

На основании метода анализа размерностей получим степенную функцию зависимости коэффициента массоотдачи от определенных параметров:

$$\frac{M}{c} = (M)^a \cdot \left(\frac{K\mathcal{E}}{M^3}\right)^b \cdot \left(\frac{K\mathcal{E}}{M \cdot c}\right)^c \cdot \left(\frac{M^2}{c}\right)^e \cdot \left(\frac{M^2}{c^2}\right)^f \cdot \left(\frac{K\mathcal{E} \cdot M^2}{c^3}\right)^g \cdot \left(\frac{K\mathcal{E}}{M^3}\right)^h \cdot \left(\frac{M}{c^2}\right)^i \cdot \left(\frac{K\mathcal{E}}{c}\right)^j \cdot \left(\frac{K\mathcal{E}}{c}\right)^k \quad (1)$$

Действие бародиффузии за счет микроволнового поля определяется разностью давлений в зоне канала, величина которой пропорциональна энергии, необходимой для парообразования, т.е. величинам удельной теплоты парообразования  $\gamma$  и мощности поля  $N$ .

Для учета влияния микроволнового поля предлагается новый безразмерный комплекс, который получен в результате следующей комбинации:

$$\left(\frac{\mu^2}{d^2 \cdot r \cdot \rho^2}\right)^{-f} \cdot \left(\frac{N \cdot d \cdot \rho^2}{\mu^3}\right)^g \cdot \left(\frac{G_{\text{роз}}}{d \cdot \mu}\right)^{-1} = \frac{N}{G_{\text{роз}} \cdot r} = Bu \quad (2)$$

Модель процесса экстрагирования при микроволновом энергоподводе выражается зависимостью числа Шервуда ( $Sh$ ) от чисел Шмидта ( $Sc$ ), энергетического воздействия ( $Bu$ ) и безразмерного параметрического комплекса ( $\Gamma$ ), учитывающего значение гидромодуля.

$$Sh = A \cdot Sc^n \cdot \Gamma^m \cdot Bu^k \quad (3)$$

Число  $Bu$  показывает соотношение между энергией излучения и той энергией, которая необходима для преобразования в пар всего раствора, проходящего через экстрактор. Чем больше число  $Bu$ , тем больше образовывается паровой фазы, тем больше градиент давлений, тем интенсивнее выбросы насыщенного экстрагента из глубины капилляров, тем больше турбулизация пограничного слоя.

#### Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что в сравнении с классическими технологиями интенсификации процесса тепломассопереноса при использовании МВ-техники представляется реальным и очень перспективным.

На основании полученных данных, видим, за счет влияния электромагнитного поля можно получить больший процентный выход масла с более ценными компонентами, сократить длительность технологического процесса и интенсифицировать его, а также снизить затраты энергии.

#### Литература

1. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе-вода». Одесса, 2007.-176 с.
2. Буйвол С.М. Узагальнення бази експериментальних даних при екстрагуванні рослинної сировини в електромагнітному полі [Текст] / С.М. Буйвол, О.Г. Бурдо // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь – 2011 – Вип. 11 – Том 6 – С. 234 – 238.

УДК 664.723.047

## ЭЛЕКТРОДИФФУЗИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ТЕРМОСИФОННЫХ АППАРАТАХ

Терзиев С.Г., Кураков О.М.

Одесская национальная академия пищевых технологий

*Анализируются проблемы потерь энергии и готового продукта при сушке пищевых продуктов. Рассматривается цепь термических и диффузионных сопротивлений при движении паропылегазового потока в термосифонном утилизаторе. Формулируется сопряженная задача тепломассопереноса в пучке двухфазных термосифонов.*

*The problems of energy and finished product loss during food products drying are being analyzed. The chain of thermal and diffusion resistances during vapor-dust-gas flow in thermosyphon utilizer is considered. The heat-and-mass transfer adjoint problem in two-phase thermosyphon bundle is formulated.*

**Ключевые слова:** технологии сушки, энергоэффективность, тепломассоперенос, аэрозольные потоки, термосифоны.

**Введение.** Вопросы, связанные с расчетом процессов массопереноса от паропылегазового потока в аппарате являются не тривиальными, отличаются спецификой и в литературе представлены только частными случаями. Специфика аэрозольных потоков пищевых производств в процессах массопереноса рассматривается только в работах ОНАПТ [1].

