

УДК 664.1.054

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПО КОЛЕБАТЕЛЬНОМУ МЕХАНИЗМУ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ

Т. М. Погорелый, И. М. Дмитренко

«Национальный университет пищевых технологий»,

г. Киев

Рекристаллизация имеет большое практическое значение на завершающем этапе уваривания сахарного утфеля, когда кристаллы находятся в соприкосновении и не могут двигаться индивидуально. Рекристаллизация способствует получению крупных и равномерных по величине кристаллов благодаря растворению мелких частиц дисперсной системы, т. е. улучшает гранулометрический состав конечного продукта – сахара.

В настоящее время исследователи не пришли к единому мнению в понимании механизма протекания процесса рекристаллизации. В любой из предложенных теорий рассматриваются индивидуальный рост и растворения частиц, а затем закономерности, полученные на одной частице, некоторые авторы механически переносят на коллективный рост и растворения частиц. Такой подход является не корректным с методологической точки зрения.

Исследователями НУПТ была предложена теория процесса рекристаллизации по колебательному механизму [1, 2], ключевое положение которой заключается в том, что одним из необходимых условий протекания процесса является периодическое колебание температуры или концентрации дисперсной среды, а механизм рекристаллизации сводится к асимметрическому влиянию линейного размера (массы) кристаллов на линейную (массовую) скорость их роста и растворения. В данной теории рассматривается ячеистая модель коллективного роста и растворения частиц дисперсной фазы, согласно которой в дисперсной системе, где частицы располагаются во всём объёме,

дисперсная среда не является общей для какой либо частицы, а распределяется между ними пропорционально их размера, создавая с частицами ячейки, из которых и происходит их рост и растворения.

За счёт неравномерности температурного поля в рабочем объёме промышленных вакуум-аппаратов, кристаллы сахарозы в процессе циркуляции попадают последовательно в охлаждённую и перегретую зоны.

В основе моделирования положена следующую физическую сторону задачи (рис. 1): в вакуум-аппарате периодического действия, на завершающей стадии процесса уваривания сахарного утфеля, i -я ячейка межкристального раствора сахарозы большего размера, контактируя с j -й ячейкой межкристального раствора сахарозы меньшего размера, попадают в пристенный перегретый слой раствора в кипяtilьной трубки во время циркуляции.

В данной работе приведены результаты по моделированию теплообмена между большей и меньшей ячейками межкристального раствора сахарозы с окружающим их раствором, при условии их попадания в перегретую зону рабочего объёма аппарата, для трёх трёхмерных областей, контактирующих между собой по идеальному закону теплообмена.

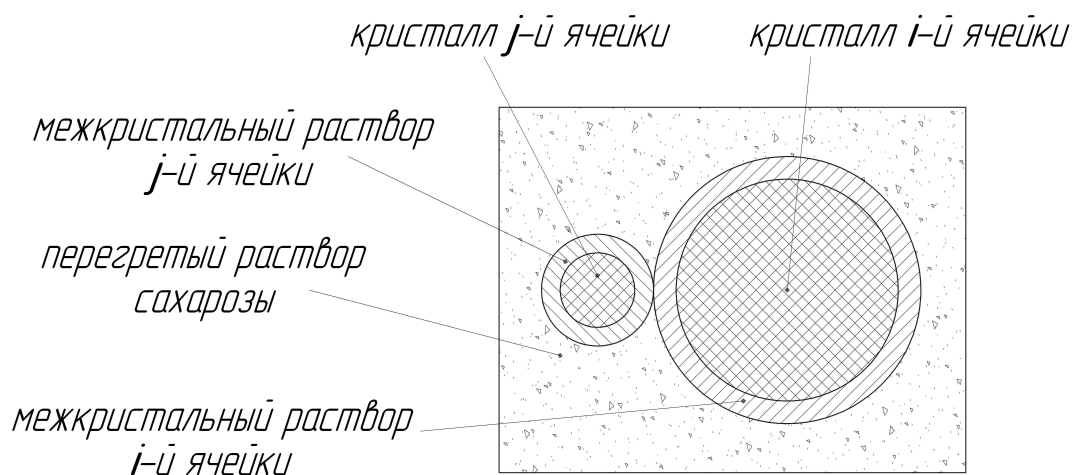


Рис. 1 – К описанию физической стороны задачи.

Решить данную задачу аналитически практически невозможно. Поэтому используем программный комплекс FlowVision, который основан на численных методах и предназначен для моделирования гидродинамики, теплообмена,

массообмена веществ в технических и природных объектах, а также визуализации этих процессов методами компьютерной графики.

В результате моделирования получаем распределение температур между контактирующими ячейками межкристального раствора сахарозы в момент относительного время уваривания сахарного утфеля 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0.

