

Е.Н. РЯБОВОЛ, магистрант, НТУ «ХПИ»,
А.А. ЮДИНА, магистрант, НТУ «ХПИ»,
М.Г. ЗИНЧЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
Г.А. АНОХИН, канд. техн. наук, научн. консультант,
ХФ ПАТ «Укрнефтехимпроект», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В РОТОРНО-ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ ТОМАТНОГО СОКА

В статье рассмотрены вопросы теплопередачи в роторно-пленочных аппаратах, используемых для концентрирования томатного сока. Проведены эксперименты, в результате которых определено влияние плотности орошения, скорости вращения ротора, тепловой нагрузки на интенсивность теплопередачи, произведен анализ гидродинамической обстановки в РПА. Показано, что стандартная методика расчетов роторно-пленочных аппаратов справедлива при расчете РПА в данном технологическом процессе.

Ключевые слова: роторно-пленочный аппарат, томатный сок, концентрирование, теплообмен, гидродинамика, коэффициент теплопередачи.

Для удовлетворения растущих потребностей населения в продуктах питания необходимо обеспечить высокое качество консервированных продуктов, которые получают путем выпаривания (обезвоживания). Для решения этой задачи необходимо широко внедрять в производство высокоэффективные технологии и оборудование, обеспечивающие сохранение потребительских свойств исходных продуктов в процессе термической обработки. Этим требованиям в полной мере отвечают лопастные роторно-пленочные аппараты (РПА), имеющие ряд существенных преимуществ перед другими испарителями: малое время пребывания продукта в зоне нагрева, низкое рабочее давление и температура процесса, позволяющие сохранить все качественные показатели обрабатываемых продуктов, снизить энергозатраты на ведение процесса.

Благодаря названным достоинствам РПА получили широкое распространение в производстве консервированных пищевых продуктов, в том числе концентрированных соков, паст, повидла, фруктовых порошков, ректификации спиртовых растворов [1, 2].

© Е.Н. Рябовол, А.А. Юдина, М.Г. Зинченко, Г.А. Анохин, 2014

Однако теплообмен в РПА изучен недостаточно полно, что объясняется значительной сложностью процесса и большим количеством факторов, влияющих на коэффициент теплопередачи (плотность орошения, число оборотов ротора, число и тип лопастей, величина теплового потока, теплофизические свойства выпариваемых растворов и др.). Поэтому значение коэффициента теплопередачи для каждого конкретного случая применения аппарата должно определяться экспериментально.

В этой связи были проведены исследования по определению влияния основных параметров процесса – нагрузки по жидкости, числа оборотов ротора, температурного перепада – на интенсивность теплопередачи в роторном пленочном аппарате, используемом в качестве подогревателя и испарителя в процессе концентрирования томатного сока. Был также произведен анализ гидродинамической обстановки в аппарате с целью определения возможности использования существующих методик расчета РПА в данном технологическом процессе.

В качестве модельных жидкостей в эксперименте были использованы вода и 60 %-ный раствор глицерина, поскольку физико-химические свойства (плотность, температура кипения) воды и томатного сока ($\rho_{\text{води}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, $t_{\text{води}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{т.сока}} = 1025 \text{ кг/м}^3$, $t_{\text{т.сока}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$), а также томатной пасты и глицерина 60 %-ной концентрации ($\rho_{\text{глиц.}} = 1153 \text{ кг/м}^3$, $t_{\text{глиц.}} = 109 \text{ }^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{т.пасты}} = 1230 \text{ кг/м}^3$, $t_{\text{т.пасты}} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$) практически одинаковы.

Лабораторная установка и методика проведения исследований.

На рис. 1. представлена принципиальная схема лабораторной установки.

Продукт из обогреваемого сборника (1) плунжерным насосом типа НД-160 (2) подается в напорный бак (3), снабженный переливной трубой. Из напорного бака продукт через ротаметр (4) поступает в роторно-пленочный аппарат (5). Регулирование расхода продукта производится игольчатым вентилем. Пары, образовавшиеся в РПА, конденсируются в поверхностном конденсаторе (7), охлаждаемом водой. Дистиллят из конденсатора и остаток из РПА поступают в мерники (8) и (9), а оттуда возвращаются в сборник (1).

На рис.2 изображен лабораторный аппарат. Поверхность теплообмена аппарата $0,1 \text{ м}^2$.

Корпус аппарата (1) выполнен из трубы и снабжен снаружи рубашкой для обогрева (2). Верхняя часть корпуса имеет расширение (3), служащее для сепарации образующихся в аппарате паров. Внутри аппарата находится ро-

тор (5) с шарнирно закрепленными лопатками (6) и центробежным отбойником (7). Ротор вращается в двух подшипниках (8) и (10).

