

Асимптотическое представление кривой выхода масла при сверхкритической флюидной экстракции из полидисперсного зернистого слоя молотого высокомасличного растительного сырья¹

Саламатин А.А., Егоров А.Г.

Институт механики и машиностроения ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань

Сверхкритическая флюидная экстракция (СФЭ) – технологический процесс извлечения ценных биологически активных соединений (БАВ) из молотого растительного сырья. При реализации СФЭ полидисперсная навеска засыпается в колонку экстракционного аппарата и формирует стационарный однородный зернистый слой, через который фильтруется растворитель. В качестве последнего, как правило, применяется CO_2 , сжатый до сверхкритического состояния [1].

Особенностью процесса на микроуровне отдельной частицы является многофазный характер распределения масла. В случае экстракции растительных жиров (триглицеридов) растворяющей способности экстрагента, как правило, недостаточно, чтобы полностью растворить целевые соединения. Предполагая высокую проводимость клеточных мембран, текущее распределение масла в индивидуальной частице описывается в рамках приближения сжимающегося ядра. Движение растворителя через слой, учитывая баланс массы по масляной компоненте, описывается одномерным уравнением конвективного переноса без учета конвективной диффузии (дисперсии) [2].

Традиционные модели процесса не учитывают полидисперсность навески молотого сырья, что оказывается существенным при интерпретации данных эксперимента и прогнозировании стоимости конечного продукта. Наблюдаемые кривые выхода масла (КВМ) – зависимость массы накопленного экстракта от времени – обычно характеризуются выраженной двумасштабностью по времени. На кривой можно выделить два характерных участка. Вначале КВМ растет линейно, что отвечает выходу из аппарата насыщенного маслом раствора. Затем концентрация масла у выходного сечения резко падает до практически нулевого значения, что отвечает медленному нелинейному росту КВМ на втором участке [3].

В представленном докладе обсуждается модель процесса, учитывающая полидисперсный характер зернистого слоя. Показано, что двумасштабность КВМ объясняется бимодальностью объемного распределения частиц по размерам. Для описания процесса достаточно рассмотреть две эффективные фракции с размерами частиц $a_1 \ll a_2$. Мелкодисперсная фракция a_1 с высокой удельной поверхностью отвечает за высокие начальные темпы роста КВМ. После ее истощения к концу линейного участка, источником масла остается лишь крупнодисперсная фракция.

Сформулированная модель в общем случае распределения частиц допускает аналитическое решение относительно КВМ. В предельном случае двухфракционного приближения получено ее асимптотическое представление в результате разложения решения по малому параметру $1/a_2$ – нормированной удельной поверхности крупной фракции. Полученные формулы предсказывают с высокой точностью продолжительность линейного роста КВМ и ее зависимость от времени на втором этапе.

Полученные теоретические результаты были успешно апробированы на представительном наборе экспериментальных данных [3, 4].

Список литературы:

- [1] Егоров А.Г., Саламатин А.А., Максудов Р.Н. Прямые и обратные задачи сверхкритической экстракции из полидисперсного зернистого слоя растительного материала // Теоретические основы химической технологии. 2014. Т. 48. № 1. С. 43–51.
- [2] Егоров А.Г., Саламатин А.А. Оптимизационные задачи в теории сверхкритической флюидной экстракции масла // Известия высших учебных заведений. Математика. 2015. № 2. С. 59–69.
- [3] Саламатин А.А., Егоров А.Г., Максудов Р.Н., Аляев В.А. Интерпретация кривых выхода извлекаемых компонентов при сверхкритической флюидной экстракции // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 22. С. 74–77.
- [4] Саламатин А.А. Оценка влияния конвективной диффузии на кинетику сверхкритической флюидной экстракции из бидисперсных зернистых слоев // Сверхкритические флюиды: Теория и практика. 2016. Т. 11. № 4. С. 41–53.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках проектов 19-31-60013, 18-41-160001