{\delta}} = \frac{T_w}{1 + \frac{\alpha \delta}{\lambda_{me}}} + \frac{\frac{\alpha \delta}{\lambda_{me}} T_1}{1 + \frac{\alpha \delta}{\lambda_{me}}}. \quad (7)$$

Так как критерий Нуссельта равен [4–6]

$$\text{Nu}_{me} = \frac{\alpha \delta}{\lambda_{me}}, \quad (8)$$

то, подставив ур. (8) в выражение (7), можно получить:

$$T_s = \frac{T_w}{1 + \text{Nu}_{me}} + \frac{\text{Nu}_{me} T_1}{1 + \text{Nu}_{me}}.$$

Расчет гидродинамического режима в рабочем объеме аппарата проводили на основе системы пол-

ных стационарных осесимметричных осредненных дифференциальных уравнений Навье-Стокса эллиптического типа [6, 7, 9], записанных в переменных завихренности Ω , функции тока Ψ . Ур. (9), (10) записаны в цилиндрической системе координат, где r – радиальная и z – аксиальная координаты:

$$u_r \frac{\partial \Psi}{\partial r} + u_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} = \frac{1}{\text{Re } r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r v_r \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(r v_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) \right] + F_j, \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = \Omega r^2 + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r}, \quad (10)$$

$$\text{где } \Omega = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial r} \right], \quad u_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial z}, \quad u_z = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r}.$$

Левая часть ур. (9) описывает конвективный перенос субстанции (газообразного ГФУ) за счет скорости среды (парогазовой смеси). Первый член правой части ур. (9) описывает диффузионный перенос субстанции за счет вязкости ν среды по координатам r и z . Член F_j описывает аддитивные источникные составляющие, обусловленные изменением объемного расхода среды по сечению в результате убыли массы ГФУ из парогазовой смеси в процессе его десублимации. Уравнение Пуассона (10) для определения функции тока Ψ получено из уравнения неразрывности [6, 7].

Используя вышеприведенные уравнения нами разработана программа расчета процессов охлаждения и десублимации гексафторида урана из парогазовой смеси.

3. Численная реализация математической модели

Численная реализация математической модели производится в следующем порядке:

- 1) задаются исходными данными: начальной геометрией расчетной области (D_1 , D_2 , L); физическими свойствами и расходными параметрами каждого из компонентов исходной парогазовой смеси ($\rho, \mu, \lambda, c_p, dm$)_{UF₆, O₂, F₂}, кристаллического ГФУ (ρ_{me} , λ_{me} , ΔH); граничными условиями по скорости и температуре (Q_0 , T_0 , T_w), времени технологического процесса ($\tau_{кон}$);
- 2) организуется глобальный расчетный цикл по времени с заданным шагом δ и находятся соответствующие этому интервалу значения массового расхода dm_{UF_6} [10];
- 3) организуется внутренний расчетный цикл по условию ($x \leq L$ и $dm_{UF_6} > 0$), где x – текущая координата по расчетной области, изменяющаяся в пределах $0 \leq x \leq L$; L – длина охлаждаемой части десублиматора [10].

Внутри этого цикла вычисляются физико-химические характеристики газовой смеси, критерии подобия для процесса течения смеси Re , Pr , Nu и определяется коэффициент теплоотдачи α .

Учитывая, что на начальном участке охлаждения парогазовой смеси процесс протекает в нестационарном режиме, расчет десублимирующей массы ГФУ находится с учетом пропорции:

$$K = \frac{T_0 - T_i}{T_0 - T^*},$$

где T_i – текущая температура, К; T^* – температура десублимации, К.

Поправка K учитывается до момента времени, пока $T_i > T^*$, в дальнейшем предполагается, что $K=1$ и температура газовой смеси остается постоянной и равной T^* , пока $dm_{UF_6} > 0$.

На основании найденных параметров вычисляется коэффициент массопередачи β с учетом K . По значениям W и $d\tau$ раскладывается выделившийся материал ГФУ по боковой поверхности расчетной зоны и на эту величину уменьшается dm_{UF_6} , а также увеличивается x .

