

Ep.6.7  
418

TALLINNA POLÜTEHNILISE  
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 418

СБОРНИК СТАТЕЙ  
ПО ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ

XLIV

(Процессы и аппараты химической технологии  
и технология неорганических веществ VIII)

ТАЛЛИН 1977



Сборник статей по

**ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

XLIV

(Процессы и аппараты химической технологии  
и технология неорганических веществ VIII)

© ТПИ, Таллин, 1977.

Таллинский политехнический институт.

Труды ТПИ № 418.

СБОРНИК СТАТЕЙ ПО ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ XLV  
(Процессы и аппараты химической технологии и технология  
неорганических веществ УЩ).

Редактор Э. Сийрде.

Технический редактор Л. Лоопер.

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 5 марта 1977 г.

Подписано к печати 11 мая 1977 г.

Бумага 60x90/16.

Печ. л. 3,25 + 0,25 приложение.

Уч.-изд. л. 2,5.

Тираж 300.

МВ-00680.

Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 3/9.

Зак. № 577.

Цена 38 коп.

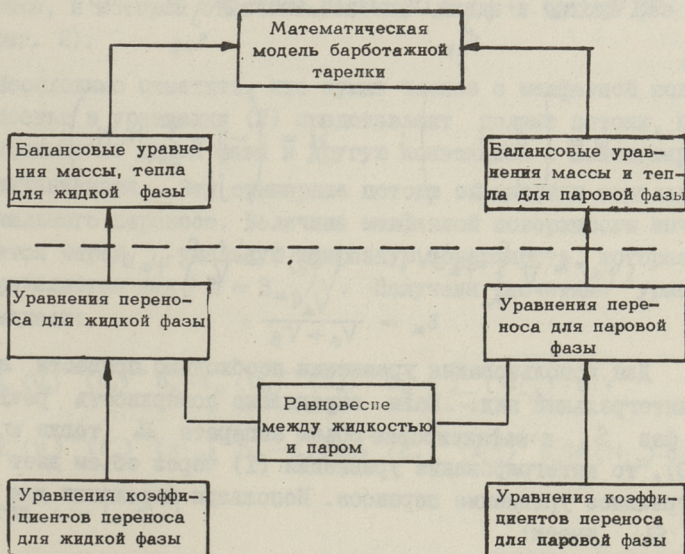


УДК 66.048.6015.22/23/24

Р.Л.Рейле, В.И.Каллас,  
Э.К. Сийрде

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСТИЛЛЯЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ИНЕРТНОГО КОМПОНЕНТА

Дистиляция в присутствии инертного компонента, в частности, перегонка с водяным паром, во многих случаях организуется в виде барботажного процесса. Для изучения перегонки составлена математическая модель одной барботажной тарелки. Рассматривается двухфазная дистиляция многокомпонентной смеси, в которой все компоненты взаимно полностью растворимы. Моделируется стационарный процесс.



Фиг. 1. Структура математической модели барботажной тарелки.

Составление модели требует совместного решения вопросов, связанных с явлениями переноса тепла и сассы в обеих фазах. Это проиллюстрировано на фигуре I. Для математического описания процессов в барботажном слое использованы уравнения переноса для двухфазной системы. При этом жидкая фаза является  $n$  компонентной и паровая фаза  $n + 1$  компонентной. Эту часть математической модели тарелки представляет верхняя половина фиг. I, изображая контактирование двух фаз. Нижняя часть фиг. I иллюстрирует определение межфазных потоков тепла и массы. Соответствующая модель для случая двухкомпонентной жидкости была представлена ранее [1].

Уравнение переноса для многокомпонентной системы представлено С. Уитакером [2] и Г. Грей [3]. Пренебрегая производными по времени, флуктуациями при усреднении параметров, членом внутрифазного переноса и химической реакцией, имеем исходное уравнение для двухфазного стационарного барботажного процесса

$$\nabla(\langle v_\alpha \rangle \langle \psi_\alpha \rangle^\alpha) + \frac{1}{V} \int_{S_{\alpha\beta}} \psi_\alpha (v_\alpha - w_\alpha) n_\alpha dS = \frac{1}{V} \int_{S_{\alpha\beta}} \Omega_\alpha n_\alpha dS, \quad (I)$$

где

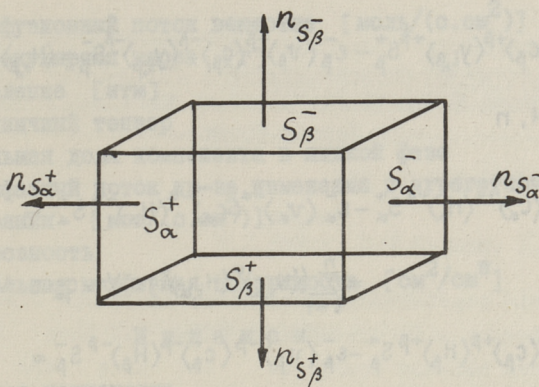
$$\psi = \begin{pmatrix} c \cdot H \\ x_{i \cdot} c \end{pmatrix}; \quad \Omega = \begin{pmatrix} -q - \sum_{i=1}^n H_i N_i \\ -j_i \end{pmatrix}$$

$$\langle \psi_\alpha \rangle = \frac{1}{V} \int_{V_\alpha} \psi_\alpha dV; \quad \langle \psi_\alpha \rangle^\alpha = \frac{1}{V_\alpha} \int_{V_\alpha} \psi_\alpha dV$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{V_\alpha}{V_\alpha + V_\beta}.$$

Для использования уравнения необходимо привести его в интегральный вид. Если определена поверхность раздела фаз  $S_{\alpha\beta}$  и зафиксирован объем аппарата  $V$  (тогда  $w_\alpha = 0$ ), то интегрирование уравнения (I) через объем дает интегральное уравнение переноса. Используя выражения для  $\psi$  и  $\Omega$ , имеем:

$$\begin{pmatrix} \langle v_\alpha \rangle \langle c_\alpha \rangle^\alpha \langle H_\alpha \rangle^\alpha \\ \langle v_\alpha \rangle \langle x_{\alpha,i} \rangle^\alpha \langle c_\alpha \rangle^\alpha \end{pmatrix} n_\alpha S_\alpha + \begin{pmatrix} \langle H_\alpha \rangle^\alpha \langle m_\alpha \rangle^\alpha \\ \langle x_{\alpha,i} \rangle^\alpha \langle m_\alpha \rangle^\alpha \end{pmatrix} n_\alpha S_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} \langle q_\alpha \rangle^\alpha \\ \langle j_{\alpha,i} \rangle^\alpha \end{pmatrix} n_\alpha S_{\alpha\beta}. \quad (2)$$



Фиг. 2. Схема барботажного слоя.

Балансовые уравнения переноса тепла и массы составлены для обеих фаз.

Барботажная тарелка рассматривается аппаратом идеального смешения, имеющим объем  $V$ . Для составления балансовых уравнений барботажный слой представлен в виде прямоугольника, в котором отмечены сечения входа и выхода фаз (см. фиг. 2).

Необходимо отметить, что сумма членов с межфазной поверхностью в уравнении (2) представляет полные потоки, переносимые из одной фазы в другую конвекцией и молекулярными механизмами. Эти суммарные потоки определены моделью локального переноса. Величина межфазной поверхности вычисляется через удельную межфазную поверхность, которая определяется как  $a = S_{\alpha\beta}/V$ . Получены расчетные уравнения модели:

$$\varepsilon_{\alpha}^{+} \langle v_{\alpha} \rangle^{+\alpha} \langle c_{\alpha} \rangle^{+\alpha} S_{\alpha}^{+} - \varepsilon_{\alpha}^{-} \langle v_{\alpha} \rangle^{-\alpha} \langle c_{\alpha} \rangle^{-\alpha} S_{\alpha}^{-} = \sum_{i=1}^n \langle N_{i,\alpha} \rangle^{\alpha} \cdot a \cdot V \quad (3)$$

$$\varepsilon_{\alpha}^{+} \langle v_{\alpha} \rangle^{+\alpha} \langle c_{\alpha} \rangle^{+\alpha} \langle x_{i,\alpha} \rangle^{+\alpha} S_{\alpha}^{+} - \varepsilon_{\alpha}^{-} \langle v_{\alpha} \rangle^{-\alpha} \langle c_{\alpha} \rangle^{-\alpha} \langle x_{i,\alpha} \rangle^{-\alpha} S_{\alpha}^{-} = \langle N_{i,\alpha} \rangle^{\alpha} \cdot a \cdot V, \quad (4)$$

где  $i = 1, n-1$

$$\varepsilon_{\beta}^{+} \langle v_{\beta} \rangle^{+\beta} \langle c_{\beta} \rangle^{+\beta} S_{\beta}^{+} - \varepsilon_{\beta}^{-} \langle v_{\beta} \rangle^{-\beta} \langle c_{\beta} \rangle^{-\beta} S_{\beta}^{-} = \sum_{i=1}^n \langle N_{i,\beta} \rangle^{\beta} \cdot a \cdot V \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\beta}^{+} \langle v_{\beta} \rangle^{+\beta} \langle c_{\beta} \rangle^{+\beta} \langle y_{i,\beta} \rangle^{+\beta} S_{\beta}^{+} - \varepsilon_{\beta}^{-} \langle v_{\beta} \rangle^{-\beta} \langle c_{\beta} \rangle^{-\beta} \langle y_{i,\beta} \rangle^{-\beta} S_{\beta}^{-} = \langle N_{i,\beta} \rangle^{\beta} \cdot a \cdot V, \quad (6)$$

где  $i = 1, n$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\alpha}^{+} \langle v_{\alpha} \rangle^{+\alpha} \langle c_{\alpha} \rangle^{+\alpha} \langle H_{\alpha} \rangle^{+\alpha} S_{\alpha}^{+} - \varepsilon_{\alpha}^{-} \langle v_{\alpha} \rangle^{-\alpha} \langle c_{\alpha} \rangle^{-\alpha} \langle H_{\alpha} \rangle^{-\alpha} S_{\alpha}^{-} = \\ = \sum_{i=1}^n (\langle N_{i,\alpha} \rangle^{\alpha} \langle H_{i,\alpha} \rangle^{\alpha}) a \cdot V + q_{\alpha} \cdot a \cdot V \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\beta}^{+} \langle v_{\beta} \rangle^{+\beta} \langle c_{\beta} \rangle^{+\beta} \langle H_{\beta} \rangle^{+\beta} S_{\beta}^{+} - \varepsilon_{\beta}^{-} \langle v_{\beta} \rangle^{-\beta} \langle c_{\beta} \rangle^{-\beta} \langle H_{\beta} \rangle^{-\beta} S_{\beta}^{-} = \\ = \sum_{i=1}^n (\langle N_{i,\beta} \rangle^{\beta} \langle H_{i,\beta} \rangle^{\beta}) a \cdot V + q_{\beta} \cdot a \cdot V \end{aligned} \quad (8)$$

Модель составлена для ситчатой тарелки с переливом. Потеря напора определена через высоту барботажного слоя  $h_{\beta}$ .

$$(P^{+} - P^{-}) = \langle c_{\alpha} \rangle^{-\alpha} \langle M_{\alpha} \rangle^{-\alpha} g \cdot h_{\beta} \cdot \varepsilon_{\alpha}. \quad (9)$$

Дополнительно используются уравнения состояния и зависимости энтальпии смесей от состава, температуры и давления.