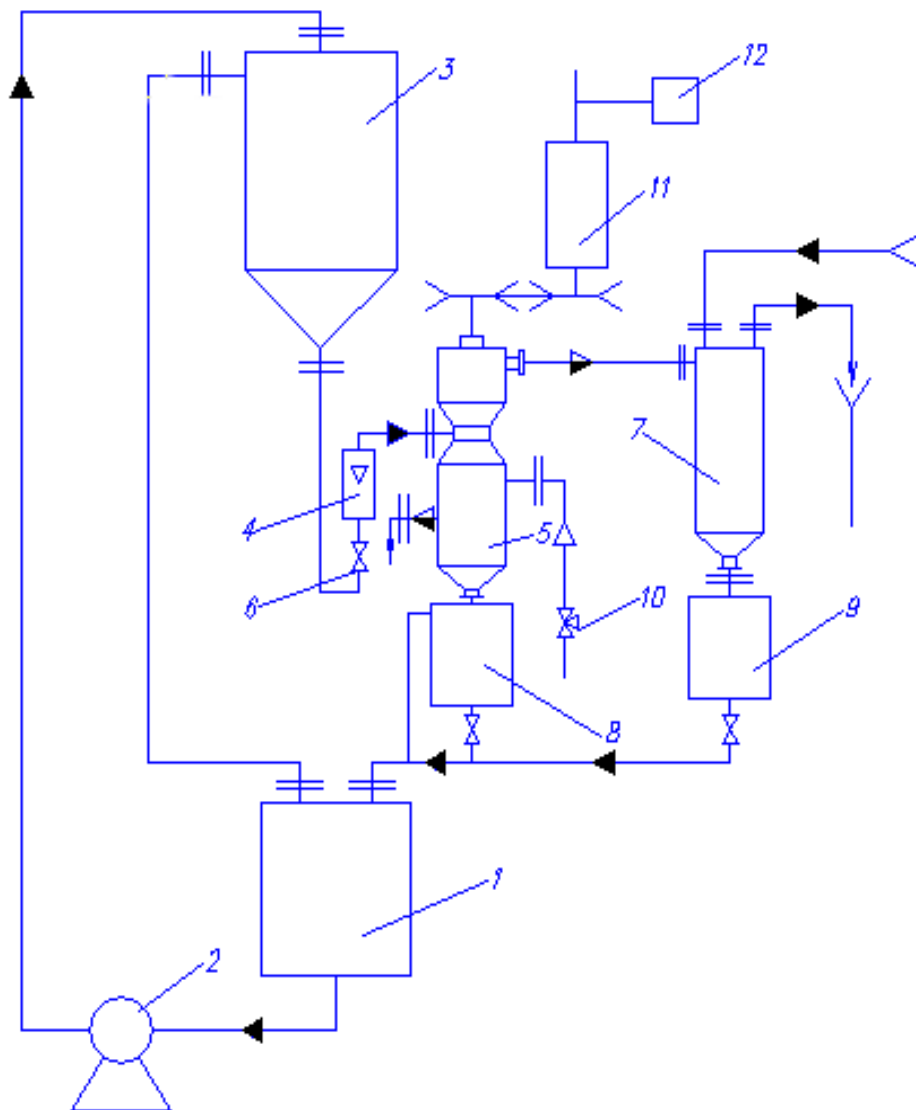


Рис. 1 – Принципиальная схема лабораторной установки: 1 – сборник исходного продукта; 2 – насос; 3 – напорный бак; 4 – ротаметр; 5 – роторно-пленочный аппарат; 6 – дозирующий вентиль; 7 – конденсатор; 8, 9 – мерники; 10 – пневматический клапан; 11 – электродвигатель; 12 – комплект измерительный К-50.

Место выхода вала из аппарата уплотнено сальником (9). Продукт поступает в аппарат через штуцер (11). Через штуцер (12) из аппарата выводится вторичный пар, а через штуцер (14) – концентрат. На рубашке (2) имеются штуцеры (4) и (13) для подвода греющего пара и вывода конденсата.

В процессе исследований контролировались следующие параметры: подача продукта в аппарат; давление греющего пара; температура продукта на входе и выходе из аппарата; температура греющего и вторичного пара; тем-

пература и расход воды, охлаждающей корпус аппарата; количество дистиллята, количество концентрата.