Внутренний цикл программы продолжает расчет с учетом нарастания слоя ГФУ и изменения температуры на поверхности этого слоя T_s (рис. 2);

4) после окончания внешнего цикла строятся графики функции $\delta=f(x)$.

В качестве примера на рис. 3, 4 приведены графики изменения температуры парогазовой смеси в зависимости от поперечной (y) и продольной (x) координат в кольцевом пространстве десублиматора в начальной нестационарной области охлаждения для случая подачи в десублиматор исходной смеси с массовой скоростью $M_{UF_6}^{нач}$. Из графиков видно, что длина нестационарной зоны охлаждения парогазовой смеси до температуры десублимации ГФУ вдоль оси аппарата не превышает $0,1L$.

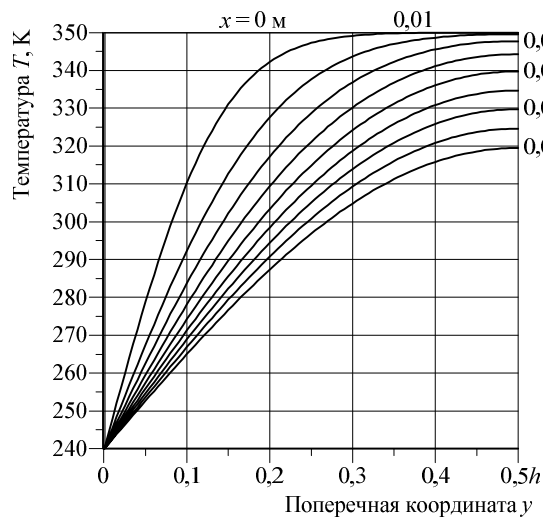


Рис. 3. Зависимость температуры парогазовой смеси от поперечной координаты при различных значениях x

Из-за малой скорости газа ($w=0,06$ м/с) и ламинарного режима течения парогазовой смеси в кольцевом сечении десублиматора ($Re=20$) не происходит перемешивания газов в поперечном направлении (вдоль оси y). Поэтому в поперечном напри-

влении теплоперенос в газовом потоке происходит только за счет теплопроводности.

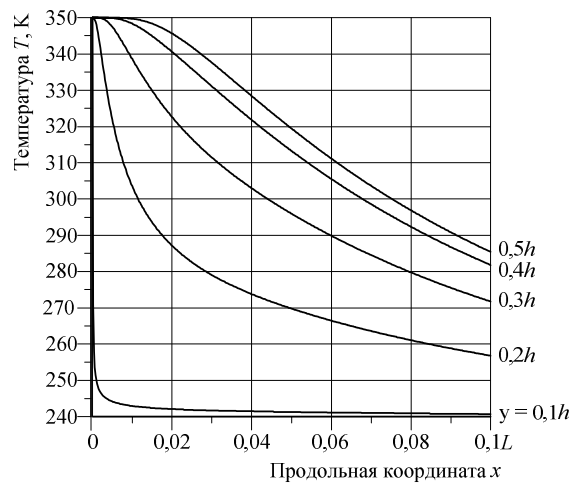


Рис. 4. Зависимость температуры парогазовой смеси от продольной координаты при различных значениях y

Длина зоны аппарата, в которой десублимируется весь ГФУ при температуре стенки десублиматора 243 К и загрузке десублиматора до $0,5G_{max}$ по ГФУ, составляет $0,5L$ при отсутствии области нестационарного охлаждения парогазовой смеси (рис. 5) и $0,8L$ – при ее присутствии (рис. 6), а общая длина десублимационной части аппарата составляет L . При этом толщина слоя ГФУ на обеих стенках кольцевой полости составила $0,5h$ и $0,4h$ соответственно.

