

УДК 665.37.03.047.2:66.015.23

С. Алтайулы

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ФОСФОЛИПИДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПОДСОЛНЕЧНЫХ МАСЕЛ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РОТАЦИОННО-ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ

Исследована работа новой конструкции цилиндрического ротационно-пленочного аппарата с целью интенсификации процесса сушки, позволяющей снизить динамическое воздействие на привод ротора, что приводит к более стабильному перемещению пленки продукта по длине аппарата, а также повысить эффективность выделения из парогазожировой смеси водяного пара и частиц готового продукта.

Ротационно-пленочный аппарат, фосфолипидная эмульсия.

### Введение

Для выведения из нерафинированного подсолнечного масла сопутствующих веществ, таких как фосфолипиды и другие гидрофильные включения, проводят технологическую операцию – гидратацию. В процессе гидратации такого масла фосфолипиды впитывают воду и, коагулируясь, выпадают в осадок. При дальнейшей обработке центрифугированием на сепараторе сырое масло разделяется на гидратированное масло и влажную фосфолипидную эмульсию, после чего необходима их сушка. Фосфолипидные концентраты могут быть использованы для повышения пищевой ценности хлебобулочных и кондитерских изделий, маргаринов, шоколада, заменителей цельного молока и других продуктов питания. При сушке фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел не допускаются длительные температурные воздействия на них, приводящие к перегреву и связанному с этим ухудшению цвета, вкуса и запаха готового концентрата.

Целью данной работы является исследование интенсификации процесса сушки в новой конструкции ротационно-пленочного аппарата, обеспечивающей кратковременное пребывание в нем обрабатываемого продукта, и получение готового фосфолипидного концентрата подсолнечных масел с сохранением регламентированных качественных показателей конечного продукта.

Были решены следующие задачи:

– определение критического критерия производительности и критерия мощности при изменении частоты вращения ротора ротационно-пленочного аппарата, необходимой для привода его во вращение;

– определение оптимальных параметров гидромеханического режима движения фосфолипидной эмульсии в ротационно-пленочном аппарате для интенсификации процесса сушки: сравнительный анализ изменения влажности исходного фосфолипидного концентрата в зависимости от длины аппарата и скорости подачи продукта; сравнительный анализ влияния угловой скорости ротора на среднюю скорость горизонтального движения фосфолипидных концентратов и на затрачиваемую мощность враще-

ния ротора цилиндрического горизонтального ротационно-пленочного аппарата.

Для проведения процесса сушки фосфолипидных эмульсий растительных масел применяются ротационно-пленочные аппараты [1, 2]. Вращающийся ротор распределяет жидкость тонким слоем в зазоре между лопастями ротора и внутренней цилиндрической поверхностью аппарата. Постепенно перемещаясь в осевом направлении, пленка обезвоживается и по достижении конечного влагосодержания выводится из аппарата через выходной патрубок. По мере удаления влаги вязкость фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел вначале увеличивается (по своей консистенции они напоминают рыхлую массу). При дальнейшем обезвоживании вязкость фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел уменьшается, текучесть увеличивается, а удаление влаги происходит в условиях сильного пенообразования. По достижении влажности фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел примерно 4 % пенообразование прекращается, и при влажности 1...2 % текучесть снова уменьшается, поэтому фосфолипидный концентрат, имеющий такую влажность, застывает при комнатной температуре. При дальнейшем обезвоживании, когда влажность фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел составляет менее 1 %, текучесть фосфолипидного концентрата вновь увеличивается, поэтому целесообразно получать готовый продукт, имеющий влажность менее 1 %.

Наиболее близким по конструкции и достигаемому эффекту является горизонтальный цилиндрический ротационно-пленочный аппарат [3], предназначенный для проведения процесса сушки фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел.