Параметрами модели являются средние скорости, температуры и составы обеих фаз. Совместно решение данной модели с моделью межфазных потоков позволяет вычислять изменения в количествах, составах и температурах жидкой и паровой фаз, которые имеют место при прохождении барботажной тарелки.

#### Обозначения

- $c$  — мольная концентрация [моль/см<sup>3</sup>]
- $v$  — скорость [см/с]
- $\rho$  — плотность [г/см<sup>3</sup>]
- $w$  — скорость произвольной поверхности фазы [см/с]
- $V$  — объем [см<sup>3</sup>]
- $S$  — площадь [см<sup>2</sup>]
- $n$  — вектор нормали
- $H$  — энтальпия [кал/моль]
- $\tau$  — поток количества движения [г/(с.см)]
- $q$  — поток тепла [кал/(с.см<sup>2</sup>)]
- $N$  — общий поток вещества [моль/(с.см<sup>2</sup>)]



- $j$  - диффузионный поток вещества [ $\text{моль}/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$ ]
- $M$  - молекулярная масса [г]
- $P$  - давление [атм]
- $E$  - единичный тензор
- $x$  - мольная доля компонента в жидкой фазе
- $m$  - межфазный поток из-за изменения в агрегатном состоянии [ $\text{мол}/(\text{с}\cdot\text{см}^2)$ ]
- $\varepsilon$  - порозность
- $a$  - удельная межфазная поверхность [ $\text{см}^2/\text{см}^3$ ]

### И н д е к с ы

- $i$  - номер компонента
- $\alpha$  - жидкая фаза
- $\beta$  - паровая фаза
- $+$  - входящие параметры
- $-$  - выходящие параметры

### Л и т е р а т у р а

1. Р е й л е Р.Л., К а л л а с Ю.И., С и й р д е Э.К. Математическая модель локальных потоков при дистилляции в присутствии инертного компонента. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1976, № 397, с. 45-50.

2. W h i t a k e r S. The transport equations for multi-phase systems "Chemical Engineering Science", 1973, v. 28, pp. 139-147.

3. G r a y W.G. A derivation of the equations for multiphase transport, "Chemical Engineering Science", 1975, v. 30, pp. 229-233.

Mathematical Model of Distillation with Inert Component  
in Vapour Phase

Summary

In this paper a mathematical model of the sieve plate for distillation with superheated steam has been derived. The two phase balance equations for mass and heat transfer have been given. The relation between the model of the sieve plate and that of local fluxes has been pointed out.

УДК 66.048.6015.22/23/24

Р.Л.Рейле, Д.И.Каллас, Э.К.Сийрде

МАШИННЫЙ РАСЧЕТ ДИСТИЛЛЯЦИИ  
 С ПЕРЕГРЕТЫМ ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Составление расчетной программы дистилляционного аппарата требует организации совместного решения двух систем уравнений. Ими являются уравнения баланса тарелки и уравнения, определяющие межфазные потоки массы и тепла.

Математическая модель барботажной тарелки представлена в виде двухфазных балансов для аппарата идеального смешения [1]. Модель межфазных потоков при дистилляции в присутствии инертного компонента составлена для двухкомпонентной жидкости [2].

Используя имеющиеся модели, проведен расчет процесса дистилляции с перегретым водяным паром.

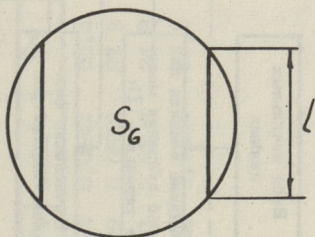
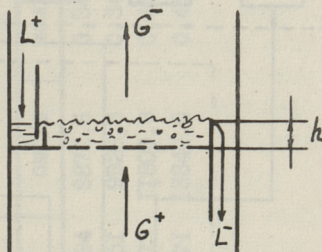
Параметрами математической модели тарелки являются усредненные в объеме своей фазы скорости

$(\langle v_L \rangle^L; \langle v_G \rangle^G)$ , температу-

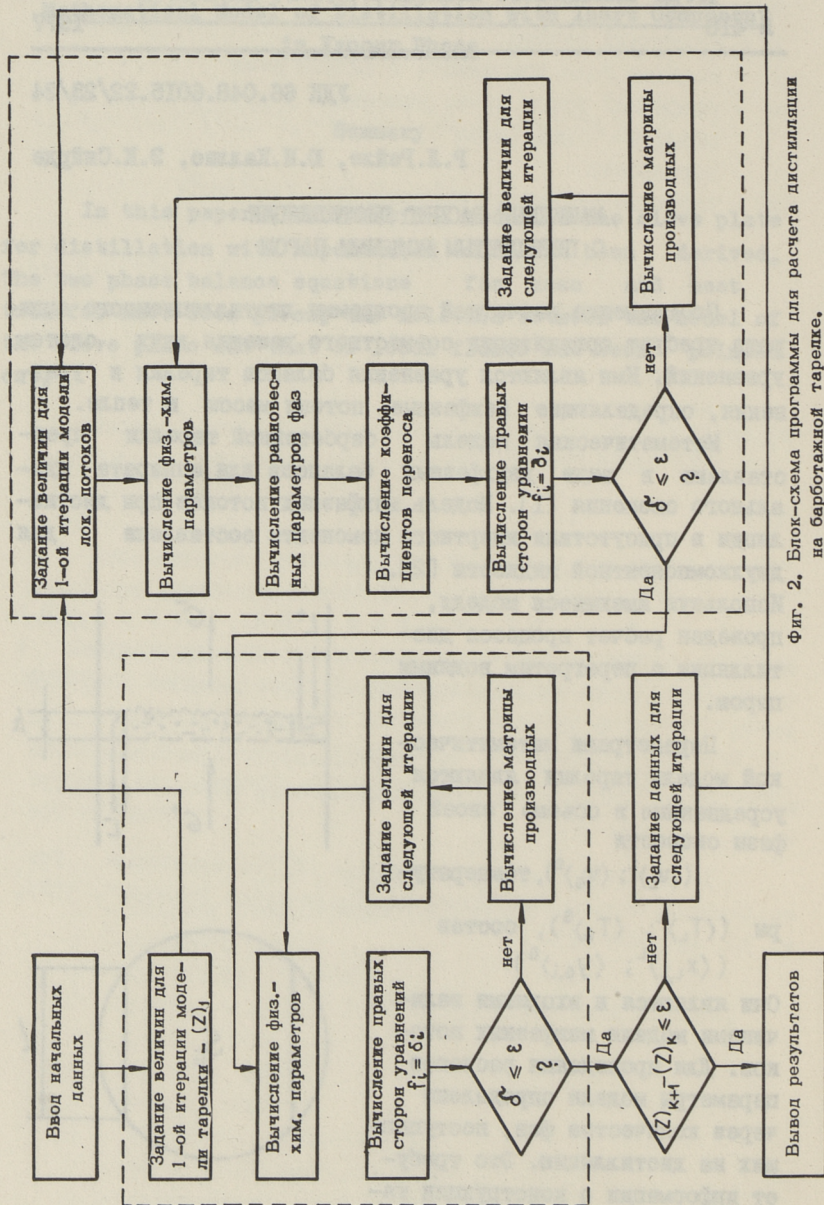
ры  $(\langle T_L \rangle^L; \langle T_G \rangle^G)$ , состав

$(\langle x_{L,i} \rangle^L; \langle y_{G,i} \rangle^G)$ .

Они являются и входными величинами модели межфазных потоков. Для проведения расчетов параметры модели определены через количества фаз, поступающих на дистилляцию. Это требует информации о конструкции тарелки. Модель составлена для



Фиг. 1. Схема ситчатой тарелки.



Фиг. 2. Блок-схема программы для расчета дистилляции на барботажной тарелке.

## Результаты расчета дистилляции

Заданные величины										
	$L^+$	$t_L^+$	$x_1^+$	$G^+$	$t_G^+$	$y_1^+$	$y_2^+$	$Q$		
№	см <sup>3</sup> /с	моляр/с	°С	см <sup>3</sup> /с	моляр/с	°С	—	кал/с		
1.	10,0	0,0833	85,0	0,6000	10000,0	0,3168	150,0	0,000	0,000	194,4
2.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	216,0
3.	"	"	"	"	12000,0	0,3800	"	"	"	"
4.	"	"	"	"	14000,0	0,4435	"	"	"	281,0

## Рассчитанные величины

Рассчитанные величины										
	$L^-$	$t_L^-$	$x_1^-$	$G^-$	$t_G^-$	$y_1^-$	$y_2^-$	$L^+ - L^-$		
№	см <sup>3</sup> /с	моляр/с	°С	см <sup>3</sup> /с	моляр/с	°С	—	—	—	—
1.	6,63	0,0547	85,3	0,5194	9872,6	0,3454	109,7	0,0623	0,0202	0,0286
2.	6,47	0,0533	87,9	0,5151	9926,3	0,3468	110,2	0,0649	0,0215	0,0300
3.	6,15	0,0507	84,8	0,5073	11800,9	0,4126	109,7	0,0587	0,0201	0,0326
4.	5,33	0,0438	87,2	0,4871	13840,0	0,4830	110,6	0,0593	0,0224	0,0395

ситчатой тарелки, схема которой приведена на фиг. 1.

Средние скорости фаз определены из соотношений:

$$\langle v_L \rangle^{+L} = \frac{L^+}{S_L^+ \cdot \varepsilon_L^+}, \quad (1)$$

$$\langle v_G \rangle^{+G} = \frac{G^+}{S_G^+ \cdot \varepsilon_G^+}, \quad (2)$$

где  $S_L^+ = l \cdot h$ , а  $S_G^+$  является рабочей площадью тарелки. Начальная порозность считается одинаковой на входе обеих фаз и вычисляется по данным литературы [3]. Выходные количества фаз определяются при помощи аналогичных соотношений.

Расчетная программа барботажной тарелки составлена на языке ФОРТРАН для ЭВМ "Минск-32". Блок-схема приведена на фиг. 2. Программа предназначена для расчета стационарного процесса дистилляции двухкомпонентной смеси с перегретым водяным паром. Был проведен расчет дистилляции смеси толуол-о-ксилол при изменении входного количества пара и величины дополнительно подведенного тепла. Результаты расчета представлены в таблице I. Предполагалось, что в жидкость поступает перегретый пар. Высота барботажного слоя была принята равной 6 см. Количества фаз, поступающих на тарелку, выбраны для лабораторной установки.

Анализ результатов позволяет оценить составленную модель путем сравнения расчетных данных при изменении величин входных параметров. По данным таблицы I видно, что изменение соотношения входных количеств фаз в сторону увеличения подачи пара приводит к росту межфазного переноса. Для сохранения температуры дистилляции необходимо увеличить количество дополнительно подводимого тепла.

Составленная модель является этапом при изучении дистилляции многокомпонентных смесей с водяным паром. Она представляет практический интерес при выборе режима работы барботажной тарелки.

#### О б о з н а ч е н и я

$v$  - скорость [см/с]

- $T$  - температура [ $^{\circ}\text{K}$ ]  
 $t$  - температура [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $\left. \begin{matrix} l \\ h \end{matrix} \right\}$  - характерные размеры тарелки [см]  
 $L$  - количество жидкости [ $\text{cm}^3/\text{c}$ ]  
 $G$  - количество пара [ $\text{cm}^3/\text{c}$ ]  
 $S$  - площадь [ $\text{cm}^2$ ]  
 $Q$  - количество тепла, дополнительно подводимого на тарелку [кал/с]  
 $x$  - мольная доля компонента в жидкой фазе  
 $y$  - мольная доля компонента в паровой фазе  
 $\varepsilon$  - порозность

### И н д е к с ы

- $+$  - входящие  
 $-$  - выходящие  
 $i$  - номер компонента  
 $L$  - жидкая фаза  
 $G$  - паровая фаза

### Л и т е р а т у р а

1. Рейле Р.Л., Каллас Ю.И., Сийрде Э.К. Математическая модель дистилляции в присутствии инертного компонента. - См. наст. сб., с. 3.