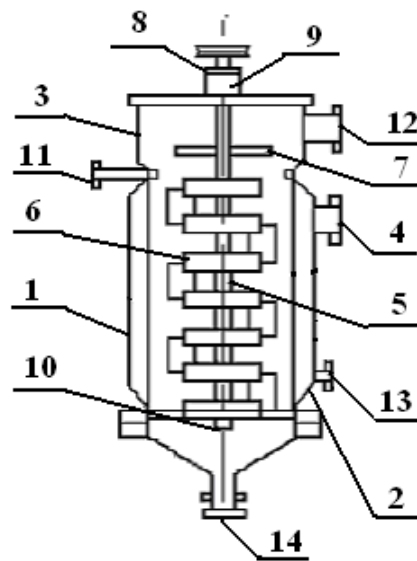


Рис. 2 – Лабораторный аппарат

Стабильность подачи продукта обеспечивалась наличием напорного бака и контролировалась при помощи ротаметра типа РС-5.

Давление греющего пара в системе устанавливалось и поддерживалось при помощи манометра типа МГП-27ОМ, связанного с пневматическим клапаном. Температура в контрольных точках замерялась при помощи ртутных термометров. Привод ротора осуществлялся от электродвигателя постоянного тока мощностью 0,45 кВт.

Методика обработки экспериментальных данных.

Коэффициент теплопередачи определяли по формуле:

$$K = \frac{q}{\Delta t_k} \text{ Вт/м}^2\text{град}, \quad (1)$$

где q – поверхностная плотность теплового потока:

$$q = \frac{Q}{F} \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

Δt_k – разность температур, град; Q – количество тепла, Вт; F – поверхность теплообмена, м.

Количество переданного тепла Q определяли по формулам:

- при нагревании:

$$Q = C_{\text{ср}} \cdot M \cdot (T_{\text{вых.}} - T_{\text{вх.}}), \text{ Вт} \quad (3)$$

- при испарении (концентрировании) продуктов, подаваемых в аппарат при температуре кипения:

$$Q = r_i \cdot M_{\text{дист.}}, \text{ Вт} \quad (4)$$

Теплоемкость $C_{\text{ср}}$ продукта принимали при средней температуре подогреваемого продукта.

Теплота парообразования r_i принималась при температуре кипения.

Расход продукта M и количество дистиллята $M_{\text{дист.}}$ определяли из объемного расхода V и плотности ρ (кг/м^3) с учетом температуры:

$$M = V \cdot \rho, \text{ кг/ч} \quad (5)$$

$$M_{\text{сух.в.}} = \frac{V_{\text{н}} \rho_{\text{н}} a_{\text{н}}}{100} \text{ кг/ч} \quad (6)$$

$$V_{\text{куб.}} = \frac{M_{\text{сух.в.}} \cdot 100}{a_{\text{к}} \rho_{\text{к}}} \text{ м}^3/\text{ч} \quad (7)$$

$$M_{\text{куб.}} = V_{\text{куб.}} \cdot \rho_{\text{куб.}} \text{ кг/ч} \quad (8)$$

$$V_{\text{дист.}} = V_{\text{н}} - V_{\text{куб.}} \text{ м}^3/\text{ч} \quad (9)$$

$$M_{\text{дист.}} = V_{\text{дист.}} \cdot \rho_{\text{дист.}} \text{ кг/ч} \quad (10)$$

где: $a_{\text{н}}$, $a_{\text{к}}$ – начальная и конечная концентрация сухих веществ в исходном и концентрированном растворе, соответственно.

Коэффициент теплоемкости $C_{\text{ср}}$ концентрируемого раствора определяли при средней концентрации последнего ($a_{\text{ср}}$):

$$a_{\text{ср}} = \frac{a_{\text{нач}} + a_{\text{кон}}}{2}, \% \quad (11)$$

Правильность определения $M_{\text{куб.}}$ и $M_{\text{дист.}}$ проверяли по сходимости материального баланса.

Температурный перепад $\Delta t_{\text{к}}$ при нагреве определяли по формуле:

$$\Delta t_{\text{к}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,31 \lg \Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}}}, \text{ град}, \quad (12)$$

где $\Delta t_{\text{б}}$ и $\Delta t_{\text{м}}$ – перепады температур между греющим паром и нагреваемым продуктом, соответственно на входе и выходе из аппарата.

При испарении однокомпонентного продукта или раствора с малой температурной депрессией, подаваемого в аппарат при температуре, близкой к температуре кипения, температурный перепад определялся как разность между температурой греющего пара и температурой кипения продукта.

Анализ полученных результатов.