Коэффициент теплопередачи при сушке фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел в ротационно-пленочных аппаратах составляет в среднем 500–600 Вт/(м<sup>2</sup>·К), а время их пребывания в аппарате не превышает 5...10 с, в то время как в традиционных вакуум-сушильных аппаратах периодического действия сушка фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел производится в течение 2...8 ч. Исключительно малая продолжительность процесса сушки в ротационно-пленочных аппаратах благо-

приятно влияет на качество получаемых фосфолипидных концентратов подсолнечных масел.

К недостаткам этих ротационно-пленочных аппаратов следует отнести то, что исходная обрабатываемая фосфолипидная эмульсия подсолнечных масел, содержащая влагу, во время процесса сушки перемещается вдоль корпуса аппарата вместе с выпаренными из нее парами влаги и летучими веществами. По мере удаления от входного патрубка насыщенность парогазовой смеси увеличивается и, соответственно, ее способность впитывать вновь выпаренные летучие вещества и пары влаги уменьшается, что приводит к дополнительному расходу теплоты. Кроме этого, неравномерное распределение продукта по внутренней поверхности аппарата приводит к динамическому воздействию на привод ротора и неустойчивому перемещению пленки продукта по длине аппарата, а также неэффективному выделению из парогазожировой смеси водяного пара и частиц готового продукта. Для устранения этих недостатков разработана новая конструкция горизонтального цилиндрического ротационно-пленочного аппарата.

#### Объекты и методы исследований

Для испытания использовались партии заводских влажных фосфолипидных эмульсий пресовых подсолнечных масел. Исходный гидратационный осадок (фосфолипидная эмульсия) с начальной влажностью 55...65 % и температурой 333...343 К из сепаратора шестеренчатым насосом подавался в горизонтальный цилиндрический ротационно-пленочный аппарат, в котором интенсивно удалялась влага до 1 % к общей массе. Остаточное давление в аппарате 2,5 кПа. Максимальное давление греющего пара до 0,2 МПа. Ротор вращался с частотой от 0 до 10 с<sup>-1</sup>. Количество расходуемого тепла определялось по разности температуры пара и конденсата и давлению пара. Расход исходного продукта в виде жидкости определялся расходомером. Количество готового продукта определялось изменением веса в течение каждых 10 мин. Влажность исходного и конечного продукта, содержание фосфолипидов, содержание жира и другие качественные показатели определялись стандартным методом [1].

Оптимальные гидродинамические режимы движения жидкостей в ротационно-пленочных теплообменных аппаратах должны обеспечивать минимальные затраты энергии при максимальной интенсивности процесса и улучшить качественные показатели высушенных фосфолипидных концентратов подсолнечных масел.

В горизонтальных ротационно-пленочных аппаратах конической и цилиндрической формы плотность орошения в верхних частях аппарата ниже, чем в нижних, вследствие испарения части жидкости. Это может приводить к разрывам пленки и ухудшению условий обработки продукта. Указанный недостаток в известной степени преодолевается в горизонтальных аппаратах с конической и цилиндрической формой ротора за счет регулирования частоты вращения ротора.

#### Результаты и их обсуждение

В новой конструкции аппарата лопасти ротора имеют винтообразный и прямолинейный участки, отделенные друг от друга по высоте перегородкой, нижняя часть которой имеет плавный скругленный переход к цилиндрической части ротора. Внутри полости ротора на границе перехода от винтообразного участка лопастей ротора к прямолинейному участку лопастей установлена перегородка, которая также разделяет полости перфорированной и сплошной частей ротора. При этом патрубки для ввода исходного продукта расположены в районе действия лопастей ротора в верхней и нижней части крышки, размещенной на левом торце цилиндрического корпуса, а за сепарационным отбойником установлено неподвижное сепарационное кольцо [4].

На рис. 1 представлен общий вид в разрезе и поперечное сечение предлагаемого цилиндрического ротационно-пленочного аппарата.