2. Рейле Р.Л., Каллас Ю.И., Сийрде Э.К. Математическая модель локальных потоков при дистилляции в присутствии инертного компонента. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1976, № 397, с. 45-50.

Computation of Distillation with Superheated Vapour

Summary

The construction of a program for computation of distillation of two component liquid with superheated steam on sieve plate has been described in this paper. The program is written in FORTRAN. The block diagram and the results of computation for certain conditions of distillation have been given.



УДК 51:66.015./22./23./24

Ю.И. Каллас

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАЗНЫХ  
 ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В работе [1] были представлены многофазные дифференциально-интегральные балансовые уравнения. В работе [2] введены некоторые понятия, связанные с моделированием многофазных и многоаппаратных химико-технологических систем (ХТС). Ниже описание многофазных систем дополняется с целью упрощения перехода к балансовым уравнениям интегрального вида.

Допустим, что задана ХТС, для которой известно её дерево  $A$  [2]. В работе [2] были также введены два вида графов: неориентированный граф фаз в аппаратах  $G(C_i)$ ,  $i = 1 \dots |B|$  и граф ХТС  $G(C)$ . Последний был частично ориентированным, т.е. в пределах одного аппарата между вершинами (фазами) — ребра, а между вершинами разных аппаратов — дуги. Ниже введен еще один граф:

$$G'(C) = C \cup_{G(C) \in B} G(C_i),$$

т.е. дополнение объединения всех графов  $G(C_i)$ ,  $i = 1 \dots |B|$  до  $G(C)$ , причем  $G(C) \cap G'(C) = G'(C)$   $G'(C) \cap (\cup_{i \in B} G(C_i)) = C$ ,

где  $C$  — множество фаз в ХТС.

Смежность некоторой вершины  $i_j$  графа  $G(C)$  (или его подграфов) выразим в виде  $\gamma = (i_k; i_l)$ . Множество всех вершин, смежных вершине  $i_j \in G(C)$ , будем обозначать  $\gamma(G(C(i_j))) \equiv \gamma_{i_j}$ , а для графов  $G'(C)$  и  $G(C_i)$  — соответственно  $\gamma'_{i_j}$  и  $\gamma^i_{i_j}$ .

Каждая фаза ( $\forall i_j \in C_i \subset C$ ) имеет поверхность  $S$  и объем  $V$ . Обозначим объем фазы  $i_j$  через  $V_{i_j}$  и будем считать, что  $V_{i_j}$  состоит из объема середины фазы  $\bar{V}_{i_j}$  и объемов на поверхностях раздела фаз  $V'_{i_j}$  (по  $\gamma'_{i_j}$ ) и  $V^i_{i_j}$  (по  $\gamma^i_{i_j}$ ):

$$V_{ij} \equiv \bar{V}_{ij} \cup V'_{ij} \cup V^i_{ij}, \quad \text{причем } \bar{V}_{ij} \cap V'_{ij} \cap V^i_{ij} = \emptyset.$$

Поверхность фазы  $S_{ij}$  - это поверхность раздела фазы  $ij$  по  $\gamma_{ij}$  (или по  $\gamma'_{ij} \cup \gamma^i_{ij}$ ):

$$S_{ij} \equiv S'_{ij} \cup S^i_{ij}, \quad S'_{ij} \cap S^i_{ij} = \emptyset.$$

Множество  $S'_{ij}$  в свою очередь целесообразно разбить на непересекающиеся подмножества

$$S'_{ij} \equiv S^+_{ij} \cup S^-_{ij}, \quad S^+_{ij} \cap S^-_{ij} = \emptyset,$$

$S^+_{ij}$  определено дугами, входящими в вершину  $ij$  по  $G'(C)$  (обозначаем их  $\gamma^+_{ij}$ ), и  $S^-_{ij}$  - дугами, выходящими из вершины  $ij$  по  $G'(C)$  (обозначаем их  $\gamma^-_{ij}$ ). Учитывая это, можем поверхность фазы  $ij$  выразить как

$$S_{ij} = S^i_{ij} \cup S^+_{ij} \cup S^-_{ij}.$$

Объем аппарата определяется выражением

$$V_i \equiv \cup_{ij \in C_i} V_{ij} = \cup_{ij \in C_i} (\bar{V}_{ij} \cup V'_{ij} \cup V^i_{ij}),$$

причем

$$V'_{ij} \equiv V^+_{ij} \cup V^-_{ij}, \quad V^+_{ij} \cap V^-_{ij} = \emptyset.$$

Но поверхность аппарата, имеющая объем  $V_i$ , не содержит поверхности  $\cup_{ij \in C_i} S^i_{ij}$ :

$$S_i \equiv \cup_{ij \in C_i} S'_{ij} = \cup_{ij \in C_i} (S^+_{ij} \cup S^-_{ij}).$$

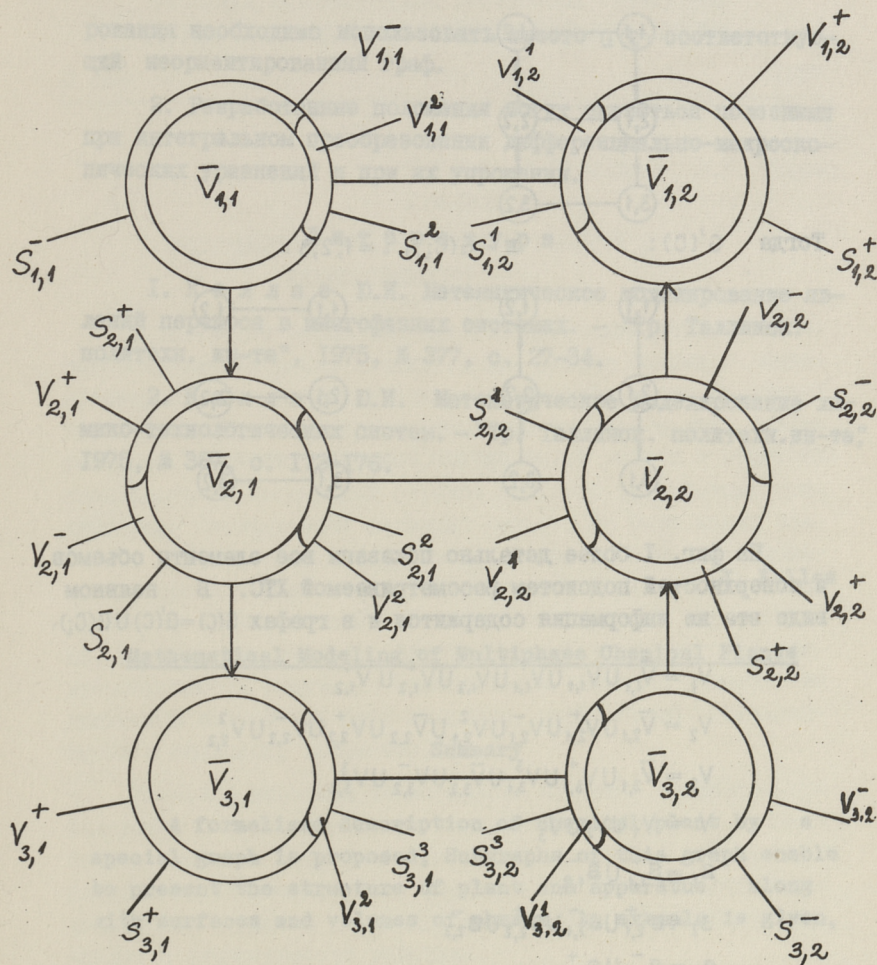
Аналогично для системы  $A$  общий объем  $V$  и поверхность  $S$  определяются выражениями

$$V \equiv \cup_{i \in B} V_i, \quad S \equiv \cup_{i \in B} S^{\circ}_i (S^{\circ}_i \subset S_i),$$

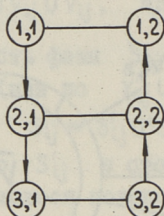
где индекс „ $\circ$ ” определяет лишь такие фазы, которые имеют только входящие или только выходящие поверхности по  $\gamma^+_{ij}$  и  $\gamma^-_{ij}$  - соответственно, но не обе из них.

Каждая поверхность  $(\forall x \in S_{ij})$  фазы  $ij$  ориентирована единичным нормальным вектором, который направлен от фазы. Такую ориентированную поверхность обозначим  $n_{ij} S_{ij}$  (или  $n^-_{ij} S^-_{ij}$ ,  $n^+_{ij} S^+_{ij}$ ,  $n^i_{ij} S^i_{ij}$ ).

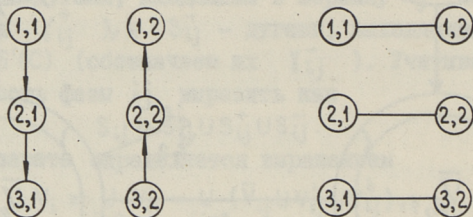
Пример. Пусть ХТС имеет множество аппаратов  $I = \{1, 2, 3\}$  и множество фаз  $J = (1, 2)$ . Компоненты нас на данном этапе не интересуют. По работе [2] введем множества аппаратов  $B = \{1, 2, 3\} \equiv I$  и фаз  $C = \{1, 1; 1, 2; 2, 1; 2, 2; 3, 1; 3, 2\}$ . Тогда дерево ХТС имеет вид  $A = 1(1, 2) 2(1, 2) 3(1, 2)$ . Также дан граф ХТС  $G(C)$ :



Фиг. 1. Схема потоков, объемов и поверхностей фаз ХТС.



Тогда  $G'(C)$ :                      и  $G(C_i), i = 1, 2, 3$ :



На фиг. I более детально показаны все элементы объемов и поверхностей подсистем рассматриваемой ХТС. В неявном виде эта же информация содержится и в графах  $G(C) = G'(C) \cup G(C_i)$ .

$$V_1 = \bar{V}_{1,1} UV_{1,1}^- UV_{1,1}^+ U\bar{V}_{1,2} UV_{1,2}^+ UV_{1,2}^-$$

$$V_2 = \bar{V}_{2,1} UV_{2,1}^+ UV_{2,1}^- UV_{2,1}^2 U\bar{V}_{2,2} UV_{2,2}^+ UV_{2,2}^- UV_{2,2}^2$$

$$V_3 = \bar{V}_{3,1} UV_{3,1}^+ UV_{3,1}^3 U\bar{V}_{3,2} UV_{3,2}^- UV_{3,2}^3$$

$$V = V_1 UV_2 UV_3$$

$$S_1 = S_{1,1}^+ US_{1,2}^-$$

$$S_2 = S_{2,1}^+ US_{2,1}^- US_{2,2}^+ US_{2,2}^-$$

$$S_3 = S_{3,1}^- US_{3,2}^+$$

$$S = S_{1,1}^- US_{3,1}^+ US_{3,2}^- US_{1,2}^+$$

Если выбрать фазу  $2,1 \in C_2CC$ , то, например,

$$\gamma_{2,1} = \{1,1; 2,2; 3,1\}, \gamma'_{2,1} = \{1,1; 3,1\} \text{ и } \gamma^2_{2,1} = \{2,2\}.$$

### З а к л ю ч е н и е

I. Настоящий подход целесообразен, если потоки фаз между аппаратами (точнее их направление) известны, т.е. при моделировании существующих ХТС. При решении задач проекти-

рования необходимо использовать вместо  $G(C)$  соответствующий неориентированный граф.