Сложность задачи объясняется как особенностями аэрозольных потоков пищевых производств, так и комбинированным протеканием процессов тепломассопереноса и аэродинамики. Вместе с тем, процессы взаимодействия отработавшего теплоносителя и реагирующих частиц пыли пищевого продукта являются ключевыми в оценке эффективности работы тепломассоутилизатора.

Схема очистки аэрозольного потока в тепломассоутилизаторе. В пищевых технологиях наибольший температурный потенциал имеет отработавший теплоноситель крахмало-паточного производства. Здесь же и самые высокие потери продукта, достаточное и количество водяных паров в теплоносителе. Наибольшие расходы теплоносителя характерны для сахарных производств [2]. Поскольку, общие потери продукта и теплоты определяются как удельными параметрами, так и расходом теплоносителя, оценим суммарные потери продукта (рис.1) и теплоты (рис.2) с одной сушильной установки за год.

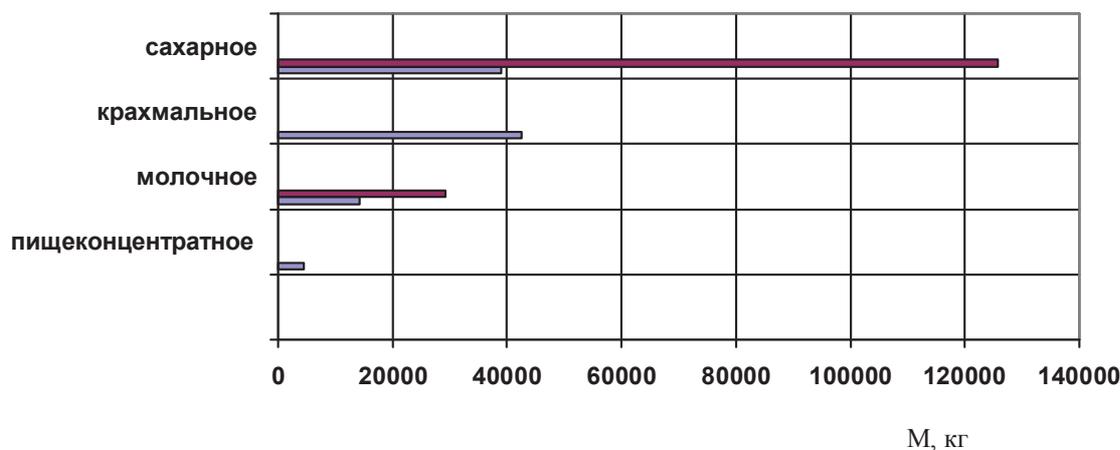


Рис. 1 – Диапазоны потерь продукта в технологиях

Анализ рис.1 показывает, что с одной установки в год теряется от 40 до 126 т сахара, от 14 до 30 т сухого молока. Следовательно, проблема извлечения пыли пищевого продукта из отработавшего сушильного агента для Украины чрезвычайно актуальна.