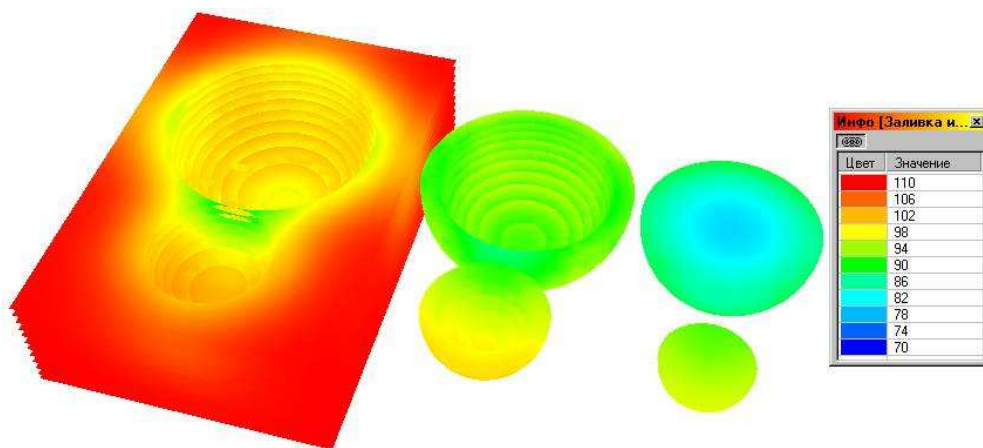


Рис. 2 – Распределение температуры между ячейками и кристаллами в момент относительного время уваривания сахарного утфеля 0,6.

Используя возможности ПК Flow Vision и программный продукт Excel 2003, строим следующие графики:

- Графики зависимости средней по координате температуры в i -м и j -м слоях межкристального раствора сахарозы ячеек от времени их контакта $T_{cp_i} = f(t)$, $T_{cp_j} = f(t)$ (рис. 3 а). Используя метод наименьших квадратов, получаем регрессионные модели, которые описывают полученные зависимости с высокой точностью (коэффициентом корреляции):

$$T_{cp_i} = 105,14 \cdot t^{0,05694}; \quad r = 0,9921. \quad (1)$$

$$T_{cp_j} = 114,2 \cdot t^{0,0825}; \quad r = 0,9963. \quad (2)$$

- Графики зависимости температуры в i -м и j -м кристаллах сахарозы от времени контакта ячеек в которых они заключены $T^{kp}_{cp_i} = f(t)$, $T^{kp}_{cp_j} = f(t)$ (рис. 3 б). Используя метод наименьших квадратов, получаем регрессионные

модели, которые описывают полученные зависимости с высокой точностью (коэффициентом корреляции):

$$T^{cp} cp_i = -4710,50 \cdot t^3 + 1092,10 \cdot t^2 + 65,25 \cdot t + 69,50 ; \quad r = 0,9995 . \quad (3)$$

$$T^{cp} cp_j = -1166,9 \cdot t^2 + 373,79 \cdot t + 67,708 ; \quad r = 0,9963 . \quad (4)$$