2. Разработанные положения могут оказаться полезными при интегральном преобразовании дифференциально-макроскопических уравнений и при их упрощении.

### Л и т е р а т у р а

1. К а л л а с Ю.И. Математическое моделирование явлений переноса в многофазных системах. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1975, № 377, с. 27-34.

2. К а л л а с Ю.И. Математическое моделирование химико-технологических систем. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1975, № 387, с. 173-176.

J. Kallas

### Mathematical Modeling of Multiphase Chemical Plants

#### Summary

A formalized description of chemical plant by a special graph is proposed. Subgraphs of this graph enable to present the structure of plant and apparatus along with surfaces and volumes of phases. An example is given.



Э.Г.Уус, Э.К. Сийрде, Э.Н. Теаро,  
Л.М.Пикков

### ЭКСТРАКЦИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ХВОЙНЫХ ПОРОД ТРИХЛОРЭТИЛЕНОМ

В настоящее время вопросы использования отходов лесозаготовительных работ выдвинуты как весьма острые и животрепещущие, так как их утилизация является одним из путей повышения эффективности комплексного использования лесных ресурсов. Частичным решением поставленной задачи в отношении использования лесосечных отходов является организация производства биологически активных веществ на базе живых элементов дерева, в частности, из древесной зелени. Исследованиями, проведенными ЛТА им. С.М.Кирова, Институтом химии древесины АН Латвийской ССР и другими научными учреждениями, установлена высокая эффективность и экономическая целесообразность получения биологически активных веществ из древесной зелени для нужд медицины, парфюмерной промышленности и сельского хозяйства.

Наиболее массовым биологически активным продуктом, производимым в настоящее время из древесной зелени хвойных пород, является хлорофилло-каротиновая паста, содержащая хлорофилл, витамины, воск, жирные и смоляные кислоты, бальзамические вещества и ряд других веществ, оказывающих лечебное и биологическое действие.

Технология получения хлорофилло-каротиновой пасты, разработанная в ЛТА им. С.М.Кирова под руководством Ф.Т.Солдского и А.Л. Агранат [1], заключается в экстракции хвои легким бензином в периодически действующих дефлегмационных экстракторах. Смолистые вещества, полученные после отгонки бензина-растворителя, омыляют раствором едкого натра и выпускают как товарный продукт - хлорофилло-каротиновую пасту. В настоящее время выработка хлорофилло-каротиновой пасты по вышеуказанной технологии на различных действующих предприятиях нашей страны составляет около 400 тонн в год.

В середине 60-х годов сотрудниками ЛТА им. С.М.Кирова была разработана новая усовершенствованная технология производства хлорофилло-каротиновой пасты и водного хвойного лечебного экстракта в непрерывно действующих колоннах винтовых экстракторов (НДЭ). Согласно указанной разработке были построены цехи в Валгамааском лесном хозяйстве (ЭССР), снабженные тремя экстракторами НДЭ-400 (диаметр колонны 400 мм) с годовой производительностью 30 т, и на Тетеревском опытном лесозаготовительном хозяйстве (УССР) двумя экстракторами НДЭ-800 с годовой производительностью 80 т хлорофилло-каротиновой пасты. Согласно проекту в первом экстракторе предусматривалось проводить экстракцию бензином для получения хлорофилло-каротиновой пасты, а в последующих - водой для получения хвойного лечебного экстракта.

Однако попытки наладить производство хлорофилло-каротиновой пасты в названных цехах не увенчались успехом главным образом из-за несоответствия принятого строительного решения и установленного оборудования нормам пожарной безопасности. Вследствие этого в цехах производился только водный экстракт.

В связи с пуско-наладочными работами в цехах с непрерывной технологией производства хлорофилло-каротиновой пасты на кафедре процессов и аппаратов химической технологии Таллинского политехнического института были произведены исследования по изысканию возможностей усовершенствования технологии экстракции древесной зелени. Исследовались экстрагирующая способность различных растворителей, причем основное внимание было уделено растворителям, не представляющим опасности в пожарном отношении; влияние влажности исходного сырья на выход смолистых веществ, коррозионное воздействие растворителей, а также вопросы кинетики экстракции. В настоящем сообщении рассматриваются только вопросы выхода смолистых веществ при экстракции древесной зелени хвойных пород различными растворителями.

Лабораторные опыты проводились в стеклянных экстракторах типа Сокслета объемом 0,25 и 0,5 л, а также в дефлегмационном экстракторе объемом 100 л, конструкция которого не отличается от экстракторов, применяемых в этих целях в промышленности.



После отгонки растворителя определялся выход смолистых веществ, а также содержание каротина и хлорофилла в смолистых веществах согласно МРТУ 42 № 378I-69.

Следует отметить, что выход смолистых веществ, а также содержание в них хлорофилла и каротина сильно зависит от возраста хвойных лапок, времени года, условий хранения, степени измельчения и т.д. Поэтому сравнительные опыты проводились всегда с пробами из одной партии.

В таблице I приведены некоторые средние данные о результатах экстрагирования хвои различными растворителями. Пробы имели влажность 45-57%.

Т а б л и ц а I  
Выход смолистых веществ при экстрагировании  
различными растворителями

№ п.п.	Растворитель	Выход смолистых веществ на абс.сухое сырье в %	Содержание хлорофилла в мг%	Содержание каротина в мг%
1.	Бензин (фр. 80-120°)	6,2	376	18,2
2.	"	6,0	348	18,1
3.	Трихлорэтилен	9,6	925	26,1
4.	"	9,3	-	-
5.	Перхлорэтилен	10,0	1400	28,2
6.	Четыреххлористый углерод	9,8	1470	22,2
7.	Бензол	9,0	-	-
8.	Изопропиловый спирт	10,5	-	-

Из данных, приведенных в таблице I, видно, что по выходу смолистых веществ экстрактивная способность хлороорганических растворителей, а также бензола и изопропилового спирта больше чем в 1,5 раза превышает экстрактивную способность бензина. Степень извлечения хлорофилла увеличивается в 2,5-3 раза. Хотя в данной работе содержание хлорофилла в смолистых веществах, полученных экстракцией изопропиловым спиртом, не определялось, из литературных данных известно, что оно может достигать до 2000 мг% против 400 мг% в бензиновых экстрактах [2]. Однако из приведенных растворителей не все пригодны для промышленного использо-

вания. Хотя бензол и изопропиловый спирт являются весьма эффективными экстрагентами, их нельзя рекомендовать из-за их горючести, кроме того, изопропиловый спирт имеет высокую растворимость в воде, что затрудняет его регенерацию из хвой путем отдувки водяным паром.

Наиболее эффективными из хлорорганических растворителей при экстракции в лабораторных условиях оказались перхлорэтилен (тетрахлорэтилен) и четыреххлористый углерод. Это наблюдалось как по выходу смолистых веществ, так и по содержанию хлорофилла и каротина в экстракте (см. табл. I). Однако по ряду причин эти растворители не могут быть рекомендованы для применения в промышленных условиях при экстракции древесной зелени. В металлической аппаратуре в присутствии водяного пара, в частности, при отгонке растворителя от смолистых веществ, четыреххлористый углерод заметно разлагается с выделением хлористого водорода, который сильно корродирует аппаратуру и, кроме того, содействует образованию в смолистых веществах неомыляемых продуктов полимеризации и поликонденсации. Это подтвердилось и в опытах на экстракционной установке в Валгамааском лесхозе. Перхлорэтилен, хотя и является более устойчивым по сравнению с четыреххлористым углеродом, не может быть рекомендован из-за высокой температуры кипения ( $121^{\circ}\text{C}$ ), так как возникают определенные затруднения при удалении остатков растворителя из смолистых веществ. Нельзя также не отметить, что с повышением температуры в процессе отгонки растворителя из экстракта значительно ухудшается качество получаемых смолистых веществ.

В промышленных условиях для экстракции хвой наиболее подходящим следует считать трихлорэтилен, поскольку он имеет наивысшую стабильность в условиях экстракции, относительно низкую температуру кипения ( $87,0^{\circ}\text{C}$ ), что облегчает его регенерацию. Он мало растворим в воде (0,1%), не является взрывоопасным и является доступным как многотоннажный продукт химической промышленности.

Исходя из вышеприведенных соображений, на кафедре процессов и аппаратов химической технологии ТПИ была разработана новая усовершенствованная технология экстракции древесной зелени хвойных пород трихлорэтиленом в непрерывном процессе [3].

## Характеристика хлорофилло-каротиновой пасты

№ п.п.	Показатель	Смолистые вещества	Хлорофилло-каротиновая паста*	МРТУ - 42 № 378I-69
1.	Консистенция	густая, вязкая	густая, вязкая	густая, вязкая
2.	Цвет в массе	темно-зеленый	буро-зеленый	темно-зеленый
3.	Цвет в мазке на стекле	зеленый	буро-зеленый	темно-зеленый
4.	Содержание хлорофилла в мг%	1750	875	не менее 200
5.	Содержание каротина	24	12	не менее 10
6.	Зольность в %	-	-	не более 7
7.	Летучих в %	следы	следы	не более 2
8.	Сухой остаток в %	77	50	не менее 47
9.	Запах	хвой	хвой	хвой

\* В химцехе Валгамааского лесхоза омыление смолистых веществ производится триэтиноламином.

Метод был опробован и внедрен в 1971 году в химцехе Валгамааского лесного хозяйства (ЭССР).

В таблице 2 приведена характеристика одной из промышленных партий хлорофилло-каротиновой пасты, полученной путем экстракции трихлорэтиленом в химцехе Валгамааского лесного хозяйства.

Как видно из данных табл. 2, полученная трихлорэтиленовой экстракцией хлорофилло-каротиновая паста вполне соответствует требованиям технических условий. В 1974 году метод экстракции хвой трихлорэтиленом был успешно внедрен в химцехе Тетеревского опытного лесозаготовительного хозяйства в Украинской СР. С момента внедрения новой экстракционной технологии в производство по настоящее время на

указанных двух предприятиях произведено более 300 т хлорофилло-каротиновой пасты для нужд парфюмерно-косметической промышленности.

## Л и т е р а т у р а

1. Солодкий Ф.Т., Агранат А.Л. Производство хвойной хлорофилло-каротиновой пасты. М-Л., Гослесбумиздат, 1956, 31 с.

2. Ягодина В.М., Медников Ф.А., Смирнова Е.И. Лабораторные исследования по извлечению экстрактивных веществ хвои. Сб. Использование биологически активных веществ дерева. Рига, "Зинатне", 1973, с.20-24.

3. Уус Э.Г., Сийрде Э.К., Каптен В.И., Кееров И.А., Пикков Л.М., Теаро Э.Н. Способ получения хлорофилло-каротиновой пасты. Авт. свид. № 342628 06.01.1971. Бюллетень № 20, 1972.

E. Uus, E. Siirde, E. Tearo, L. Pikkov

### Extraction of Coniferous Wood Greens with Trichlorethylene

#### Summary

Some problems of solvent extraction of coniferous wood greens such as pine and fir needles have been discussed.

The laboratory scale studies of solvent extraction with various organic solvents in the case of chlorophyll-karotene concentrates production process enabled to draw a conclusion that for these purposes trichlorethylene as a best solvent can be recommended.