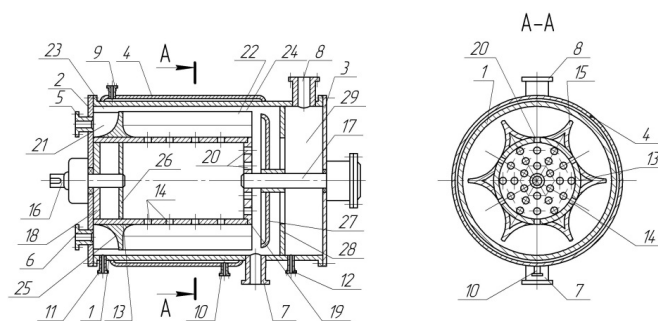


Рис. 1. Цилиндрический ротационно-пленочный аппарат: 1 – цилиндрический корпус; 2, 3 – крышки; 4 – греющая рубашка; 5, 6 – патрубки для ввода исходного продукта; 7 – патрубок для вывода готового продукта; 8 – патрубок для присоединения к вакуумной системе; 9, 10 – патрубки для подвода пара и отвода конденсата из греющей рубашки; 11, 12 – патрубки для слива остаточной фосфолипидной эмульсии и остаточного парожирового конденсата от аппарата; 13 – перфорированный ротор; 14, 20 – отверстия; 15 – лопасти; 16, 17 – валы; 18 – диск; 19 – диск перфорированный; 21, 22 – винтообразный и прямолинейный участки лопасти ротора; 23, 24 – зазоры; 25, 26 – перегородки; 27 – сепарационный отбойник тарельчатого типа; 28 – неподвижное сепарационное кольцо; 29 – сепарационная камера

Цилиндрический ротационно-пленочный аппарат (см. рис. 1) содержит цилиндрический корпус 1 с крышками 2, 3, имеющий греющую рубашку 4 и патрубки 5 и 6 для ввода исходного продукта, расположенные в верхней и нижней части крышки 2, а также патрубок 7 для вывода готового продукта. Для присоединения к вакуумной системе аппарата служит патрубок 8. Для подвода пара и отвода конденсата из греющей рубашки 4 предназначены патрубки 9 и 10, расположенные в верхней и нижней части корпуса 1. Для технологических нужд аппарат снабжен патрубками 11 и 12 (для слива остаточной фосфолипидной эмульсии и остаточного парожирового конденсата от аппарата). Внутри корпуса 1 размещен с возможностью вращения перфорированный ротор 13 с отверстиями 14 и со звездообразным сечением, вершины которого являются его лопастями 15, закрепленный на валах 16, 17 с помо-

щью дисков 18 и 19. При этом диск 19 выполнен перфорированным с отверстиями 20. Лопасти 15 ротора 13 имеют винтообразный и прямолинейный участки 21 и 22. При этом расположение патрубков 5 и 6 для ввода исходного продукта на крышке 2 находится в зоне действия лопастей 15 ротора 13 (винтообразного его участка 21). Кромки лопастей 15 ротора 13 расположены параллельно образующей внутренней поверхности цилиндрического корпуса 1 с постоянными определенными зазорами 23 и 24, соответствующими винтообразному и прямолинейному участкам лопастей 21, 22. При этом зазор 23 на винтообразном участке 21 выполнен большим, чем зазор 24 на последующем прямолинейном участке 22 лопастей 15 ротора 13. Винтообразный участок 21 по высоте лопасти 15 ограничен перегородкой 25, нижняя часть которой имеет плавный скругленный переход к цилиндрической части ротора 13. А внутри полости ротора 13 на границе перехода от винтообразного участка 21 лопастей 15 ротора 13 к прямолинейному участку 22 лопастей 15 установлена перегородка 26, которая также отделяет перфорированную часть ротора 13 от сплошной части. На правом валу 17 ротора 13, помимо диска 19, установлен сепарационный отбойник тарельчатого типа 27. За сепарационным отбойником 27 установлено неподвижное сепарационное кольцо 28. Между сепарационным отбойником 27 и крышкой 3 корпуса 1 образована сепарационная камера 29.