Плотность орошения поверхности теплообмена оказывает большое влияние на интенсивность теплопередачи в роторно-пленочном аппарате, причем это влияние зависит от того, в каком качестве используется аппарат – подогревателя или испарителя.

При изучении процесса *нагревания* воды до температуры кипения в роторно-пленочном аппарате, используемом как подогреватель, было установлено, что зависимость коэффициента теплопередачи \mathbf{K} от плотности орошения (рис. 3) носит неоднозначный характер: вначале имеет место почти прямолинейная зависимость и отмечен резкий рост величины \mathbf{K} от 200 до 1300 Вт/ м²град. После точки перегиба (50 кг/м·ч) наступает насыщение поверхности теплопередачи жидкостью, и \mathbf{K} практически не зависит от плотности орошения. Аналогичная зависимость установлена и при нагреве 60 %-ного раствора глицерина (рис. 4). Характерно, что при нагреве воды при низкой плотности орошения интенсивность теплопередачи не зависит от скорости вращения ротора, а с повышением плотности орошения от 50 до 130 кг/м·ч наблюдается рост коэффициента теплопередачи с увеличением числа оборотов ротора до определенной величины (700/мин). Дальнейшее повышение скорости вращения ротора не имеет смысла. Аналогичная закономерность наблюдается и при нагреве вязких продуктов (глицерина); при этом влияние окружной скорости сказывается и в области малых плотностей орошения (рис. 4).

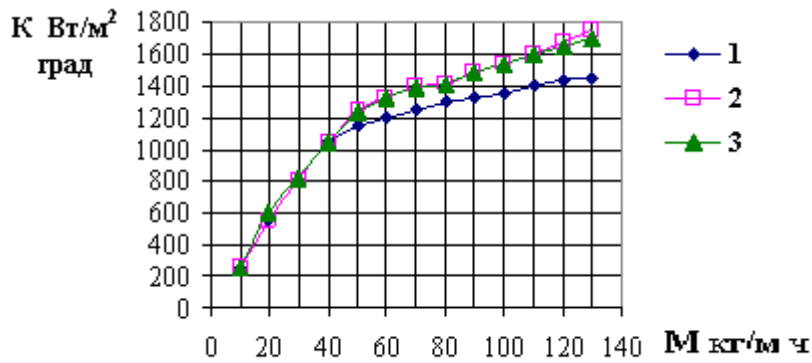


Рис. 3 – Зависимость коэффициента теплопередачи от нагрузки по жидкости при нагреве воды: 1– число оборотов ротора, равное 400 в минуту; 2 – число оборотов ротора, равное 700 в минуту; 3 – число оборотов ротора, равное 1000 в минуту.

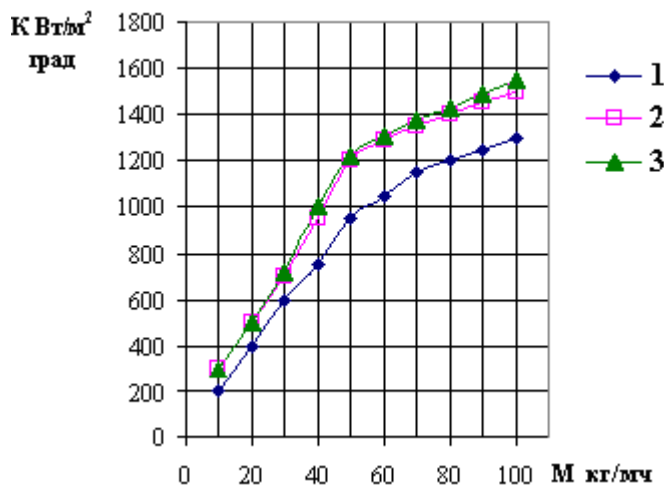


Рис. 4 – Зависимость коэффициента теплопередачи от нагрузки по жидкости при нагреве 60 %-ного глицерина: 1– число оборотов ротора, равное 400 в минуту; 2 – число оборотов ротора, равное 700 в минуту; 3 – число оборотов ротора, равное 1000 в минуту.

Подобную зависимость наблюдали Р. Бресслер [3] и В. Линке [4]. При исследовании смачиваемости поверхности теплообмена они установили, что в тонкопленочном роторном аппарате коэффициенты теплопередачи возрастают по мере увеличения плотности орошения до тех пор, пока не произойдет полное смачивание поверхности теплообмена. При дальнейшем увеличении плотности орошения начинается снижение интенсивности теплопередачи вследствие возрастания толщины пленки.