The plant scale production of chlorophyll-karotene concentrates from coniferous wood greens by the trichlorethylene extraction process has been introduced in Valga (Estonian SSR) and Teterevo (Ukrainian SSR) forest manufacturing enterprises and proved to be highly efficient.

УДК 66.046/44

Л.П.Вийсимаа, Р.О.Куусик,  
М.А.Вейдерма

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГРАНУЛЯЦИИ И СУШКИ КАРБОНАТНОГО ШЛАМА

Обжиг карбонатного шлама с целью регенерации извести при производстве сульфатной целлюлозы проводится ныне в цилиндрических вращающихся печах. Более перспективным является обжиг шлама в печи кипящего слоя. Поскольку карбонатный шлам характеризуется тонкодисперсным составом (частицы размером менее 50 микрон составляют 90–95%), переработка его в псевдоожиженном состоянии приводит к значительным потерям материала с отходящими газами. Предварительное гранулирование шлама уменьшает пылеунос из печи кипящего слоя, способствует созданию устойчивого и однородного псевдоожижения, а также обеспечивает равномерный обжиг с получением извести высокого качества.

Целью настоящей работы было исследование процессов грануляции и сушки шлама с получением гранул, однородных по составу и размерам и достаточно прочных для последующего обжига в печи кипящего слоя.

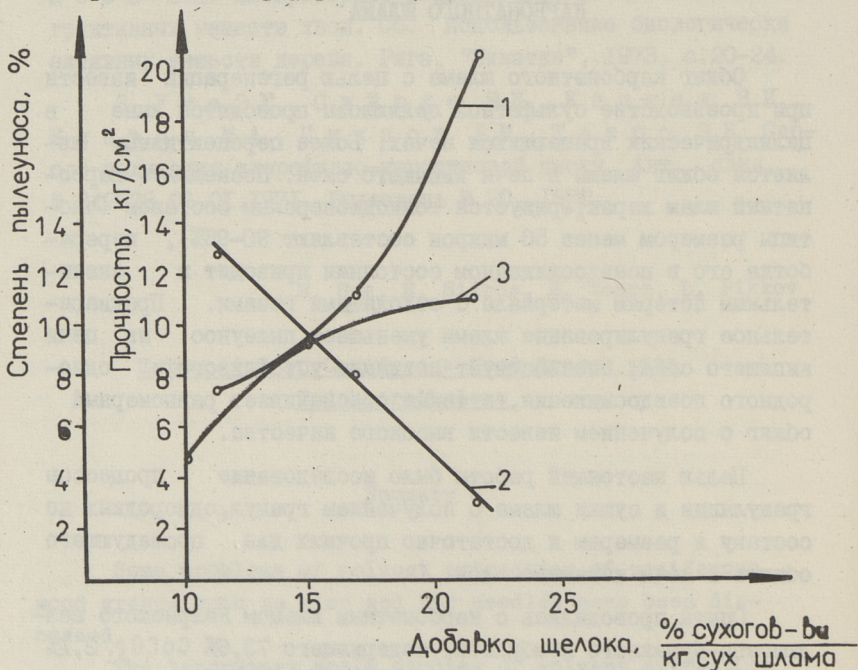
Спыты проводились с карбонатным шламом Кехраского целлюлозно-бумажного комбината, содержащего 73,6%  $\text{CaCO}_3$ , 2,1%  $\text{MgCO}_3$ , 2,8%  $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ , 1,8%  $\text{Na}_2\text{O}$  и 18,7%  $\text{H}_2\text{O}$ .

В качестве связующей добавки при грануляции применяли упаренный черный щелок сульфатно-целлюлозного производства. Упрочняющее действие черного щелока обусловлено присутствием в нем минеральных веществ, в основном соединений натрия, кристаллизующихся при сушке и скрепляющих частицы основного компонента. Кроме того, горение органических веществ щелока снижает расход топлива при обжиге шлама. По

нашим определениям теплотворная способность сухого вещества черного щелока составляет около 5000 ккал/кг.

Гранулирование карбонатного шлама проводилось методом окатывания шлама на дисковом грануляторе диаметром 550 мм. Для сравнения проведены опыты также на установке с формующим грануляционным питателем<sup>х)</sup> с получением гранул в виде цилиндров заданного диаметра [I].

Сушка гранул проводилась как в стационарных условиях – в сушильном шкафу, так и в псевдооживленном состоянии – в сушилке кипящего слоя диаметром 50 мм с подачей в слой подогретого в калорифере воздуха.



Фиг. 1. Влияние добавки черного щелока на процесс сушки гранул:

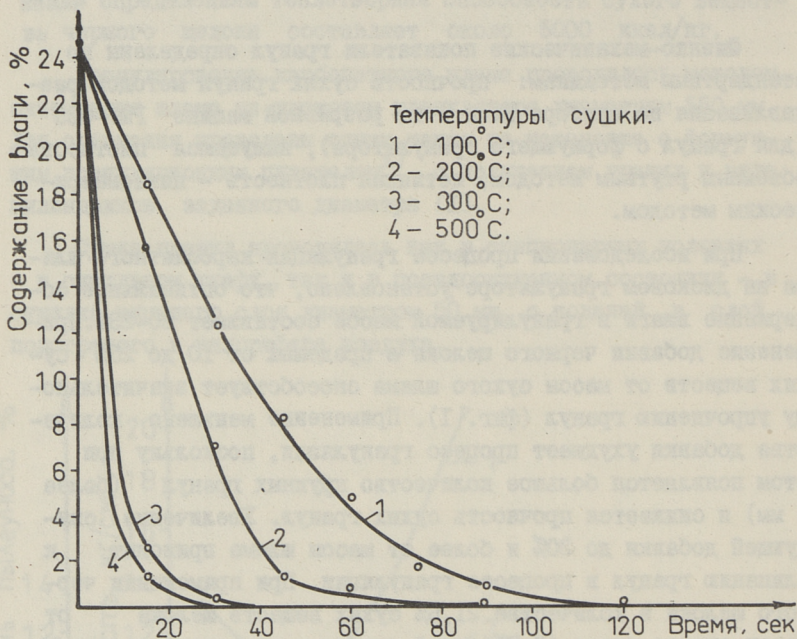
- 1 – прочность сухих гранул при сушке в кипящем слое;  $t = 200^{\circ}$ , продолжительность 2 мин, фракция 2–5 мм;
- 2 – степень пылеуноса из сушилки к.с.;
- 3 – прочность сухих гранул при сушке в стационарных условиях,  $t = 200^{\circ}$ , продолжительность 30 мин, фракция 2–5 мм.

х) Опыты выполнены в Пермском политехническом институте И. Олонцевым и О. Мамоновым.

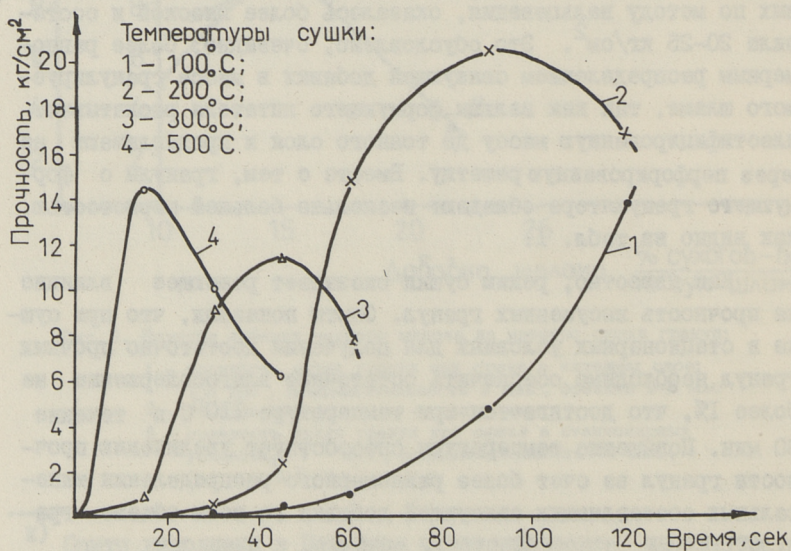
Физико-механические показатели гранул определены по стандартным методикам: прочность сухих гранул методом раздавливания на приборе Вика и на разрывной машине РМУ-005 (для гранул с формушного гранулятора), кажущаяся плотность объемным ртутным методом, истинная плотность - пикнометрическим методом.

При исследовании процесса грануляции карбонатного шлама на дисковом грануляторе установлено, что оптимальное содержание влаги в гранулируемой массе составляет 20-23%. Применение добавки черного щелока в пределах от 10 до 25% сухих веществ от массы сухого шлама способствует значительному упрочнению гранул (фиг. 1). Применение меньшего количества добавки ухудшает процесс грануляции, поскольку при этом появляется большое количество крупных гранул (более 5 мм) и снижается прочность сухих гранул. Увеличение связующей добавки до 30% и более от массы шлама приводит к слипанию гранул в процессе грануляции. При применении черного щелока в количестве 21,6% сухих веществ щелока от массы сухого шлама (6,7% солей натрия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$ ) выход гранул по классу 1-5 мм был не менее 90%, а прочность высушенных гранул - 10,8 кг/см<sup>2</sup>. Прочность гранул, полученных по методу вальцевания, оказалась более высокой и составила 20-25 кг/см<sup>2</sup>. Это обусловлено, очевидно, более равномерным распределением связующей добавки в массе гранулируемого шлама, так как вальцы формушного питателя раскатывают пластифицированную массу до тонкого слоя и продавливают ее через перфорированную решетку. Вместе с тем, гранулы с формушного гранулятора обладают несколько большей пористостью, как видно из табл. 1.

Как известно, режим сушки оказывает решающее влияние на прочность высушенных гранул. Опыт показал, что при сушке в стационарных условиях для получения достаточно прочных гранул необходимо обеспечить остаточное влагосодержание не более 1%, что достигается при температуре 110°C в течение 60 мин. Повышение температуры способствует увеличению прочности гранул за счет более равномерного распределения минеральных составляющих связующей добавки во всем объеме гранулы.



Фиг. 2. Кривые сушки гранулированного карбонатного шлака в псевдооживленном состоянии.  
 Добавка шелока 21,6% сухого в-ва, фракция 2-5 мм.



Фиг. 3. Изменение прочности гранул при сушке в псевдооживленном состоянии.  
 Добавка шелока 21,6% сухого в-ва, фракция 2-5 мм.



Т а б л и ц а I

Физико-механические характеристики гранулированного  
шлама

Показатели	Окатанные гранулы фракция I-5 мм	Гранулы с формуящего питателя, диаметр отверстий 3 мм
Разрушающая нагрузка, кг/см <sup>2</sup>	10,8	25,7
Насыпной вес, кг/м <sup>3</sup>	692	630
Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	752	710
Истинная плотность кг/м <sup>3</sup>	2980	3120
Кажущаяся плотность кг/м <sup>3</sup>	1080	1110
Пористость гранул	0,55	0,64

Применение псевдоожижения значительно интенсифицирует процесс сушки. На фиг. I представлены кривые сушки гранулированного шлама, свидетельствующие о наличии двух периодов в процессе сушки: первый характеризуется постоянной скоростью сушки, второй - падающей. Свободная влага удаляется с большой интенсивностью в первом периоде сушки. Во втором периоде удаление влаги происходит из внутренних слоев гранулы, чему препятствует образовавшийся поверхностный слой из выкристаллизовавшихся солей, а также наличие температурного градиента внутри гранулы. Найдено, что наличие добавок черного щелока приводит к некоторому изменению механизма переноса влаги при сушке, что сказывается на удлинении периода падающей скорости сушки при большем количестве добавки.

