Применение распределенных вычислений для моделирования процесса экстракции в маслоэкстракционных установках

К.Н. Цебренько

*Академия маркетинга и социально-информационных технологий – ИМСИТ
Краснодар*

Процессы экстракции являются определяющими в пищевой промышленности. Экстракционная технология используется при получении растительных и эфирных масел, ароматизаторов, белков структурообразователей, сахара, биологически активных веществ, пищевых фосфолипидов. Важная роль отводится процессам экстракционного выделения сырья в системах капиллярно-пористое твердое тело – жидкость.

Экстракционные установки представляют собой сложные системы машин и аппаратов. Все механизмы установки должны решать четкие технологические задачи, связанные с вопросами фазового равновесия, кинетики переноса вещества и теплоты, гидродинамики течения жидкости через пористые материалы [1-3]. Все эти факторы определяют параметры, касающиеся режимов работы машин: геометрические параметры рабочих органов, скорость движения материала, число ступеней переработки, подачу насосов, цикличность процесса экстрагирования. Одним из эффективных методов исследования сложных систем является компьютерное моделирование.

Основные фонды масложировой промышленности к настоящему времени морально и физически устаревают. В этой связи повсеместно проводится замена экстракционного оборудования, которое закупается за рубежом по очень высоким ценам. Ограниченные инвестиционные возможности ставят остро вопрос о разработке сравнительно недорого отечественного высокопроизводительного и высокоэффективного экстракционного оборудования.

На различных стадиях создания и совершенствования оборудования эффективно применяются методы математического моделирования. В основе математических моделей экстрагирования, разработанных аналитическим методом, лежат зависимости, описывающие межфазное равновесие в системе капиллярно-пористое твердое тело – жидкость, а также данные по кинетике процесса массообмена [2]. Равновесие определяет направление процесса и его движущую силу. С использованием равновесных данных также рассчитывается необходимое число теоретических ступеней разделения. Кинетика массообмена определяет размеры аппаратуры. Результаты моделирования равновесия учитываются при исследовании кинетики массообмена при экстрагировании [5].

Рассмотренные модели получены при большом количестве допущений и актуальны в ограниченном диапазоне свойств перерабатываемого материала и условий переработки. Многие ограничения позволяют отказаться от стохастических моделей, использование которых было неэффективно из-за недостаточной вычислительной мощности ЭВМ, реализующих математические модели рассматриваемых процессов. В этой связи актуальной является задача компьютерного моделирования процесса экстрагирования, которая учитывает все особенности массообмена в капиллярно-пористом масляном материале на все диапазоне свойств материала (которые зависят от партии сырья) и условий проведения процесса в современных экстракционных установках.

Целью работы является создание высокоэффективной технологической схемы и оборудования для обработки маслосодержащего растительного сырья на основе моделирования технологических процессов с использованием высокопроизводительных вычислительных систем.

Задачами настоящего исследования является проведение анализа работы технологических схем и оборудования в отечественной и зарубежной промышленности, патентах и периодической литературе. Системный анализ схем экстракционных установок, определение оптимальной структуры организации процесса экстрагирования. Проведение исследования массообмена в системах капиллярно-пористое твердое тело – жидкость. Разработка и идентификация математических моделей процессов массообмена между жидкостью и частицами твердого тела, нестационарного массообмена в отсутствие наружной жидкости при циклической организации процесса экстрагирования, массообмена в слое материала при движении экстрагента в различных режимах с использованием высокопроизводительных вычислительных систем. Разработка алгоритмов параллельных вычислений для реализации предложенных моделей в высокопроизводительной вычислительной системе. Оптимизация технологической схемы процесса экстрагирования на основе обработки результатов математического моделирования. Обобщение полученных результатов на различные режимы и способы подготовки сырья путем проведения численных экспериментов с использованием методов оптимизации в высокопроизводительной вычислительной системы.