Предлагаемый цилиндрический ротационно-пленочный аппарат работает следующим образом: исходный обрабатываемый продукт поступает через патрубки 5 и 6 во внутреннее пространство корпуса 1, где попадает на лопасти 15 винтообразного участка 21 вращающегося ротора 13 и под действием центробежных сил наносится на внутреннюю поверхность корпуса 1, обогреваемого через греющую рубашку 4 паром. С помощью винтообразного участка 21 продукт равномерно распределяется по внутренней поверхности корпуса 1, формируется равномерный слой продукта и обеспечивается его поступательное перемещение по внутренней поверхности корпуса 1 аппарата. Обрабатываемый продукт последовательно перемещается вместе с выпаренными из продукта парами влаги вдоль корпуса 1 аппарата к выходу и выводится из него через патрубок 7. Образовавшаяся в результате выпаривания парогазожировая смесь через межлопастное пространство прямолинейного участка 22, отверстия 14 перфорированного ротора 13 и отверстия 20 диска 19, предварительно взаимодействующая с сепарационным отбойником 27 и кольцом 28 для выделения из нее жидкой фазы готового продукта, отсасывается вакуумной системой (не показана) через патрубок 8.

Расположение патрубков в верхней и нижней части крышки позволяет равномерно вводить продукт в аппарат и распределять его по внутренней поверхности корпуса, что ведет к снижению динамического воздействия на привод барабана.

Установка за сепарационным отбойником дополнительного неподвижного сепарационного кольца позволяет повысить эффективность и надежность

выделения из парогазожировой смеси водяного пара и частиц готового продукта.

При создании ротационно-пленочных аппаратов для сушки фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел было введено понятие критической производительности горизонтальных ротационно-пленочных аппаратов по обрабатываемому продукту, соответствующей условию наступления полного орошения рабочей поверхности и переходу от доосновного режима пленкообразования к основному режиму. Для расчетной оценки этих условий был предложен так называемый критерий производительности:

$$K_{\Pi} = \Pi v / (g \cdot d \cdot \Delta^3), \quad (1)$$

характеризующий взаимосвязь сил трения и сил тяжести в потоке обрабатываемого продукта и являющийся соотношением общеизвестных гидродинамических критериев Фруда и Рейнольдса.

Критический критерий производительности  $K_{\Pi_{кр}}$  характеризующий условие окончания доосновного режима пленкообразования и начала основного режима, рекомендуется определять по следующему уравнению:

$$K_{\Pi_{кр}} = 5,56 \cdot 10^6 \cdot \text{Re}^{-2} \left( \frac{\mu_n}{\mu} \right)^{1,25} \quad (2)$$

где  $K_{\Pi_{кр}} = \Pi_{кр} v / (g \cdot d \cdot \Delta^3)$  – критический критерий производительности;  $\text{Re}_{ц} = nd \cdot \Delta / v$  – центробежный критерий Рейнольдса.

Если предусматривается работа ротационно-пленочных аппаратов в режимах с изменением частоты вращения ротора, то для расчета мощности, необходимой для привода его во вращение, рекомендуется уравнение вида:

$$K_N = 0,18 \cdot \text{Re}_{ц}^{0,7} + 3160 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{2,25} \text{Re}^{1,5} \cdot K_{\Pi}, \quad (3)$$

где  $K_N = N \Delta / (\mu \cdot h \cdot d^3 \cdot n^2)$  – критерий мощности.

В уравнениях (2) и (3) и условиях их справедливости обозначено:  $\mu_n$  – динамический коэффициент вязкости паровой фазы;  $\mu$  и  $v$  – соответственно динамический и кинематический коэффициенты вязкости продукта;  $\Pi_{кр}$  – критическая производительность аппарата по обрабатываемому продукту, соответствующая границе доосновного и основного режимов пленкообразования;  $g$  – ускорение свободного падения;  $d$ ,  $\Delta$  – соответственно диаметр рабочей поверхности и радиальный зазор между концами лопастей и корпусом;  $n$  – частота вращения ротора;  $N$  – мощность, необходимая для вращения ротора и расходуемая на пленкообразование обрабатываемого продукта;  $h$  – длина рабочей поверхности.