Изменение прочности гранул при сушке их в кипящем слое показано на фиг. 2. Чем выше температура сушки, тем быстрее достигается максимум прочности гранулы, так как вода испаряется из всего объема гранул, вследствие чего соли не успевают продвинуться к внешней оболочке гранулы. Кристаллизация солей происходит равномерно во всем объеме с образованием прочных солевых мостиков [2]. Снижение прочности гранул для температур 300-500<sup>0</sup> объясняется выгоранием органической части черного щелока. Если ставится задача сохранения органической части черного щелока с целью использования

тепла его горения при обжиге, необходимо проводить процесс сушки при температуре 200–250°C. В этом случае, как следует из фиг. 2, получаются наиболее прочные гранулы.

Как видно из фиг. 1, интенсификация процесса сушки в псевдооживленном состоянии приводит к тому, что при тех же количествах упрочняющей добавки удается получить более прочные гранулы. При этом унос материала с отходящими газами является относительно небольшим. Минимальной степени пылеуноса (3–4%) удалось достичь при содержании в гранулах около 20% сухого вещества шелока от массы шлама.

Таким образом, исследования процессов грануляции и сушки карбонатного шлама позволили определить условия получения гранулированного продукта, отвечающего требованиям высокотемпературной переработки его в кипящем слое.

### Л и т е р а т у р а

1. Л о ж к и н А.Ф., П а щ е н к о В.Н. Сборник научных трудов Пермского политехнического института, № 71, Пермь, 1970.

2. N e w i t t D.M., P a r a d o r o u l o s A.L. The mechanism of granule formation, Proc. 55, The Fertiliser Society, London, 1959.

L. Viisimaa, R. Kuusik, M. Veiderma

### Forschung der Granulations- und Trocknungsprozesse des carbonatischen Schlammes

#### Zusammenfassung

In laboratorischen Anlagen erforschte man die Granulations- und Trocknungsprozesse des carbonatischen Schlammes, eines Abfalls der Zelluloseerzeugung. Es wurden die Bedingungen, bei denen das Trocknen in Wirbelschicht mit großer Geschwindigkeit geschieht, festgestellt. Die getrockneten Granula sind genügend stark für die folgende Calcinierung im Wirbelschiehtofen.

УДК 661.634.2.001.5

Э.Э.Аасамяэ, М.А.Вейдерма, Х.И.Вескимяэ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОКАЛИВАНИЯ ФОСФОРИТОВ  
НА РАСТВОРИМОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ МАГНИЯ И ЖЕЛЕЗА  
ПРИ СЕРНОКИСЛОТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

В мировой практике производства экстракционной фосфорной кислоты распространено, с целью удаления органического вещества и разложения карбонатов, применение предварительного обжига фосфатного сырья [1,2]. Имеются сведения об уменьшении растворимости минералов — примесей фосфоритов при сернокислотной обработке в результате обжига [3,4].

Целью нашей работы было определение влияния прокаливания на растворимость соединений магния и железа в условиях экстракции фосфорной кислоты из оболочных фосфоритов Кингисепшского и Маардуского месторождений, а также из фосфоритов месторождений Джанатас (бассейна Каратау) и Егорьевского.

Фосфатное сырье. Характеристика использованных образцов приведена в табл. I. Прокаливание фосфоритов проводили в крупнолабораторной печи кипящего слоя, работающей на бытовом газе, который сжигали непосредственно в слое частиц фосфорита (коэффициент избытка воздуха  $\alpha > 1$ ). Егорьевский фосфорит прокаливали в дробленном виде (фракция 1-4 мм), другие фосфориты предварительно гранулировали с добавлением раствора сульфитно-спиртовой барды. Продолжительность прокаливания составляла, как правило, 30 минут, у егорьевского фосфорита — 10 минут. Перед экстракцией все образцы фосфоритов были измельчены до крупности -0,200 мм.

Прокаливание фосфоритов привело в некоторых случаях (см. табл. I) к снижению содержания аналитически определяемого содержания  $Fe_2O_3$  и  $MgO$ , что вызвано, по-видимому, образованием малорастворимых силикатных соединений. Содержание  $P_2O_5$  повышалось на 2-3%.

Методика экспериментов. Экстракция проводилась по гипсовому режиму — при температуре в реакторе  $75^{\circ}C$ , концентрации  $P_2O_5$  в жидкой фазе около 20% и отношении Ж : Т = 3 : 1. Продолжительность перемешивания пульпы составляла 5 часов. Серную кислоту принимали в количестве 97% от экстракционной нормы с учетом содержания  $CaO$  и  $MgO$  в фосфорите. В качестве раствора разбавления использовали чистую фосфорную кислоту, пеногасителем служил изо-амиловый спирт. Фосфогипс отфильтровывали и промывали водой до pH 5-6, а в объединенных фильтрах определяли содержание  $P_2O_5$ ,  $MgO$  и  $Fe_2O_3$  [5].

Результаты экспериментов представлены в табл. 2. Из них следует, что степень растворения  $P_2O_5$  в результате прокаливания фосфоритов существенно не изменялась и была в пределах 91-98%.

Растворимость примесей при экстракции имеет специфический характер для разных фосфоритов.

В исходных пробах растворимость  $MgO$  наиболее низка у егорьевского фосфорита (49%), у остальных фосфоритов она более 75%. Практически полностью растворяется  $MgO$  кингисеппского фосфорита.

Обжиг по-разному влияет на растворимость  $MgO$  при экстракции, в зависимости от вида фоссырья и температуры обжига. У кингисеппского фосфорита растворимость соединений магния практически полная, независимо от температуры прокаливания. У Маардуского фосфорита наблюдалось некоторое увеличение, у остальных фосфоритов снижение растворимости  $MgO$  по мере повышения температуры обжига. Отношение  $MgO : P_2O_5$  в растворенной части джанатасских фосфоритов оставалось относительно высоким (0,12-0,15).

Изменения растворимости  $Fe_2O_3$  в экспериментах с кингисеппским фосфоритом в результате обжига были невелики — растворимость  $Fe_2O_3$  оставалась на уровне 70-80%. В слу-

чае маардуского фосфорита, в котором железо представлено большей частью пиритом, растворимость  $Fe_2O_3$  исходной пробы составляла всего 20%. Прокаливание его привело к резкому увеличению растворимости железа (до 60–70%) в связи с образованием более растворимого гематита или сульфата [6]. Доизмельчение флотоконцентратов оболочных фосфоритов не оказывало существенного влияния на растворимость  $MgO$  и  $Fe_2O_3$  в результате обжига.

В процессе экстракции исходного егорьевского фосфорита растворялось 77%  $Fe_2O_3$ . У прокаленной при  $850^{\circ}C$  пробы растворимость  $Fe_2O_3$  несколько выше, а у прокаленной при  $1000^{\circ}C$  образца примерно одинакова с исходной пробой. Аналогичное явление отмечается в работе [6]. Оно объясняется последовательным образованием аморфной и кристаллической форм гематита, различающихся по растворимости.

Степень растворения  $Fe_2O_3$  кремнисто-карбонатной разновидности джанатасского фосфорита (проба I по табл. I) в результате обжига снижается, а карбонатной разновидности (проба II) – увеличивается.

Расход водородного иона кислоты при экстракции зависит как от типа фосфорита, так и от температуры обжига. Этот расход наиболее низок у маардуского фосфорита. Обжиг приводил к увеличению расхода  $H^+$ -иона у фосфоритов Джанатас всегда, а у маардуских и кингисепских фосфоритов лишь в случае обжига при  $1200^{\circ}C$ . Снижение расхода кислоты наблюдалось у обожженных егорьевских фосфоритов, а также в случае умеренного обжига ( $900^{\circ}$ ) кингисепских фосфоритов. Обжиг приводит к снижению вспенивания пульпы при экстракции. Наиболее интенсивное вспенивание наблюдалось при разложении необожженного карбонатного фосфорита Джанатас. При содержании в прокаленном фосфорите ниже 0,5%  $CO_2$  вспенивание полностью ликвидируется.

Результаты исследования показывают, что при обжиге изученных фосфоритов существенного уменьшения растворимости примесей  $MgO$  и  $Fe_2O_3$  в условиях экстракции фосфорной кислоты не происходило, а у маардуского фосфорита растворимость железосодержащих примесей значительно возросла.

## Характеристика фосфоритов

№ п.п.	Шифр фосфорита X	Содержание, %					Отношение			
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CaO / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	IO
I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	
I.	K	28,5	45,6	3,10	1,28	8,27	1,60	0,11	0,04	
2.	K 900	31,5	49,8	3,41	1,35	0,72	1,58	0,11	0,04	
3.	K (T) 900	31,4	49,6	3,39	1,27	0,74	1,58	0,11	0,04	
4.	K I200	32,2	50,9	3,47	1,29	0,11	1,58	0,11	0,04	
5.	K (T) I200	31,8	51,6	3,59	1,20	0,06	1,62	0,11	0,04	
6.	M	27,8	39,3	1,02	2,58	2,55	1,42	0,04	0,09	
7.	M 900	29,5	41,1	0,99	2,44	0,66	1,40	0,03	0,08	
8.	M (T) 900	28,9	41,2	0,98	2,48	0,45	1,43	0,03	0,09	
9.	M I200	29,8	42,1	0,93	2,32	0,02	1,41	0,03	0,08	
10.	M (T) I200	29,5	41,8	0,82	2,14	0,06	1,42	0,03	0,07	
II.	II I	24,6	38,6	4,58	1,46	7,75	1,57	0,19	0,06	
12.	II I 950	26,8	43,0	4,92	1,31	0,26	1,61	0,18	0,05	
13.	II I 1050	26,6	43,1	3,84	1,25	0,21	1,62	0,14	0,05	

Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14.	Д II	27,5	46,0	4,60	0,50	10,18	1,67	0,17	0,02
15.	Д II 950	30,3	49,8	5,35	0,56	0,58	1,65	0,18	0,02
16.	Д II 1050	29,9	49,4	4,29	0,50	0,45	1,65	0,14	0,02
17.	Е	25,9	41,0	1,82	4,53	5,10	1,58	0,07	0,18
18.	Е 850	28,3	44,7	1,92	4,16	2,02	1,58	0,07	0,15
18.	Е 1000	28,7	45,6	1,98	3,60	0,97	1,59	0,07	0,13

Х В шифрах букв К, М, Д и Е обозначают соответственно кингисеппский, маардуский, джанатаский и егорьевский фосфориты, буква (т) — дозимельченные флотоконцентраты (содержание фракции +0,1 мм 12%), цифрами обозначена температура обжига.