При изучении процесса *испарения* воды в роторном аппарате, используемом как испаритель, установлено, что с увеличением плотности орошения коэффициент теплопередачи постепенно повышался до достижения максимума $3000 \text{ Вт/м}^2\text{град}$ при плотности орошения $100 - 110 \text{ кг/м}\cdot\text{ч}$ и окружающей

скорости 1,36 – 2,45 м/с (рис. 5). При низкой окружной скорости (0,82 м/с) максимальное значение K (2000 Вт/м²град) достигалось при больших плотностях орошения – 225 кг/м·ч. Дальнейшее увеличение плотности орошения не влияло на интенсивность теплопередачи.

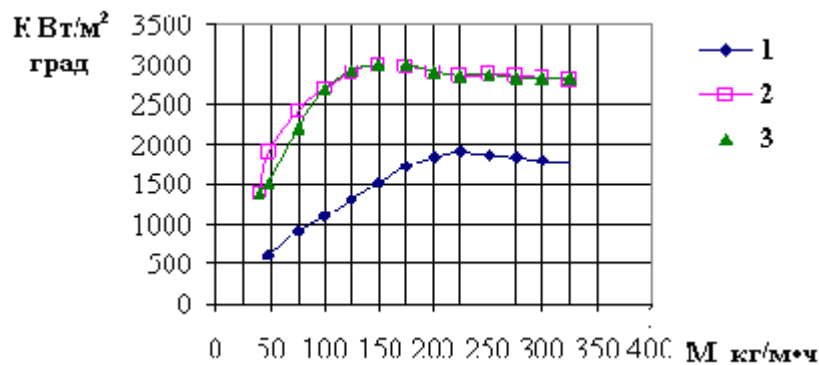


Рис. 5 – Зависимость коэффициента теплопередачи от нагрузки по жидкости при испарении воды при различных окружных скоростях ротора: 1 – окружная скорость, равная 0,82 м/с; 2 – окружная скорость, равная 1,36 м/с; 3 – окружная скорость, равная 2,45 м/с.

При исследовании влияния температурного перепада между греющим паром и кипящим продуктом было установлено, что при оптимальной плотности орошения (100-110 кг/м·ч) и высоких окружных скоростях ротора (более 1,36 м/с) увеличение температурного перепада как и увеличение плотности орошения не приводит к увеличению коэффициента теплопередачи в процессе испарения воды (рис. 6).

При малой окружной скорости увеличение температурного перепада приводит к заметному увеличению K . При этом отмечено, что уже при окружных скоростях 0,6 – 1 м/с процесс испарения воды стабилизируется, и дальнейшее увеличение скорости вращения ротора не оказывает заметного влияния на коэффициент теплопередачи (рис. 7). Аналогичный вывод можно сделать для водных растворов глицерина.

Изменение плотности теплового потока достигалось путем повышения температуры греющего пара. При этом увеличение плотности теплового потока в интервале 5 – 30 °С не оказывало влияния на интенсивность теплопередачи при испарении воды в роторном аппарате с шарнирными лопатками (рис. 8). Такое явление свидетельствует о том, что испарение происходит преимущественно с поверхности пленки. По достижении определенных значений температурного перепада (выше 25 – 30 °С) начинало проявляться явление разорошения поверхности теплообмена, и величина коэффициента те-

плопередачи начинала снижаться. Снижение происходит более интенсивно при меньших плотностях орошения.

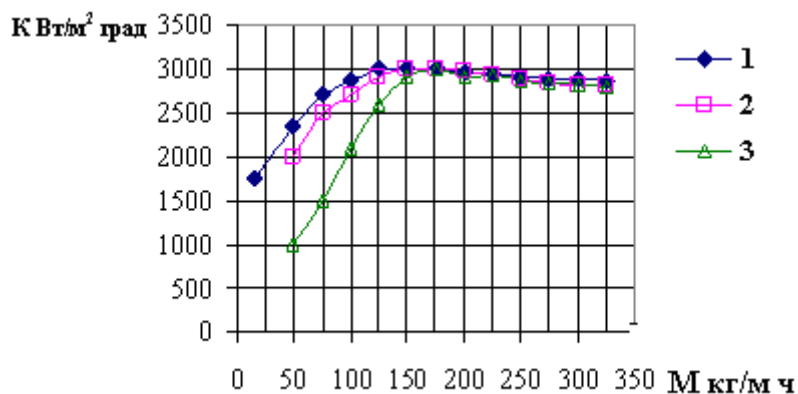


Рис. 6 – Зависимость коэффициента теплопередачи от нагрузки по жидкости при испарении воды при различных температурных перепадах: 1 – $\Delta t = 16$ °C; 2 – $\Delta t = 35$ °C; 3 – $\Delta t = 55$ °C.