Произведем оценку вычислительных ресурсов для решения поставленных задач путем формализации объекта. Компьютерная модель маслоэкстракционной установки представляет собой алгоритм параллельных вычислений, в котором каждый поток реализует модель технологического процесса для каждой ступени по ходу движения материала. Математическая модель ступени производит расчет кинетики тепло- и массопереноса в капиллярно - пористом материале и гидродинамику потоков жидкой фазы. Расчет кинетики невозможен без данных по гидродинамике, поэтому эти модели должны вычисляться параллельно на разных процессорных элементах. Количество ступеней для расчета в ленточном экстракторе, работающем по циклической схеме [3] следует принять равным 16. Для расчета установки потребуется как минимум 32 процессорных элемента. Если рассматривать восьмьюрусный карусельный экстрактор, то число элементов возрастает до 96. Опыт показывает, что вычислительных ресурсов ядра процессора Intel Xeon EM64T 2.333 GHz достаточно для решения задачи с приемлемой скоростью.

В результате выполнения работы будет получена компьютерная модель маслоэкстракционной установки, позволяющая получить данные работы экстрактора в широком диапазоне свойств сырья и методов обработки. Поставлена и решена задача оптимизации технологической схемы процесса экстрагирования, конструкции экстракционных установок с целью уменьшения затрат энергии, повышения производительности оборудования и роста качества продукта.

Математическое моделирование является известным подходом при исследовании процессов экстракции [6,9]. Используемые при этом допущения позволяют ограничиваться детерминированными моделями и рассматривать их решение независимо друг от друга. Например, принимается, что при стоке растворителя из слоя маслячного материала массообмен между наружной и поровой жидкостью отсутствует. Такое допущение с одной стороны упрощает задачу, но с другой снижает точность модели. Использование параллельных алгоритмов позволит снять подобные ограничения. Таким образом, использование суперкомпьютера является обязательным условием решения поставленных задач.

В связи с необходимостью параллельного расчета кинетики экстрагирования и гидродинамики потоков на разных ступенях экстракции мы получим довольно высокую эффективность использования вычислительного кластера. Ожидаемый коэффициент распараллеливания 75 %.

Выработанные предложения будут интересны предприятиям пищевой промышленности, осуществляющим переработку сырья экстракционным методом. Прежде всего, это предприятия масложировой промышленности.

Литература

1. Цебренько К.Н., Черкасов В.Н., Константинов Е.Н., Корнена Е.П. Совершенствование восьмиярусного карусельного экстрактора // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2004. - №4. – С. 86-89.
2. Цебренько К.Н., Константинов Е.Н., Деревенко В.В. Оптимизация структурной схемы экстракции при обезжиривании масличного материала // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2003. - №5-6. – С. 75-77.
3. Цебренько К.Н., Константинов Е.Н. Нестационарная массопередача при циклическом чередовании зон экстракции, стока и выдержки материала // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2003. - №5-6. – С. 113 - 115.
4. Цебренько К.Н., Константинов Е.Н. Разработка математической модели нестационарного массообмена при резком изменении начальных и граничных условий // Актуальные направления развития экологически безопасных технологий производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции // Материалы Международной научно-практической конференции – Том III / Воронеж, ВГАУ, 2003. - С. 129 - 132.
5. Цебренько К.Н. Автоматизация процессов пищевых производств при использовании электрофизических методов воздействия // Качество продукции, технологий и образования: Материалы научно-практической конференции. – Магнитогорск, 2007, с. 96 – 98.
6. Цебренько К.Н., Константинов Е.Н. Моделирование процесса экстракции с дополнительным подводом растворителя // Пищевая промышленность: интеграция науки, образования и производства - Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Кубан. Гос. Технол. Ун-т. - Краснодар: Изд. КубГТУ, 2005. - С. 141-148
7. Петрик А.А., Корнена Е.П., Герасименко Е.О., Бутина Е.А., Черкасов В.Н., Константинов В.Е., Константинов Е.Н., Цебренько К.Н. Устройство для экстракции масла растворителем из маслосодержащего материала // Патент на изобретение № 2002110065-13(010568) Устройство для экстракции масла растворителем из маслосодержащего материала
8. Деревенко В.В., Константинов Е.Н., Цебренько К.Н. Ленточный экстрактор для экстракции масличного материала // Патент на изобретение № 2002110065-13(010568) Устройство для экстракции масла растворителем из маслосодержащего материала
9. Цебренько К.Н., Константинов Е.Н. Математическое моделирование процесса циклической экстракции масла растворителем // Современные информационные технологии в науке, производстве и образовании. Сборник материалов международной научно-технической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2004. - С. 135-137.