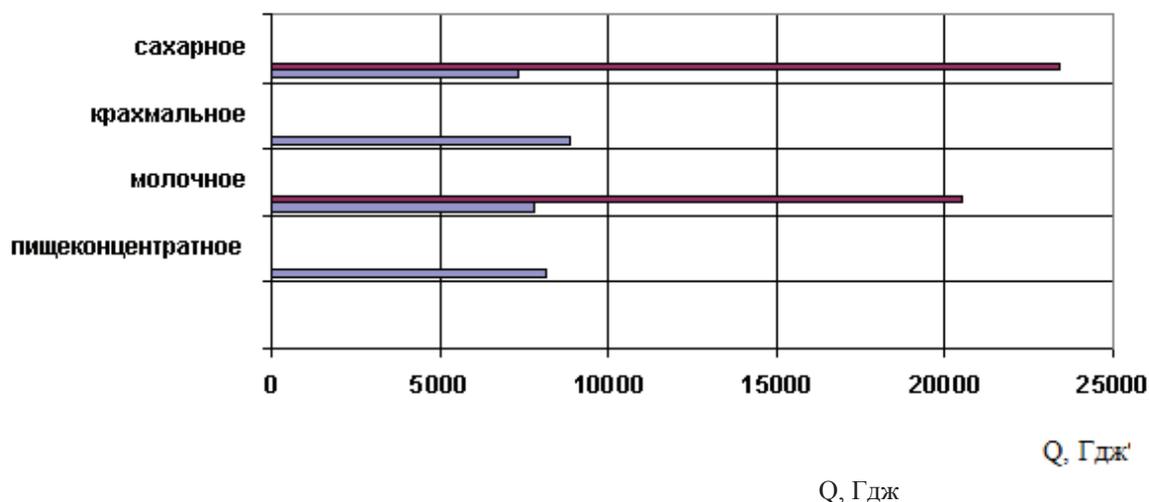
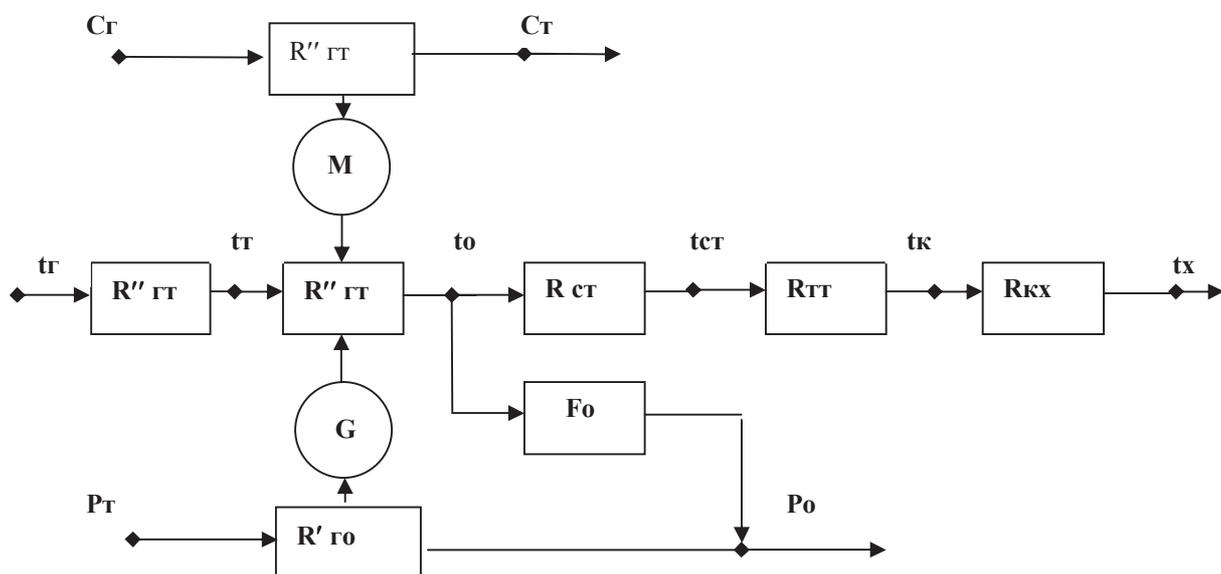


Рис. 2 – Диапазоны потерь теплоты в технологиях

Представляется, что второй проблемой, которая не рассматривалась в исследованиях [2 - 4], является оптимизация эксплуатационных характеристик термосифонных утилизаторов, их конструирование и организация их работы таким образом, чтобы обеспечить максимальную прибыль от возврата в техноло-

гию продукта и теплоты. Причем, критерии оценки эффективности эксплуатации термосифонных утилизаторов теплоты и пыли пищевого продукта должны учитывать особенности конструкции аппарата

Электродиффузионной модели. Схема протекания комбинированных процессов поясняется с помощью электродиффузионной модели (рис.3).



**Рис. 3 – Электродиффузионная модель комбинированных процессов тепло-массопереноса для  $i$ -го ряда термосифонов**

Для  $i$ -го ряда термосифонов цепь термических сопротивлений (рис.3) включает:

- $R_{gt}$  (конвективная теплоотдача от горячего аэрозольного потока к поверхности ТС), температура потока изменяется от входного значения  $t_g$  до температуры поверхности  $t_t$ ;
- $R_{to}$  (теплопроводность через слой загрязнений), температура снижается от  $t_t$  до температуры основания ТС  $t_o$ ;
- $R_{ct}$  (теплопроводность через стенку ТС), температура становится равной температуре стенки ТС на участке испарения  $t_{ct}$ ;
- $R_i$  (теплообмен при испарении в ТС), достигается температура насыщения  $t_s$ , которая практически сохраняется и на участке конденсации ТС;
- $R_k$  (теплообмен при конденсации внутри ТС), а  $t_k$  – температура поверхности конденсатора ТС;
- $R_{tt} = R_i + R_k$ ;
- $R_{kx}$  (теплоотдача от поверхности ТС к нагреваемому холодному воздуху), при этом достигается температура холодного потока  $t_x$  на  $i$ -м ТС.