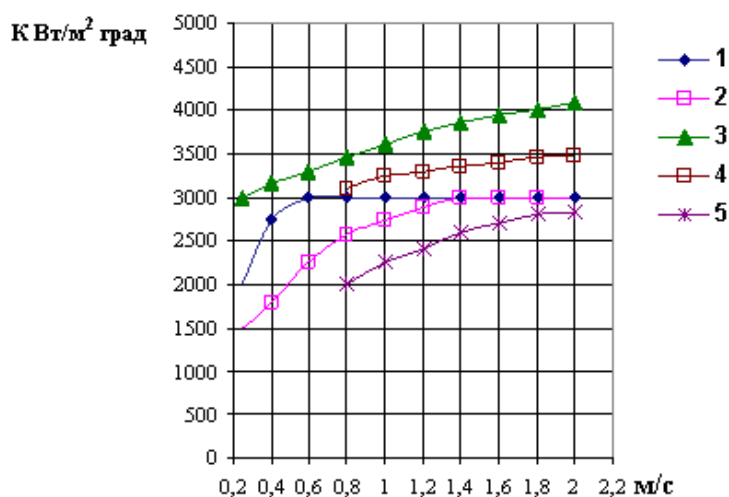


Рис. 7 – Зависимость коэффициента теплопередачи от окружной скорости ротора: 1 – $\Delta t = 20$ °C; $M = 105$ кг/м·ч, вода; 2 – $\Delta t = 40$ °C; $M = 105$ кг/м·ч, вода; 3 – глицерин 15 %, $\Delta t = 40$ °C, $M = 105$ кг/м·ч; 4 – глицерин 60 %, $\Delta t = 40$ °C, $M = 105$ кг/м·ч; 5 – глицерин 40 %, $\Delta t = 40$ °C.

При концентрировании продуктов, изменяющих свою вязкость в процессе выпаривания, наблюдалась снижение коэффициентов теплопередачи с ростом температурного перепада, что является следствием увеличения вязкости продукта и толщины пленки (рис. 9).

Результаты, полученные в опытах по испарению воды и водных растворов глицерина, согласуются с данными Э. Киршбаума и К. Дитера [5]. Ими было установлено, что в аппарате с шарнирно-закрепленными лопатками ко-

эффицент теплопередачи не зависит от тепловой нагрузки поверхности теплообмена и температурного перепада между температурой кипения продукта и температурой стенки аппарата, но растет с увеличением плотности орошения и при определенном значении последней достигает своего максимума.

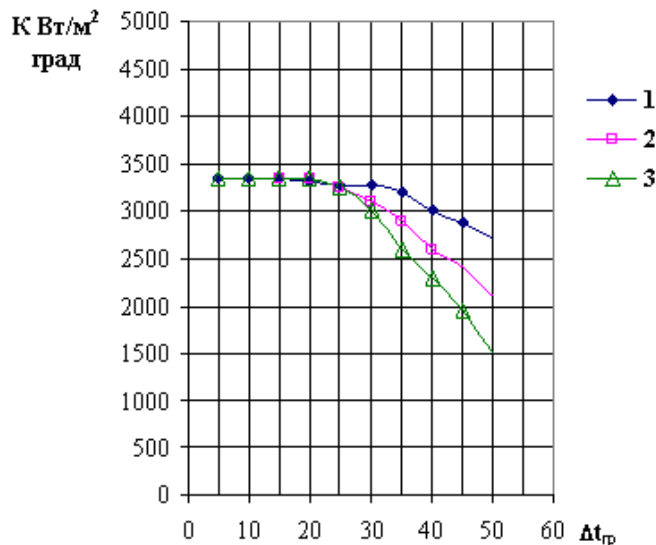


Рис. 8 – Зависимость коэффициента теплопередачи от температурного перепада при испарении воды: 1 – $M = 370$ кг/м·ч; 2 – $M = 190$ кг/м·ч; 3 – $M = 75$ кг/м·ч.