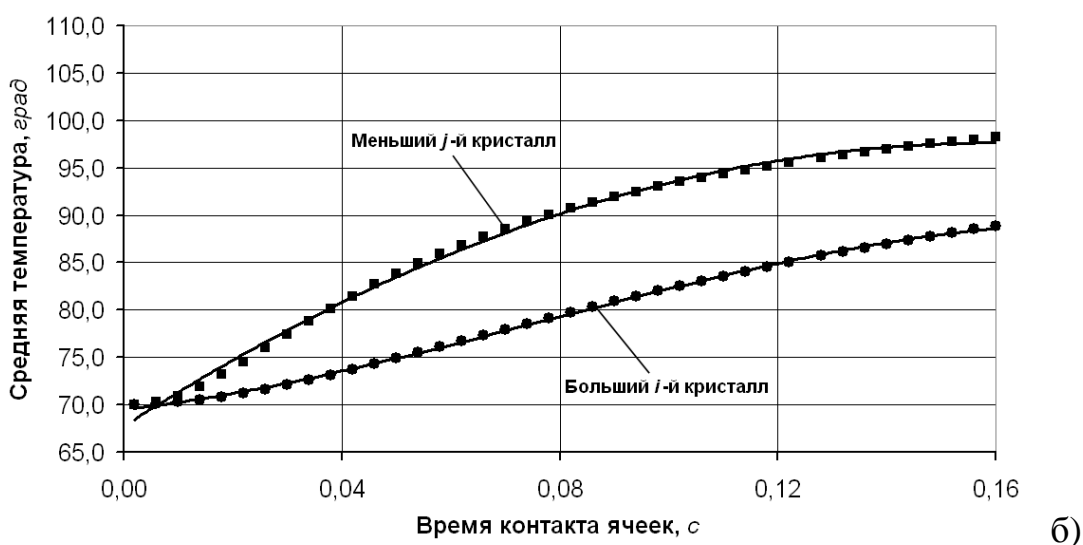
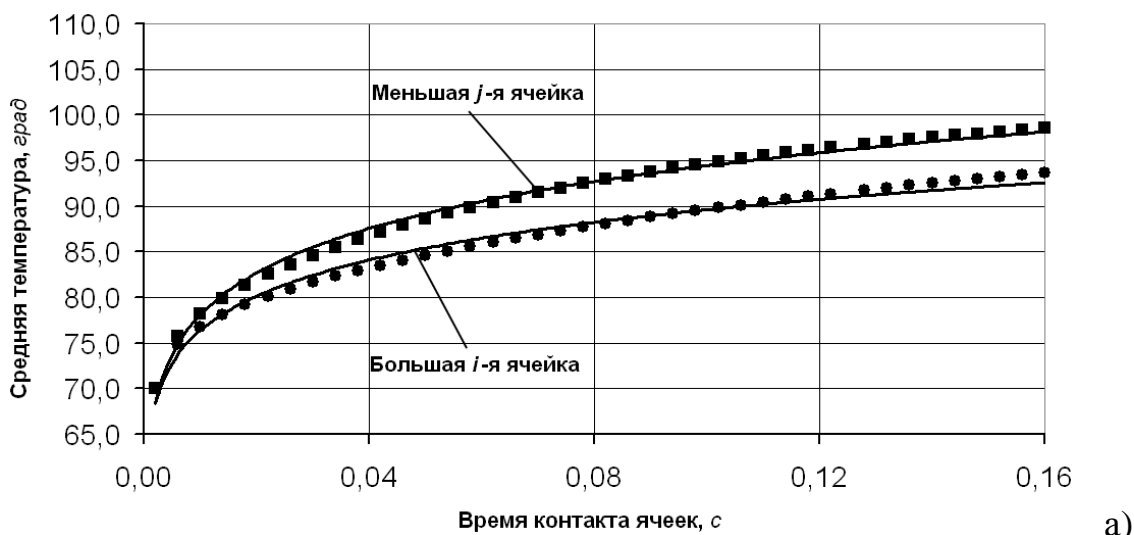


Рис. 3 – Графики зависимостей: а) $T_{cp_i} = f(t)$, $T_{cp_j} = f(t)$; б) $T^{cp} cp_i = f(t)$, $T^{cp} cp_j = f(t)$.

Результаты моделирования показывают, что, при одинаковых начальных условиях (температуры *i*-й и *j*-й ячеек межкристалльного раствора сахарозы равны между собой), в случае попадания контактирующих между собой большей *i*-й и меньшей *j*-й ячеек межкристалльного раствора сахарозы в перегретую зону рабочего объема аппарата, произойдет теплообмен с

окружающим перегретым раствором. Причём, j -я ячейка межкристального раствора сахарозы нагреется на большую температуру, а, следовательно, примет большее относительное количество теплоты (отношение количества теплоты к размеру ячейки) по отношению к i -й ячейке межкристального раствора сахарозы, при одинаковом времени контакта (рис. 3 а, 3 б). Следовательно, i -я ячейка будет нагреваться ещё и за счёт теплообмена с j -й ячейкой.

При нагревании ячеек увеличивается растворимость межкристального раствора сахарозы в слое, система *кристалл – слой межкристального раствора* будет стремиться перейти в состояния равновесия за счёт растворения кристалла. Растворимость межкристального раствора сахарозы в слое, который соответствует j -й ячейке, будет больше по сравнению с i -й ячейкой. Таким образом имеем разницу концентраций сахарозы в слоях межкристального раствора сахарозы, окружающих кристаллы различных размеров, что является необходимым и достаточным условием массообмена, в результате которого, часть молекул сахарозы с j -й ячейки начнёт переходить в направлении i -й ячейки. Растворение кристаллов будет продолжаться до тех пор, пока раствор межкристального раствора сахарозы в слое i -й ячейки не станет насыщенным.

В результате моделирования теплообмена между большей и меньшей ячейками межкристального раствора сахарозы с окружающим их раствором, при условии их попадания в перегретую зону рабочего объёма аппарата, были получены результаты, которые подтверждают ключевое положения теории процесса рекристаллизации по колебательному механизму.

Список литературы

1. Бажал И. Г. Переконденсация в дисперсных системах / И. Г. Бажал, О. Д. Куриленко — К.: Наукова думка, 1975. — 216 с.
2. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. В 2-х ч. Ч. 1. / В. О. Штангеев, В. Т. Кобер, Л. Г. Белостоцкий и др.; Под ред. В. О. Штангеева. — К.: “Цукор України”, 2004. — 352 с.