## Основные результаты экспериментов

№ п.п.	Применяемый фосфорит	Кол-во $H_2SO_4$ на 100 г фосфата, г	Степень растворения, %			Отношение в растворенной части		Расход $H^+$ -иона на 100 г растворен. $P_2O_5$ , г
			$P_2O_5$	MgO	$Fe_2O_3$	$\frac{MgO}{P_2O_5}$	$\frac{Fe_2O_3}{P_2O_5}$	
I	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	К	84,4	93	98	81	0,12	0,04	4,65
2.	К 900	94,3	98	97	74	0,11	0,03	4,47
3.	К(Т) 900	92,0	94	99	69	0,11	0,03	4,58
4.	К I200	95,0	92	99	77	0,12	0,04	4,78
5	К(Т) I200	96,2	97	100	76	0,12	0,04	4,79
6.	М	68,7	97	76	20	0,03	0,02	3,48
7.	М 900	71,9	97	87	69	0,03	0,05	3,48
8.	М(Т) 900	72,1	97	84	64	0,03	0,06	3,50
9.	М I200	73,7	95	83	60	0,03	0,06	3,88
10	М(Т) I200	73,1	96	94	61	0,04	0,06	3,85



Продолжение таблицы 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9
II.	II I	75,0	97	89	63	0,17	0,04	4,57
I2.	II I 950	84,6	91	81	62	0,16	0,04	5,05
I3.	II I 1050	82,2	94	75	47	0,15	0,03	5,23
I4.	II II	88,2	92	95	52	0,17	0,01	4,82
I5.	II II 950	97,1	93	91	66	0,16	0,01	5,09
I6.	II II 1050	94,0	95	81	68	0,14	0,01	5,07
I7.	E	74,7	97	49	77	0,04	0,14	4,45
I8.	E 850	80,2	98	45	89	0,03	0,16	4,35
I9.	E 1000	81,9	98	34	76	0,03	0,14	4,32

## Л и т е р а т у р а

1. Calcined phosphate rock. "Phosphorus and Potassium", 1969, No. 41, 13-19.

2. H a w s R.C., P r i e s t l e y R.J. Fluidized bed processing of phosphate rock. "Minerals Processing", 1969, 10, No. 10, 13-17.

3. П о з и н М.Е., В а р ш а в с к и й В.Л., Я р о ш Е.Б. О влиянии прокалки фосфоритов на эффективность их переработки в сложные удобрения. В сб.: Тезисы докладов и сообщений научно-технического семинара "Обжиг и обесфторивание природных фосфатов", Таллин, 1976, с. 32-34.

4. Б о ч к а р е в Г.С. и др. Эффективность обжига фосфатного сырья в стадии кислотной переработки. Там же, с. 35-36.

5. К е л ь м а н Ф.Н., Б р у ц к у с Е.Б., О ш е р о в и ч Р.Х. Методы анализа при контроле производства серной кислоты и фосфорных удобрений. М., "Химия", 1965. 392 с.

6. С м и р н о в А.И., Х о л о м я н с к и й И.Я., Ц у ц у л ь к о в с к и й В.Я. Применение обжига в технологии получения высококачественных фосфоритных концентратов из руд Егорьевского месторождения. Труды ИГХС, вып. 20, 1973, с. 187-198.

E. Aasamäe, M. Veiderma, H. Veskimäe

### The Effect of Calcination on the Solubility of Magnesium and Iron Constituents of Phosphorites in Obtaining Wet Process Phosphoric Acid

#### Summary

The solubility of iron and magnesium compounds of various phosphorites (Maardu, Kingissepp, Jana-Tas, Yegorevsk) in the mixtures of sulphuric and phosphoric acids is studied in this paper. Calcination resulted in preventing excessive foaming, but had no significant effect on the decreasing of solubility of  $MgO$  and  $Fe_2O_3$ .

Э.Э.Аасамяэ, Х.И.Вескимяэ, М.А.Вейдерма

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ  
ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ И ДВОЙНОГО СУПЕРФОСФАТА  
ИЗ ОБОЖЖЕННЫХ ФОСФОРИТОВ

Проведенное ранее исследование показало высокую эффективность обжига фосфоритов месторождения Джанатас при получении экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), в особенности в случае последующего удаления свободных оксидов кальция и магния из обожженного фосфорита [1]. В то же время известно, что обжиг фосфатного сырья в большинстве случаев снижает его реакционную способность, что может отрицательно влиять на результаты их разложения кислотами [2, 3].

Ниже приводятся сравнительные результаты получения ЭФК по дигидратному режиму и двойного суперфосфата (ДС) камерным и поточным способами из флотационных концентратов месторождений Тоолсе (две разновидности), Кингисепи, фосфоритов Чилисай (флотоконцентрат и мытый концентрат) и продуктов их обжига.

Химический состав использованных образцов фосфоритов представлен в табл. I. Использовались стандартные методики анализа [4]. Обжиг фосфоритов проводился в крупнолабораторной печи кипящего слоя при температуре  $950^{\circ}$  в течение 30 минут. Мытый фосфорит Чилисай обжигали в дробленном виде (фракция +2-4 мм), флотоконцентраты - после гранулирования на тарельчатом грануляторе с добавлением раствора сульфитно-спиртовой барды. После обжига образцы были измельчены до тонины помола -0,2 мм.

При получении ЭФК использовали циклический метод имитации непрерывного способа с трехкратной промывкой фосфогипса, описанный ранее [1]. Условия экстракции следующие:

- 1) количество  $H_2SO_4$  95-100% от стехиометрической нормы;
- 2) отношение  $Ж : Т = 2,5 : 1$ ;
- 3) температура  $75^{\circ}C$ ;
- 4) продолжительность 5 часов.

Из результатов экспериментов (табл. 2) следует, что извлечение  $P_2O_5$  в раствор во всех случаях одинаково высоко (более 98%), независимо от обжига. Обжиг вызвал увеличение растворимости  $Fe_2O_3$  в случае экстракции  $H_3PO_4$  из тоолсеских фосфоритов в связи с переходом пирита при обжиге в более растворимые соединения, а при использовании чилисайского мытого фосфорита наблюдалось снижение растворимости  $Fe_2O_3$  на 20% (отн.). Изменения в растворимости  $MgO$  были меньше, а у кингисепского фосфорита, наиболее богатого магнием, растворимость не изменялась. В результате обжига устраняется вспенивание пульпы в реакторе, которое было наиболее интенсивным в случае кингисепского фосфорита. Скорость фильтрации при промывке фосфогипса повышается при применении тоолсеских флотоконцентратов и чилисайского мытого фосфорита. Наоборот, фильтруемость гипса из чилисайского и кингисепского флотоконцентратов ухудшалась при обжиге сырья. В результате обжига, как правило, увеличивался расходный коэффициент  $H_2SO_4$ . В степени нейтрализации фосфорной кислоты нет существенных изменений.

Получение двойного суперфосфата исследовали камерным (периодический) и поточным (имитация непрерывного процесса) способами с применением апатитовой ЭФК и тоолсеских фосфоритов. Сравнительный опыт проведен также с кингисепским фосфоритом по поточному способу. Методика экспериментов описана ранее [5, 6]. В качестве нейтрализующего агента использовали мел. При камерном способе количество  $H_3PO_4$  на разложение фосфоритов составляло 110% от стехиометрической нормы. Обжиг устранял пенообразование при смешении реагентов и вызванную этим необходимость добавления пеногасителя.

При камерном способе (табл. 3) обожженные фосфориты разлагались вначале (на стадии камерного вызревания) быстрее или одинаково в сравнении с исходными образцами.

## Характеристика фосфоритов

№ п.п.	Шифр фосфорита <sup>х</sup>	Содержание, %							Соотношение		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CaO P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
1.	Ч I	24,6	41,2	1,43	3,55	1,80	5,57	1,67	0,06	0,07	
2.	Ч I 0	26,5	45,1	1,33	3,97	1,93	1,02	1,70	0,05	0,07	
3.	Ч II	19,0	31,3	1,16	3,23	1,77	3,41	1,64	0,06	0,09	
4.	Ч II 0	19,7	32,5	1,07	2,67	1,38	1,05	1,65	0,05	0,07	
5.	К	28,5	44,6	3,12	1,40	1,17	8,27	1,57	0,11	0,04	
6.	К 0	31,5	49,5	3,24	1,72	1,27	1,03	1,57	0,10	0,04	
7.	Т I	26,7	40,0	0,96	3,79	2,92	4,40	1,50	0,03	0,11	
8.	Т I 0	28,2	42,8	0,95	4,10	2,93	0,32	1,52	0,03	0,10	
9.	Т II	24,8	36,0	0,77	2,24	2,10	3,05	1,45	0,03	0,08	
10.	Т II 0	26,5	38,4	0,66	2,72	2,14	0,45	1,45	0,02	0,08	

<sup>х</sup> Буквы Ч, К и Т обозначают соответственно фосфориты Чилисай, Кингисеши и Тоолсе, 0 - обожженные пробы. Образец Ч II - мятый фосфорит, все остальные - флотационные концентраты.

## Результаты опытов получения ЭФК

Показатели	Использованный образец фосфорита									
	Ч I	Ч I O	Ч II	Ч II O	К	К O	Т I	Т I O	Т II	Т II O
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Содержание фракции +0,1 мм в фосфорите, %	1,9	16,1	62,6	20,0	19,6	34,0	74,6	35,6		
Количество $H_2SO_4$ на 100 г фосфорита, г	70,8	78,8	54,8	56,3	77,2	88,7	69,6	74,1	61,8	64,1
Расходный коэффициент $H_2SO_4$ на 1 г растворенной $P_2O_5$ , г	2,74	2,74	2,61	2,71	2,62	2,84	2,54	2,70	2,54	2,39
Гипсовое число	1,39	1,50	1,27	1,35	1,42	1,57	1,39	1,46	1,39	1,41
Скорость фильтрации, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> час	1,76	0,75	1,29	2,33	2,23	1,07	0,79	0,89	1,45	1,84
Коэффициент извлечения $P_2O_5$ , %	99,0	98,7	98,4	98,0	98,7	98,0	98,5	98,8	98,1	98,4
Содержание в кислоте, %:										
$P_2O_5$	22,7	25,1	19,1	20,6	24,9	26,5	28,4	25,9	24,9	26,9

Продолжение таблицы 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
$\text{SO}_3$	2,6	3,8	3,1	2,4	3,4	5,4	2,4	3,3	I,1	I,3
F	1,4	0,8	1,1	1,1	1,1	0,9	1,4	0,7	I,1	I,2
MgO	0,7	0,5	0,7	0,7	2,6	2,8	1,0	1,0	0,6	0,6
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,9	1,7	1,6	1,3	1,1	1,3	2,0	2,2	0,9	1,8
Степень нейтрализации кислот, %	28,3	28,5	30,2	32,1	30,5	30,0	22,0	25,9	18,5	17,5
Степень растворения $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %	100	94	87	68	100	100	64	75	43	80
Степень растворения MgO, %	52	39	52	57	94	95	93	100	79	76

## Получение двойного суперфосфата камерным способом

Показатели	Использованный образец фосфорита <sup>x</sup>									
	Т1С	Т1С	Т1Т	Т1ОТ	Т1С	Т1ОС	Т1Т	Т1ОТ	Т1С	Т1ОТ
I	2	3	4	5	6	7	8	9		
Кол-во P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> кислоты на 100 г фосфорита, г	78,4	84,5	78,4	84,5	69,5	74,4	69,5	74,4		
Коэффициент разложения фосфорита (%):										
а) в камерном продукте	57,5	67,8	66,4	68,6	65,6	63,5	70,0	70,8		
б) в вызревшем "	83,8	73,1	87,7	84,0	93,6	86,8	91,6	82,6		
в) в готовом продукте	84,5	76,7	93,0	83,7	92,0	86,6	95,7	83,4		
Содержание в готовом нейтрализованном продукте (%):										
усв. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	44,3	43,6	44,8	44,9	43,4	42,6	43,3	42,3		
своб. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,7	2,8	2,4	2,8	2,3	2,3	2,3	2,5		
H <sub>2</sub> O	3,4	1,6	2,1	1,5	1,8	1,7	2,5	2,3		



Продолжение таблицы 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Соотношение (вод. $P_2O_5$ ): (усв. $P_2O_5$ ), %	95	94	94	96	96	96	95	95
Расходные коэффициен- ты на 1000 г усв. $P_2O_5$ , г:								
а) $P_2O_5$ кислоты	776	798	760	782	753	765	741	772
б) $P_2O_5$ фосфорита	265	263	258	260	269	272	270	273

Х буквы "с" и "т" обозначают соответственно пробы стандартного и тонкого помола.