Сопряженность процессов тепло-массообмена связана с тем, что значение  $R_{to}$  формируется под действием двух массообменных процессов: переноса массы пыли  $M$  из аэрозольного потока на поверхность ТС (т.е. толщины слоя загрязнений) и образования жидкой фазы на поверхности ТС в количестве  $G$  в результате парциальной конденсации водяных паров из паропылегазового потока. Естественно, при взаимодействии конденсата с пылью происходит структурное изменение слоя.

Значение ключевой температуры в этих комбинированных процессах  $t_o$  определяется как количеством осевшей пыли  $M$ , так и интенсивностью парциальной конденсации. В свою очередь, величина  $G$  пропорциональна движущей силе процесса, т.е. разности парциальных давлений водяных паров на входе в ряд ТС ( $P_t$ ) и при температуре стенки испарителей ТС ( $P_o$ ). Поскольку, существует функциональная зависимость ( $F_o$ ) значения  $P_o$  от температуры  $t_o$ , то выявляется сопряженность процессов тепло-массопереноса.

Массоперенос пыли на поверхность ТС учитывается сопротивлением  $R''_{gt}$ , влияние на интенсивность этого процесса оказывает аэродинамическая ситуация при омывании потоком пучка ТС. С этим условием связана еще и зависимость процессов тепло-массопереноса от аэродинамики в аппарате. Кроме

этого, поток, концентрация пыли в котором после оседания  $G$  становится  $C_T$  может взаимодействовать со стекающим с поверхности ТС раствором, что тоже следует учитывать в расчетах. Так, с помощью рис.3 поясняется схема комбинированного характера процессов переноса в тепломассоутилизаторе.

Постановка задачи конвективного массотеплопереноса при взаимодействии дисперсных компонентов в потоке. Проанализируем задачу взаимодействия капель конденсата и частиц пыли продукта в потоке теплоносителя в межтрубном пространстве тепломассоутилизатора. Результатом такого межфазного переноса будет изменение поля концентраций пыли в потоке [5].

При постановке задачи считается, что баро- и термодиффузия пренебрежимо малы, перенос теплоты излучением отсутствует, а плотность и вязкость потока не зависят от концентрации и температуры. Следовательно, распределения концентраций и температуры не оказывают влияния на обтекание частицы и капли. Это дает возможность независимого анализа аэродинамической задачи о вязком обтекании и диффузионно-тепловой задачи о полях концентрации и температуры. То есть, необходимая для решения диффузионно-тепловой задачи информация о поле скоростей считается известной.

При таких допущениях перенос массы пыли пищевого продукта в каплю конденсата сопровождается растворением пыли в объеме капли, а процесс конвективной диффузии выражается соотношением:

$$\frac{\partial C_T}{\partial \tau} + (W * \nabla)C_T = D\Delta C_T + F_m(C_T, X_K, t_P) \quad (1)$$

В соотношении (1)  $W$  – вектор скорости потока,  $F_m$  – скорость растворения пыли в объеме капли (определяется как количество пыли, поглощаемое в единице объема в единицу времени),  $t_P$  – температура смеси.

Поскольку, частицы пыли и капли конденсата имеют разную начальную (до взаимодействия) температуру, то процесс растворения является неизотермическим, т.е. необходимо уравнение переноса теплоты:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + (W * \nabla)T_P = a\Delta T_P + H_m F_m \quad (2)$$

Здесь  $H_m$  – тепловой эффект процесса растворения.

Интенсивность процессов межфазного теплопереноса в пространстве между рядами термосифонов в значительной степени определяется режимом движения потока, поведением частицы пыли и капли конденсата. Физические процессы, лежащие в основе взаимодействия фаз потока, весьма разнообразны, определяются структурой потока, конструктивными особенностями аппарата и теплофизическими свойствами компонентов.

#### Выводы

В работе поставлена задача моделирования сопряженных процессов теплопереноса паропылегазового потока в аппаратах с двухфазными термосифонами. Учитываются эффекты межфазного взаимодействия конденсата и реагирующих с ним частиц пыли пищевого продукта.

#### Литература

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.
2. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
3. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. Энергетический аспект /Труды межд. науч. тех. сем. Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов. – Воронеж: 2010.- с. 478-487.
4. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии// Труды IV Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов СЭТТ-2011)». – Т.1, Москва, 2011. – С. 422 – 426.
5. Терзиев С.Г. Моделирование задач теплопереноса при взаимодействии дисперсных компонентов в аэрозольных потоках. //Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2006. – Вип.28, Т2. – с.182-186.