Для определения изменения влажности фосфолипидного (гидратационного) осадка по длине аппарата при заданной скорости подачи продукта в аппарат был проведен сравнительный анализ на основе экспериментальных данных и получена зависимость изменения влажности фосфолипидных концентратов по длине цилиндрического горизонтального ротационно-пленочного аппарата в различных

аппаратах (известном [2] и предлагаемом [4]), которая приведена на рис. 2. При применении предлагаемого аппарата конечная необходимая влажность фосфолипидного концентрата получена на длине аппарата 1,0...1,2 м (см. рис. 2, кривая 2).

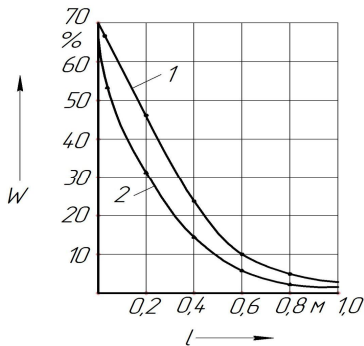


Рис. 2. Зависимость изменения влажности исходных фосфолипидных концентратов по длине цилиндрического горизонтального ротационно-пленочного аппарата в различных аппаратах: 1 – в известном аппарате; 2 – в предлагаемом аппарате

Изменение влажности исходных фосфолипидных концентратов от скорости подачи исходного продукта, отнесенной к единице длины цилиндрического горизонтального ротационно-пленочного аппарата, в различных аппаратах приведено на рис. 3. Чтобы получить максимальную производительность аппарата, необходимо увеличить скорость подачи продукта. Увеличение выхода продукта увеличивает скорость его движения за счет центробежной силы, возникающей при вращении винтообразного участка лопастей аппарата (см. рис. 3, кривая 2).

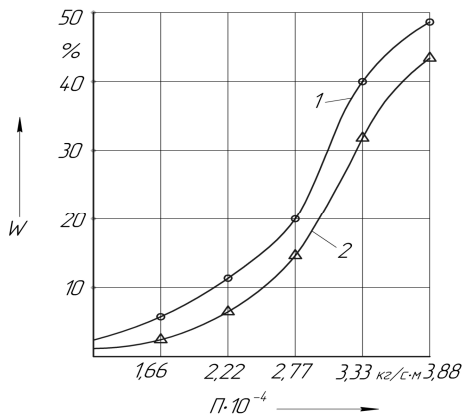


Рис. 3. Изменение влажности исходных фосфолипидных концентратов от скорости подачи исходного продукта, отнесенной к единице длины цилиндрического горизонтального ротационно-пленочного аппарата, в различных аппаратах: 1 – в известном аппарате [1–3]; 2 – в предлагаемом аппарате [4]

Одним из основных параметров, определяющих интенсивность гидродинамических процессов в ротационно-пленочном аппарате, является частота вращения ротора  $\omega_0$ . Для изучения влияния  $\omega_0$  на характер движения фосфолипидных эмульсий провели серию экспериментов, в пределах которой изменяли частоту  $\omega_0$  от 0 до  $10 \text{ c}^{-1}$  с шагом  $0,5$  или

$1,0 \text{ c}^{-1}$  (в диапазоне низких и высоких частот вращения соответственно).

Важной характеристикой ротационно-пленочного аппарата является средняя скорость движения фосфолипидных эмульсий в осевом направлении  $v_{x \text{ ср}}$  (рис. 4). При вращении ротора растекание фосфолипидной эмульсии и ее разбрызгивание идет во всех направлениях, поэтому вдоль оси аппарата быстро выравниваются все параметры эмульсии (в частности, концентрация воды). В то же время в ротационно-пленочном аппарате, чтобы он мог работать в непрерывном режиме, необходимо добиться постепенного изменения концентрации фосфолипидных эмульсий вдоль оси аппарата. Поэтому ротационно-пленочные аппараты обычно сильно вытянуты в осевом направлении. Для минимизации габаритов ротационно-пленочного аппарата необходимо, чтобы осевая скорость движения фосфолипидных эмульсий  $v_{x \text{ ср}}$  была как можно меньше. Анализируя график на рис. 4 (кривые 1, 2), можно заключить, что при частоте вращения до  $2 \text{ c}^{-1}$  скорость  $v_{x \text{ ср}}$  имеет очень низкие значения, а при частоте выше  $2 \text{ c}^{-1}$  скорость  $v_{x \text{ ср}}$  начинает резко расти.

