



16–21 сентября 2013 г.  
VII Научно-практическая конференция  
с международным участием  
г. Зеленоградск, Калининградская обл.

SC  
SUPERCritical 2013



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



# СВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ ФЛЮИДЫ:

фундаментальные основы,  
технологии, инновации

## БИМОДАЛЬНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ФЛЮИДНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

Егоров А.Г.<sup>1</sup>, Саламатин А.А.<sup>1</sup>, Максудов Р.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань*

<sup>2</sup> *Казанский государственный технологический университет, Казань,*

*maxoudov@kstu.ru*

Проектирование сверхкритических экстракционных технологий требует построения адекватных математических моделей разрабатываемого процесса и последующих численных экспериментов на основе результатов лабораторных исследований. Настоящая работа является развитием наших построений, докладывавшихся ранее.

В настоящее время известны две принципиально разные модели, описывающие экстракцию: модель сужающегося ядра (модель SC) [1, 2] и модель «целых и разрушенных клеток» [3, 4]. Модель SC, записанная относительно неизвестных величин  $R$  - радиуса сужающегося ядра в частице и  $C$  - концентрации масла в каналах аппарата:

$$\theta_0 (a - R) R \frac{\partial R}{\partial t} = -aD(\theta_* - C), \quad R(0, z; a) = a$$

$$v \frac{\partial C}{\partial z} = -(1 - m) \theta_0 \int_0^\infty \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{R}{a} \right)^3 f(a) da, \quad C(t, 0) = 0,$$

лучше отражает физическую суть процесса при экстракции из молотого растительного сырья с высоким начальным содержанием экстрагируемых компонентов  $\theta_0$ . Здесь  $t$  – время,  $z$  – пространственная координата, отсчитываемая от входного сечения вдоль оси аппарата,  $m$  – пористость зернистого слоя,  $v$  – скорость фильтрации флюида,  $a$  – радиус сферических частиц слоя,  $D$  – коэффициент диффузии экстракта по каналам растительных гранул,  $\theta_*$  – равновесная концентрация во флюиде. Через  $f$  обозначается плотность распределения частиц слоя по размерам. По определению величина  $f(a)da$  представляет собой объемную долю частиц с размером от  $a$  до  $a + da$ .

Но эта модель не описывает двухстадийного характера экстракции, наблюдаемого в эксперименте с монодисперсным зернистым слоем: первый этап

линейного выхода экстракта, определяемый концентрацией  $\theta_*$ , резко сменяется “нелинейным этапом” с низкой скоростью выхода. Такой вид кривой можно описать, вводя в рассмотрение бимодальную функцию распределения:

$$f(a) = \alpha f_1(a) + (1 - \alpha) f_2(a),$$

которая подразумевает наличие в слое фракции частиц самого мелкого размера – т.н. “пыли”, неучтенной при фракционном анализе. Ее объемная доля составляет  $\alpha$ , а распределение описывается функцией  $f_1$ ; функция  $f_2$  описывает распределение частиц основной, крупной, фракции.

Такое приближение позволило с высокой точностью описать известные экспериментальные данные по экстракции из различных видов растительного сырья, представленные в литературе. В результате численных экспериментов было показано, что для слоев с небольшим относительным изменением размера частиц достаточно рассматривать бидисперсное приближение, вводя в рассмотрение только две фракции: основную фракцию, размер  $a$  которой определяется в ходе анализа частиц по размерам, и фракцию «пыли». Тогда модель становится двухпараметрической, с параметрами  $\alpha$  и  $D$ . Также, для бимодальных сред получены асимптотические формулы, хорошо описывающие процесс в начале второго этапа экстракции, который наблюдается в экспериментах.

1. Goto M., Roy B.C., Hirose T. // J. of Supercritical Fluids. 1996. V. 9. P. 128.
2. Егоров А.Г., Мазо А.Б., Максудов Р.Н. // Теоретические основы химической технологии. 2010. Т. 44. № 5. С. 498.
3. Sovova H. // Chem. Eng. Sci. 1994. V. 49. P. 409.
4. Reverchon E., Marrone C. // J. of Supercritical Fluids. 2001. V. 19. P. 161.