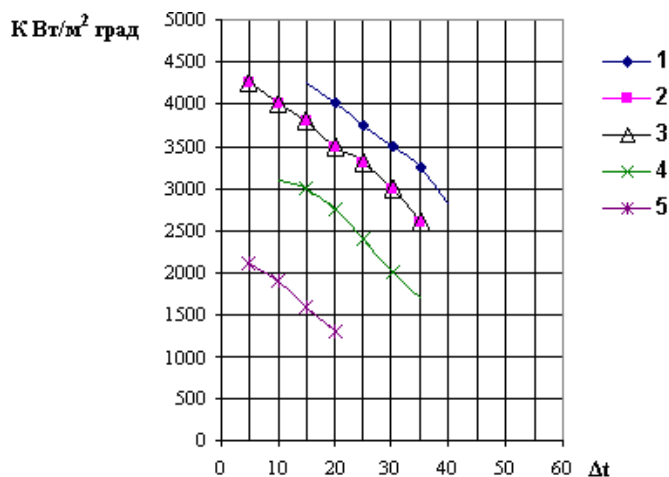


Рис. 9 – Зависимость коэффициента теплопередачи от температурного перепада при концентрировании водно-глицериновых растворов: 1 – $M = 120$ кг/м·ч, 15 %; 2 – $M = 105$ кг/м·ч, вода; 3 – $M = 140$ кг/м·ч; 30 %; 4 – $M = 140$ кг/м·ч; 60 %; 5 – $M = 75$ кг/м·ч; 60 %.

Исходя из этого, авторы делают вывод, что процесс испарения происходит преимущественно со свободной поверхности пленки, так как при кипе-

нии во всем объеме стекающего слоя жидкости следовало бы ожидать увеличения коэффициента теплопередачи при повышении тепловой нагрузки. Независимость, в некоторых пределах, интенсивности процесса теплопередачи от плотности орошения авторы объясняют наличием “носовой волны” возникающей перед передней гранью лопатки. Благодаря постоянному обновлению и пополнению жидкости, находящейся в пленке, за счет массы волны, толщина пленки остается неизменной, а, следовательно, интенсивность теплопередачи не зависит от плотности орошения.

При уменьшении же плотности орошения масса продукта, содержащегося в волне, становится недостаточной для пополнения испарившейся пленки, и в нижней части аппарата возникают участки греющей поверхности, не покрытые жидкостью.

А так как коэффициент теплопередачи относится ко всей рабочей поверхности теплообмена, то значение таких коэффициентов начинают снижаться.

При малой частоте вращения ротора, когда окружная скорость становится соизмеримой со скоростью стекания свободно падающей пленки, возможно ухудшение орошения поверхности теплообмена вследствие образования пузырьков пара непосредственно на греющей поверхности аппарата.

Выводы:

Результаты экспериментов и анализ физической обстановки на поверхности теплообмена лабораторного РПА позволили сделать следующие выводы:

1. Ротор в аппарате с шарнирными лопатками в основном играет роль распределителя жидкости на рабочей поверхности аппарата, поэтому процессы, происходящие в пленке при теплообмене, не сопровождаются изменением агрегатного состояния, могут рассматриваться по аналогии с процессами, происходящими в свободно стекающей пленке.

2. Процессы, сопровождающиеся изменением агрегатного состояния, происходят, главным образом, за счет поверхностного испарения, поэтому коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту может быть определен через толщину пленки.

3. Транспортировка жидкости вдоль аппарата осуществляется преимущественно в волне перед лопаткой. Это обстоятельство является основанием для выбора рабочей длины аппарата.

Проведенные исследования показали, что гидродинамическая обстановка, возникающая в лабораторном РПА при выпаривании модельных жидкостей, аналогична наблюдаемой другими авторами [2 – 5] при выпаривании подобных растворов. Это свидетельствует о возможности применения стандартной методики [6] и численных значений коэффициентов теплопередачи, полученных экспериментально, для расчета роторно-пленочных аппаратов в процессе концентрирования томатного сока.

Список литературы: 1. *Антипов С.Т.* Машины и аппараты пищевых производств: в 2 кн.; учебник для вузов / [С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.]; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001. – Кн. 1: Машины и аппараты пищевых производств. – 2001. – 437 с. 2. *Василинец И.М.* Роторные плёночные аппараты в пищевой промышленности / И.М. Василинец, А.Г. Сабуров. – М.: ВО “Агропромиздат”. 1989, 136 с. 3. *Bressler R.* Versuche Uber Verdampfung von dünnen Flüssigkeitsfilmen / R. Bressler // VDI Zeitschrift. – 1958. – № 15. – P. 18 – 25. 4. *Linke W.* Zum Wärmeübergang bei Verdampfung von dünnen Flüssigkeitsfilme / W. Linke // Kaltetechnik. – 1953. – № 5. – P. 31 – 38. 5. *Kirschbaum E.* Würmeübergang und Teildestillation in Dünnscterdampfem / E. Kirschbaum, K. Dieter // Chemie-Ingenieur-Technic. – 1955. – № 1. – P. 45 – 52. 6. Аппараты роторные плёночные с шарнирными лопатками для процесса дистилляции и выпаривания: РТМ 26-01-94-77. – [Действует с 1978-01-01]. – М.: Химия, 1977. – 90 с.