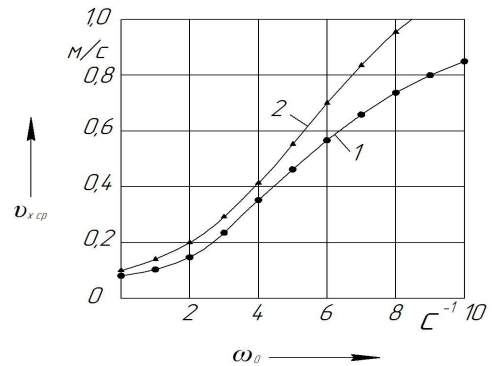


Рис. 4. Влияние угловой скорости ротора  $\omega_0$  на среднюю скорость горизонтального движения фосфолипидных концентратов в различных аппаратах: 1 – в известном аппарате [1–3]; 2 – в предлагаемом аппарате [4]

При частоте эффективного разбрызгивания эмульсии ( $3...4 \text{ c}^{-1}$ ) осевая скорость движения жидкости составляет  $0,20...0,33 \text{ м/с}$ , что вполне приемлемо и не ведет к существенному увеличению длины ротационно-пленочного аппарата. Учитывая, что характерное время пребывания эмульсии в аппарате составляет порядка  $10 \text{ с}$ , при таких скоростях  $v_{x \text{ ср}}$  длина аппарата должна составлять  $0,8...1,0 \text{ м}$ .

Наиболее важной характеристикой ротационно-пленочного аппарата является мощность  $N$ , затрачиваемая на вращение ротора и, соответственно, на интенсификацию движения фосфолипидной эмульсии в аппарате. Из графика (рис. 5, кривые 1 [1–3], 2 [4]) видно, что зависимость  $N = f(\omega_0)$  является практически квадратичной  $N \sim \omega_0^2$  до  $5 \text{ c}^{-1}$ , а затем переходит в линейную. Это связано в первую очередь с характером сдвигового течения продукта в тонком слое при перемешивании лопастями ротора. Увеличение частоты вращения ротора свыше  $5 \text{ c}^{-1}$  нежелательно не только с точки зрения минимизации осевой скорости  $v_{x \text{ ср}}$ , но и с точки зрения минимизации затрачиваемой мощности.

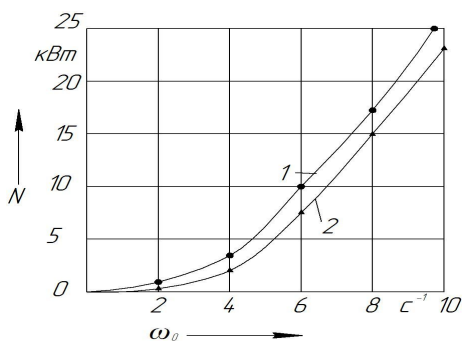


Рис. 5. Влияние угловой скорости ротора  $\omega_0$  на затрачиваемую мощность вращения ротора цилиндрического горизонтального ротационно-пленочного аппарата: 1 – в известном аппарате; 2 – в предлагаемом аппарате

Предлагаемая конструкция цилиндрического ротационно-пленочного аппарата позволяет добиться оптимальной производительности аппарата при достижении требуемых качественных показателей фосфолипидных концентратов подсолнечных масел. Это подтверждают данные, приведенные в таблице.