Т а б л и ц а 4

## Получение двойного суперфосфата поточным способом

Показатели	Использованный образец фосфорита					
	ТІт	ТІОт	ТІт	ТІОт	Кт	КОт
Количество $P_2O_5$ кислоты на 100 г фосфорита, г	69,4	77,5	61,1	67,5	78,7	84,1
Норма $H_3PO_4$ , % от стехиометрической	110	110	110	110	100	100
Коэффициент разложения фосфорита:						
а) до нейтрализации	67,7	72,4	72,8	64,0	70,0	58,8
б) после нейтрализации	68,7	70,2	73,6	70,5	67,2	56,9
Содержание в готовом нейтрализованном продукте (%):						
усв. $P_2O_5$	42,0	41,9	39,5	40,5	41,9	42,1
своб. $P_2O_5$	4,5	4,8	4,8	5,5	3,9	5,6
$H_2O$	3,7	4,1	3,5	2,9	5,6	4,5
Соотношение (вод. $P_2O_5$ ): (усв. $P_2O_5$ ), %	96	94	96	97	95	97
Расходные коэффициенты на 1000 г						
усв. $P_2O_5$ , г						
а) $P_2O_5$ кислоты	791	795	771	784	802	823
б) $P_2O_5$ фосфорита	303	292	313	307	293	310

Однако при дальнейшем дозревании разложение обожженных фосфоритов шло с меньшей скоростью и в готовом ДС коэффициент разложения на 5–10% ниже, чем при использовании исходных фосфоритов. Поэтому в продуктах из обожженных фосфоритов содержание усв.  $P_2O_5$  ниже, а расходные коэффициенты (особенно  $H_3PO_4$ ) выше. Ретроградации водорастворимой  $P_2O_5$  обжиг не вызывал.

При поточном способе (табл. 4) обжиг вызвал ухудшение разложения на 10% и увеличение расходных коэффициентов в случае переработки кингисеппских фосфоритов, а при тоолсеских фосфоритах изменения были относительно небольшие. В пробах ДС, полученных из обожженных фосфоритов, содержание свободной  $H_3PO_4$  выше из-за ухудшения прилипания мела к сухим гранулам (без омасливания).

Из проведенной работы следует, что обжиг фоссырья, в зависимости от характера и количества примесей, физической структуры сырья и образуемых при обжиге и разложении кристаллических продуктов, по-разному влияет на показатели процессов серно- и фосфорнокислотной переработки. В практическом отношении наиболее существенным результатом обжига является улучшение фильтруемости гипса при получении фосфорной кислоты из некоторых фосфоритов, в особенности из фосфорита Джанатас и чилисайского мытого концентрата, а также устранение пенообразования. Изменения растворимости примесей являются небольшими, за исключением  $Fe_2O_3$ , растворимость которой значительно увеличивается при применении обожженного тоолсеского фосфорита, и снижается при переработке обожженного мытого чилисайского фосфорита.

В процессе сернокислотной экстракции вследствие высокой активности жидкой фазы и длительного контакта реагентов в условиях хорошего перемешивания обжиг сырья не снижает глубину его разложения. При получении двойного суперфосфата обжиг наоборот обычно приводит к ухудшению разложения фосфорита из-за большой чувствительности данного процесса и снижению реакционной способности фосфорита.

## Л и т е р а т у р а

1. А а с а м я э Э.Э., В е й д е р м а М.А., В е с к и м я э Х.И. Получение экстракционной  $H_3PO_4$  и аммофоса из термически обработанных фосфоритов бассейна Каратау. — "Хим.промышленность", 1974, № 10, 756-759.

2. Ф р е е ш а н Н.Р., С а р о J.Н., Н е и л л у N. Effect of calcination on the character of phosphate rock. — "J. Agr. and Food Chem.," 1964, 12 No. 6, 479-486.

3. A n d o J., M a t s u n o S. The constitution, reactivity and thermal change of phosphate ores. — "Bull. Chem. Soc. Japan", 1966, 39, No. 9, 1915-1922.

4. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов. М., "Химия", 1975, 218 с.

5. В е й д е р м а М.А., А а с а м я э Э.Э., Л у т - с и у с Л.Р. Получение двойного суперфосфата из эстонских фосфоритов камерным способом. — "Хим.промышленность", 1971, № 10, 750-753.

6. В е й д е р м а М.А., А а с а м я э Э.Э. Исследование поточного способа получения двойного суперфосфата с применением различных видов сырья. — "Хим.промышленность", 1973, № 10, 756-759.

Obtaining Wet Process Phosphoric Acid and Double  
Superphosphate using Calcined Phosphate Rock

Summary

In this investigation it was established that the results of above mentioned processes vary significantly with the nature of phosphate rock. Acceleration of filtration of gypsum was attained in the case of using calcined washed phosphorite of Tshilisai, but a deleterious effect of calcination was usually noticed in the process of manufacturing double superphosphate.

## С о д е р ж а н и е

1. Р.Л.Рейле, В.И.Каллас, Э.К.Сийрде. Математическая модель дистилляции в присутствии инертного компонента. . . . . 3
2. Р.Л.Рейле, В.И.Каллас, Э.К.Сийрде. Машинный расчет дистилляции с перегретым водяным паром. 9
3. В.И.Каллас. Математическое моделирование многофазных химико-технологических систем. . . . . 15
4. Э.Г.Уус, Э.К.Сийрде, Э.Н.Теаро, Л.М. Пикков. Экстракция древесной зелени хвойных пород трихлорэтиленом. . . . . 21
5. Л.П.Вийсимаа, Р.О.Куусик, М.А.Вейдермаа. Исследование процессов грануляции и сушки карбонатного шлама. . . . . 27
6. Э.Э.Аасамяэ, М.А.Вейдерма, Х.И.Вескимяэ. Исследование влияния прокаливания фосфоритов на растворимость соединений магния и железа при сернокислотной экстракции. . . . . 33
7. Э.Э.Аасамяэ, Х.И.Вескимяэ, М.А.Вейдерма. Исследование получения экстракционной фосфорной кислоты и двойного суперфосфата из обожженных фосфоритов. . . . . 41



СБОРНИК СТАТЕЙ

ПО ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ XLIV  
(процессы и аппараты химической технологии  
и технология неорганических веществ УШ)

УДК 66.048.6015.22/23/24

Математическая модель дистилляции в присутствии инертного компонента. Рейле Р.Л., Каллас Ю.И., Сийрде Э.К. "Труды Таллинского политехнического института", 1977, № 418, с. 3-8.

Рассматривается составление математической модели барботажной тарелки при дистилляции с перегретым водяным паром. Представлены двухфазные уравнения баланса количества движения, энергии и массы. Показана связь между моделями барботажной тарелки и локальными межфазными потоками.

Фигур 2, библиографических наименований 3.

УДК 66.048.6015.22/23/24

Машинный расчет дистилляции с перегретым водяным паром. Рейле Р.Л., Каллас Ю.И., Сийрде Э.К. "Труды Таллинского политехнического института", 1977, № 418, с. 9-14.

Описывается составление расчетной программы барботажной тарелки для дистилляции двухкомпонентной жидкости с перегретым водяным паром. Программа составлена на языке ФОРТРАН для ЭВМ "Минск-32". Представлены блок-схема программы и таблица с расчетными данными для некоторых вариантов дистилляции.

Фигур 2, библиографических наименований 3.

Математическое моделирование многофазных химико-технологических систем. Каллас Ю.И. "Труды Таллинского политехнического института", 1977, № 418, с. 15-19.

В статье представлено описание химико-технологической системы (ХТС) в виде графа, подграфы которого дают возможность удобно представить структуру ХТС и аппаратов, а также поверхности и объемы фаз. Введенные понятия иллюстрированы на примере.

Фигур 1, библиографических наименований 2.

УДК 615.415.1(088,8)

Экстракция древесной зелени хвойных пород трихлорэтиленом. Уус Э.Г., Сийрде Э.К., Теаро Э.Н., Пикков Л.М. "Труды Таллинского политехнического института", 1977, № 418, с. 21-26.

В статье рассмотрены некоторые вопросы жидкостной экстракции хвои разными растворителями. Показано, что наиболее эффективным растворителем для получения хлорофилло-каротинового экстракта из хвои является трихлорэтилен. Процесс производства хлорофилло-каротиновой пасты путем экстракции хвои трихлорэтиленом внедрен в химических цехах Валгамааского лесного хозяйства (ЭССР) и Тетеревского опытно-промышленного лесозаготовительного хозяйства (УССР).

Библиографических наименований 3.

УДК 66.046/44

Исследование процессов грануляции и сушки карбонатного шлама. Вийсимаа Л.П., Куусик Р.О., Вейдерма М.А. "Труды Таллинского политехнического института", 1977, № 418, с. 27-32.

В лабораторных условиях исследованы процессы грануляции и сушки карбонатного шлама сульфатно-целлюлозного производства. Определено количество добавки черного щелока, применяемого в качестве связующего агента, позволяющее по-



лучить гранулы, однородные по химическому и гранулометрическому составам, достаточно прочные для высокотемпературной переработки их в кипящем слое. Найдены условия интенсивной сушки гранул в псевдооживленном состоянии с получением прочных гранул при малых потерях материала с отходящими газами.

Таблиц 1, фигур 3, библиографических наименований 2.

УДК 661.634.2.001.5

Исследование влияния прокаливания фосфоритов на растворимость соединений магния и железа при сернокислотной экстракции. Асамяэ Э.Э., Вейдерма М.А., Вескимяэ Х.И. "Труды Таллинского политехнического института", 1977, № 418, с. 33-40.

В работе использованы фосфориты месторождений Кингисепс, Маарду, Джанатас и Егорьевск. Установлено, что при экстракции фосфорной кислоты в результате обжига достигается уменьшение вспенивания пульпы. Существенного уменьшения растворимости примесей магния или железа не происходит, у маардуского фосфорита растворимость соединения  $Fe_2O_3$  даже увеличивается.

Таблиц 2, библиографических наименований 6.

УДК 661.634.2+661.632.232

Исследование получения экстракционной фосфорной кислоты и двойного суперфосфата из обожженных фосфоритов. Асамяэ Э.Э., Вескимяэ Х.И., Вейдерма М.А. "Труды Таллинского политехнического института", 1977, № 418, с. 41-51.

Исследование серно- и фосфорнокислотного разложения обожженных фосфоритов Тоолсеского, Кингисепсского и Чилисайского месторождений показало, что в зависимости от вида фоссырья эффект обжига на результаты этих процессов может быть как положительным, так и отрицательным. В результате обжига всегда достигается ликвидирование вспенивания на стадии смешения реагентов и в некоторых случаях

(например, при переработке мытого концентрата Чилисай) улучшение фильтруемости фосфогипса и снижение растворимости соединений железа. Отрицательное влияние обжига состоит в увеличении растворимости железа в пиритсодержащих фосфоритах, в повышении расхода кислоты и в снижении коэффициента разложения фоссырья при получении двойного суперфосфата.

Таблиц 4, библиографических наименований 6.

Ep.6.7

660

Tallinna Polüteh  
Instituut

Toimetised

N 418

1977

---

Цена 38 коп.

1р