

**Асимптотические разложения внутренней подмодели процесса
сверхкритической флюидной экстракции**

Саламатин Артур Андреевич

Аспирант

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

E-mail: Arthouse131@rambler.ru

Во время сверхкритической флюидной экстракции измельченные семена растений помещают в колонку экстрактора цилиндрической формы. Через сформированный пористый зернистый слой прокачивается растворитель в сверхкритическом состоянии. Он проникает внутрь частиц сырья и растворяет запасенное в растительных клетках масло, которое диффундирует по внутренним транспортным системам к поверхности частиц.

В работе получены асимптотические разложения уточненной модели процесса на уровне индивидуальной частицы сырья. Она учитывает его клеточное строение и наличие двух транспортных систем — апопласт (a), и симпласт (s), а также массообмен между ними через разделяющую их клеточную мембрану. Масло содержится в клетках в виде капель. Изначальное количество масла значительно превышает растворяющую способность экстрагента (масличное сырье, $\Theta \ll 1$). В результате диффузии целевых соединений сквозь мембрану в каналы апопласта капли масла постепенно истощаются, пока в клетке не останется только раствор при некоей неизвестной концентрации.

Обозначим через θ — концентрацию растворенных в соответствующей транспортной системе веществ, нормированную на единицу, τ — безразмерное время, d — безразмерный коэффициент диффузии, x_s — текущие запасы масла в клетке (в симпласте). В этих обозначениях модель, состоящая из двух дифференциальных уравнений баланса массы и одного нелинейного алгебраического уравнения, запишется следующим образом

$$0 = M(\theta_s - \theta_a) + d_a \Delta \theta_a, \quad \frac{M}{1+M} \frac{\partial x_s}{\partial \tau} = d_s \Delta \theta_s + d_a \Delta \theta_a, \quad (1)$$

$$\theta_s = \min\{1, x_s/\Theta\}.$$

Последнее соотношение означает, что нерастворенные капли мгновенно восполняют концентрацию раствора в клетке до насыщения. При $x_s < \Theta$ капли в клетках истощены. Характерный масштаб времени равен сумме двух времен: диффузии через мембрану и переноса по каналам апопласта. Принято, что эти два элемента структуры частицы составляет основное сопротивление.

Модель содержит три критерия подобия: M , $d_s M^{-1}$ и Θ . Первые два характеризуют время переноса по двум транспортным системам и через клеточную мембрану по отношению друг к другу. Третий параметр характеризует масличность сырья.

При асимптотическом разложении уравнений (1) по малому параметру Θ при $d_s = 0$ (одна транспортная система, $d_a = 1$) построены главные члены разложения в случае $M \gg 1$, что соответствует известной модели SC, и в случае $M \ll 1$, что соответствует пределу VC. Показано также, что в частице могут развиваться два пограничных слоя (рисунки 1 и 2), определены их характерные пространственные масштабы.

Анализ уравнений модели в случае двух транспортных систем, $d_s = 1 - d_a > 0$, показал, что в задаче вырождается массовый поток, и существует скачок текущих запасов масла в частице. Определена величина этого скачка, а также построен главный член разложения при $M \ll 1$. Проведен качественный анализ решения при различных значениях критерия $d_s M^{-1}$. Указаны условия возникновения предельного режима, для развития которого необходимо наличие двух транспортных систем.

Слова благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Республики Татарстан в рамках проектов 15-41-02542 р_поволжье_а и 16-31-00007 мол_а.

Иллюстрации

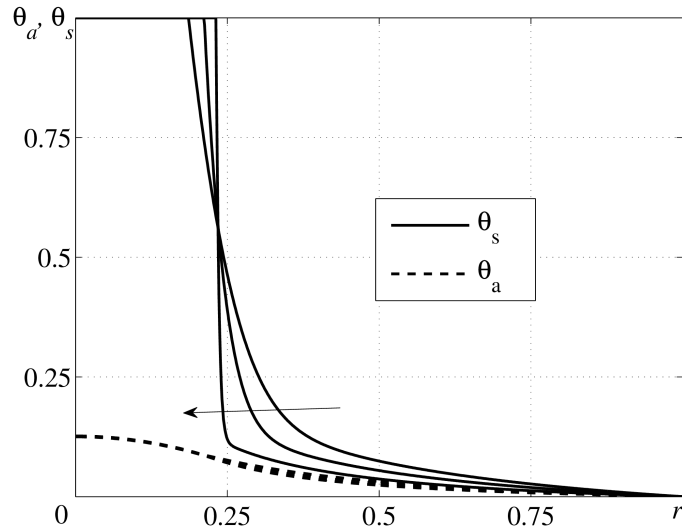


Рис. 1. Концентрации θ_a и θ_s при $\Theta = \{0.001, 0.01, 0.02\}$ и $M = 1$. Стрелка указывает направление убывания Θ

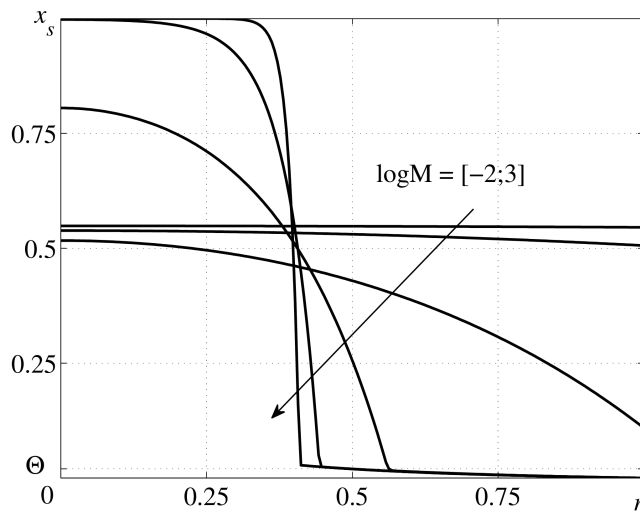


Рис. 2. Запасы масла x_s в клетках частицы при различных M и одинаковом безразмерном времени, $\Theta = 0.02$. Стрелка указывает направление роста $\log M$ с постоянным шагом, равным единице