Основные качественные показатели фосфолипидных концентратов подсолнечных масел

Показатель	В известном аппарате	В предлагаемом аппарате
Содержание, в %:		
влаги	0,98	0,70
фосфолипидов	56,09	56,17
масла	41,80	41,48
веществ, нерастворимых в этиловом спирте	1,13	1,65
Кислотное число масла, выделенного из фосфолипидного концентрата, в мг КОН	15,25	13,25
Перекисное число, в мг I <sub>2</sub>	0,02	0,01

Как видно из таблицы, сушка фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел в ротационно-

пленочных аппаратах практически не сопровождается повышением их кислотности, а перекисное число незначительно уменьшается. Показатели влажности, кислотного числа и цветности фосфолипидного концентрата, получаемого в ротационно-пленочных аппаратах, в целом соответствуют требованиям, предъявляемым к концентрату высокого качества. При этом весьма важно, что при сушке фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел производительность аппарата можно изменять в достаточно широких пределах, не нарушая его устойчивой работы по показателям качества готовых фосфолипидных концентратов.

Выработанный продукт соответствует качественным показателям отраслевого стандарта.

### Выводы

Предлагаемая конструкция лопастей ротора цилиндрического ротационно-пленочного аппарата позволяет сформировать равномерный слой продукта и обеспечить его поступательное и стабильное перемещение по внутренней поверхности корпуса аппарата.

Получена зависимость изменения влажности фосфолипидных концентратов от скорости подачи исходного продукта, отнесенной к единице длины цилиндрического горизонтального ротационно-пленочного аппарата; влияние угловой скорости ротора  $\omega_0$  на среднюю скорость горизонтального движения фосфолипидных концентратов и на затрачиваемую мощность вращения ротора. Для расчета мощности ротационно-пленочных аппаратов в режимах с изменением частоты вращения ротора рекомендуется уравнение с учетом критического критерия производительности. Исследование гидромеханического режима движения фосфолипидной эмульсии в ротационно-пленочном аппарате позволяет определить характер перемещения жидкости в аппарате при оптимальной производительности.

Применение предлагаемой конструкции аппарата позволит интенсифицировать теплообмен в процессе сушки фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел, уменьшить энергоемкость на 10...15 % при сохранении качественных показателей продукта.

### Список литературы

1. Арутюнян, Н.С. Рафинация масел и жиров: теоретические основы, практика, технология, оборудование / Н.С. Арутюнян, Е.П. Корнена, Е.А. Нестерова. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 288 с.
2. Алтайулы, С. Сушка фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел в ротационно-пленочных аппаратах / С. Алтайулы // Пищевая наука, техника и технологии – 2010: материалы науч. конф. с международным участием, 15–16 октября 2010 г., Пловдив. – С. 589–594.
3. А.с. № 1445744 СССР. МКИ<sup>3</sup> В01 D 3/30. Ротационно-пленочный аппарат / С.А. Алтаев, К.Р. Репп (СССР). – № 4258744/31-26; заявл. 06.04.87; опубл. 23.12.88, Бюл. № 47. – 4 с.: ил.
4. Патент РФ на полезную модель № 99987 МПК В01D 1/22 (2006.01). Цилиндрический ротационно-пленочный аппарат / Алтайулы С., Антипов С.Т., Шахов С.В.; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. технол. акад. – № 2010110753/05; заявл. 22.03.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34. – 4 с.

ГОУ ВПО «Воронежская государственная технологическая академия»,  
394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19.  
Тел./факс: (4732) 55-42-67  
e-mail: post@vgta.vrn.ru

**SUMMARY**

**Sagymbek Altauly**

**Intensifying the drying process of phospholipids emulsions of sunflower oils  
in cylinder rotary-film apparatus**

Investigated is the operation of the developed new design of a cylinder rotary-film apparatus in order to intensify the drying process that reduces the dynamic effects on the rotor drive, which leads to a more stable movement of the product film through the length of the apparatus, as well as increases the efficiency of removing steam and particles of the finished product from the steam-gas-oil mixture.

Rotary-film apparatus, phospholipids emulsion.

Voronezh State Technological Academy  
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia  
Phone/Fax: (4732) 55-42-67  
e-mail: post@vgta.vrn.ru