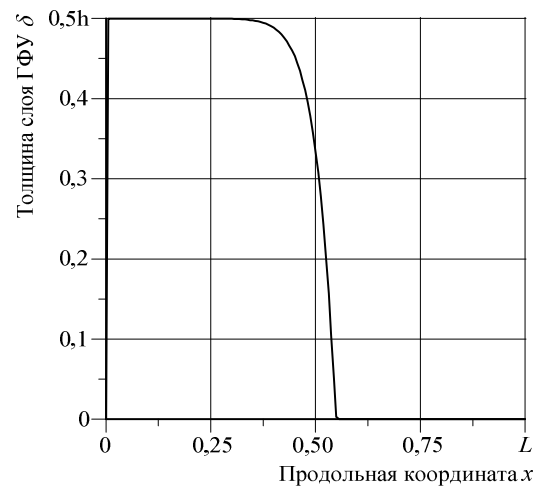


Рис. 5. Зависимость толщины слоя десублимированного ГФУ от продольной координаты при отсутствии области нестационарного охлаждения парогазовой смеси при температуре стенки аппарата 243 К

Графики зон десублиматора, в которых десублимируется весь ГФУ при температуре стенки аппарата 243, 253, 263 и 273 К в присутствии области нестационарного охлаждения парогазовой смеси приведены на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что длина зоны аппарата, в которой десублимируется весь ГФУ при загрузке десублиматора до $0,5G_{max}$ по ГФУ в присутствии обла-

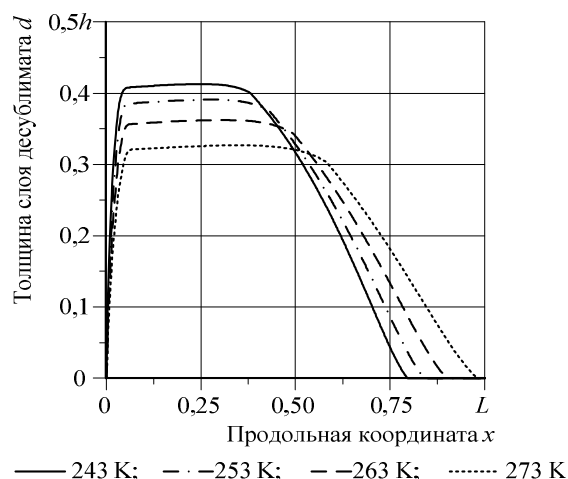


Рис. 6. Зависимость толщины слоя десублимированного ГФУ от продольной координаты при наличии области нестационарного охлаждения парогазовой смеси при различных температурах стенки аппарата

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарчук В.В., Буйновский А.С., Смолкин П.А., Софроньев В.Л., Брендаков В.Н. Математическая модель процесса десублимации легколетучих фторидов металлов. // Современные неорганические фториды: Сб. трудов II Межд. Сибирского семинара ISIF-2006 по химии и технологии современных неорганических фторидов – INTER SIBFLUORINE-2006. – Томск, 2006. – 385 с. – С. 140–145. ISBN 5-901688-08-2.
2. Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.
3. Галкин Н.П., Майоров А.А., Верятин У.Д. и др. Химия и технология фтористых соединений урана. – М.: Лит-ра в области атомной науки и техники, 1961. – 348 с.
4. Перри Д. Справочник инженера-химика. Т. 1. – Л.: Химия, 1969. – 640 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
6. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987. – 492 с.
7. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1959. – 699 с.
8. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
9. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
10. Самарский А.А. Разностные схемы с операторными множителями. – Минск: Инст. матем. моделирования РАН, Инст. математики НАН Беларуси, 1998. – 442 с.

Поступила 28.11.2006 г.

сти нестационарного охлаждения, при температурах стенки десублиматора 253, 263 и 273 К, составляет 0,83L, 0,88L и 0,98L, соответственно, при общей длине десублимационной части аппарата L. При таких температурах десублимации толщина слоя ГФУ на обеих стенках кольцевой полости равна 0,77h, 0,70h и 0,65h соответственно при ширине кольцевого зазора h.

Выводы

Разработана математическая модель процесса охлаждения и десублимации ГФУ из парогазовой смеси, поступающей в десублиматор из реактора фторирования, которая позволяет качественно и количественно определить влияние массо- и теплообмена, гидродинамических характеристик на рассмотренные процессы, тем самым оптимизировать технологические параметры процесса и создать систему автоматического регулирования процессом десублимации.