References: 1. *Antipov S.T.* Machines and equipment for food production: in 2 books.; textbook for Universities / [S.T. Antipov, I.T. Kretov, A.N. Ostrikov ets.]; edited by akad. RAES V.A. Panfilov. – M.: High school, 2001. – B. 1: Machines and equipment for food production. – 2001. – 437 p. 2. *Vasilinets I.M.* Rotor-pellicle apparatus in food production / I.M. Vasilinets, A.G. Sabyrov. – M.: VO.”Agropromizdat”, 1989. – 136 p. 3. *Bressler R.* Versuche Uber V erdampfung von dünnen Flüssigkeitsfilmen / R. Bressler // VDI Zeitschrift. – 1958. – № 15.– P. 18 – 25. 4. *Linke W.* Zum Wärmeübergang bei Verdampfung von dünnen Flüssigkeitsfilme / W. Linke // Kaltetechnik. – 1953. – № 5. – P. 31 – 3 . 5. *Kirschbaum E.* Würmeübergang und Teildestillation in Dünnscterdampfem / E. Kirschbaum, K. Dieter // Chemie-Ingenieur-Technic. – 1955. – № 1. – P. 45 – 52. 6. Apparatus rotor- pellicle with hinge blades for evaporation and distillation process: RTM 26-01-94-77. – [Introduced 1978-01-01]. – M.: Chemistry, 1977. – 90 p.

Поступила в редколлегию (Received by the editorial board) 17.03.14

УДК 66.023

Дослідження процесу теплопередачі в роторно-плівковому апараті при концентруванні томатного соку / К.М. РЯБОВОЛ, А.О. ЮДИНА, М.Г. ЗІНЧЕНКО, Г.О. АНОХІН / Вісник НТУ «ХП». – 2014. – № 27 (1070). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 82 – 94. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0821.

У статті розглянуті питання теплопередачі в роторно-плівкових апаратах, використовуваних для концентрування томатного соку. Проведено експерименти, в результаті яких визначено вплив щільності зрошення, швидкості обертання ротора, теплового навантаження на інтенсивність теплопередачі, проведений аналіз гідродинамічної обстановки в РПА. Показано, що стандартна методика розрахунків роторно-плівкових апаратів справедлива при розрахунку РПА в цьому технологічному процесі.

Ключові слова: роторно-плівковий апарат, томатний сік, концентрування, теплообмін, гідродинаміка, коефіцієнт теплопередачі.

UDC 66.023

Investigation of heat transfer in rotor- pellicle apparatus while concentrating tomato juice / K.N. RJABOVOL, A.O. JDINA, M.G. ZINCHENKO, G.A. ANOHIN // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 27 (1070). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 82 – 94. – Bibliogr.: 6 names. – ISSN 2079-0821.

The article discusses the heat transfer in a rotor- pellicle apparatus used for concentration of tomato juice. Experiments were carried out , which determined the effect of irrigation density, the rotor speed , the heat load on the heat transfer rate , the analysis of the hydrodynamic conditions in the RPA . It is shown that the standard method of calculation of the rotary- pellicle apparatus is valid for the calculation of the RPA in the process.

Keywords: rotary-pellicle apparatus, tomato juice, concentration, heat transfer, hydrodynamics, heat transfer coefficient.

УДК 628.3.004:661.321

А.В. СУВОРИН, д-р техн. наук, доц.,
ТИ ВНУ ім. В. Даля, Северодонецк

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИИ КАТАЛИЗАТОРОВ

В статье представлены результаты расчетов энергетической и экологической эффективности промышленного оборота традиционного катализаторного сырья за счет использования совмещенных хемосорбционно-экстракционных технологий по сравнению с традиционными. Показано, что совмещение в одной технологии процессов утилизации отходящих нитрозных газов и отработанных катализаторов позволяет до 4,5 раз снизить энергоемкость «возврата» металл- содержащего сырья в катализаторное производство.

Ключевые слова: отработанные катализаторы, способы утилизации, оборот сырья, энергоемкость, экологическая безопасность.

Большинство традиционных технологий гетерогенных катализаторов не удовлетворяют критериям безотходного и малоотходного производства и требованиям комплексного использования сырья, главным образом, из-за потери анионной, особенно нитратной, составляющей металлосодержащего сырья [1].

© А.В. Суворин, 2014