

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ПЛОСКИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Рудобашта С.П. д-р техн. наук, профессор,
Кошелева М.К. канд. техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина»,
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии», г. Москва**

Проведены исследования кинетики процесса экстрагирования различных технологических загрязнений из плоских текстильных материалов различного волокнистого состава. Для интенсификации использовалось ультразвуковое воздействие на экстрагент, определены коэффициенты массопроводности при различных технологических параметрах.

Held of investigations kinetics of the extraction process of various technological pollution from flat textile fiber materials of different composition. For the intensification of the used of ultrasound effects on the extractant, determined the coefficients of mass conductivity under different process parameters.

Ключевые слова: экстрагирование (промывка), технологические загрязнения, массопроводность, ресурсосбережение, интенсификация, ультразвук.

Без совершенствования технологии и оборудования для проведения процессов химической технологии отделки плоских текстильных материалов невозможно решение задач снижения энерго- и ресурсоемкости и обеспечение рационального и экологически ответственного использования энергии и сырьевых ресурсов в их производстве.

Химическая технология отделки включает в себя сложный комплекс химических, массообменных, влажно-тепловых обработок. Многочисленные мокрые обработки, в том числе пропитки тканей химическими реагентами или красителями требуют последующего экстрагирования (промывки) и сушки.

При промывке удаляется технологическое «загрязнение» из текстильного материала путем его экстрагирования с помощью растворителя, чаще всего воды, с добавлением моющих средств. Основные технологические «загрязнения», удаляемые при промывке – это щелочь (промывка после мерсеризации), незафиксированные красители (промывка после крашения и печати), жировые вещества (промывка шерстяных тканей после валки).

По затратам рабочего времени, размерам занимаемых площадей, количеству потребляемой энергии, воды и химических реагентов промывка является одним из самых энерго- и ресурсоемких процессов, что видно из таблицы 1.

Таблица 1 – Расход энергии и воды на промывку тканей

Электроэнергия	Тепловая энергия	Вода		
		На кг ткани	На одну промывную машину	Стоки
до 40% от потребляемой отделочным производством	До 20% от потребляемой отделочным производством	0,350м ³	5 м ³ /час	80% воды

В работе проводились исследования процесса промывки с целью повышения его эффективности – интенсификации, снижения энергозатрат и затрат материальных ресурсов при одновременном повышении производственной и экологической безопасности производства.

Важнейшая составляющая повышения эффективности технологических процессов – это их интенсификация, при этом, важен обоснованный выбор метода интенсификации. Для массообменных процессов с участием твердой фазы метод интенсификации должен выбираться в зависимости от характера кинетики массообменного процесса, т.е. от того, является ли кинетика процесса внешней, внутренней или смешанной.

1. Количественным фактором, который характеризует задачу массообмена при промывке является критерий Био массообменный – Bi_m . При $Bi_m > 50$ имеет место внутренняя задача массообмена, при

$Bi_m < 0,2$ – зовнішня задача, а при проміжному інтервалі зміни Bi_m – змішана задача.

Відношення вказаних опортівленій визначається величиною числа $Bi_m = (\beta_c R) / (A_{p,п} \rho_0 k)$, полу-чаемого из граничного условия задачи массопроводности:

$$-k\rho_0 \left(\frac{\partial C}{\partial n} \right) = \beta_c (C_{с,п} - C_c) = (\beta_c / A_{p,п}) (C_{p,п} - C'_p) \quad (1)$$

2. где $A_{p,п} = C_{p,п} / C_{с,п}$ – коэффициент распределения для концентрации $C_{с,п}$; $A_{p,п}$ – коэффициент распределения для концентрации C_c ; $C'_p = (A_{p,п} / A_p) C_p$ – модифицированная равновесная концентрация. При $Bi_m > 50$ имеет место внутренняя задача массообмена, при $Bi_m < 0,2$ – зовнішня задача, а при $50 < Bi_m < 0,2$ – змішана задача.

Для оценки кинетического режима по числу Bi_m и расчета внутридиффузионной и смешаннодиффузионной кинетики необходимо знать коэффициент массопроводности k . Коэффициент массопроводности технологических загрязнений определяли зональным методом по кинетическим кривым промывки, полученным в условиях, исключающих внешнелдиффузионное сопротивление, т.е. в опытах реализовывался внутренний кинетический режим промывки, которому соответствует условие $Bi_m \rightarrow \infty$. В промышленных условиях данный режим, как правило, имеет место на конечных участках кинетических кривых.

Из полученных кривых кинетики промывки зональным методом рассчитывали концентрационные зависимости коэффициента массопроводности. Для этого анализируемую кривую промывки разбивали на ряд концентрационных зон, для каждой из которых рассчитывали значение коэффициента массопроводности k_i - по уравнению:

$$k_i = (R^2 / \tau_i \mu_i^2) \ln(B_i / \overline{E_i}) \quad (2)$$

где для пластины при $Bi_m \rightarrow \infty$: $\mu_i = \pi/2$ – первый корень характеристического уравнения решения задачи массопроводности; $B_{i=1} = 0,6917$ и $B_{i>1} = 1$. Рассчитанные по кинетическим кривым значения коэффициентов массопроводности различных видов технологических загрязнений при промывке плоских текстильных материалов имеют порядок от 10^{-9} до 10^{-12} м²/с. Например, при удалении щелочи из тонких хлопчатобумажных тканей коэффициенты массопроводности имеют порядок 10^{-9} м²/с, при промывке плотных шерстяных тканей от натуральных жировых загрязнений и замасливателей коэффициенты массопроводности меньше, их порядок - 10^{-11} м²/с.

Ниже представлены методы интенсификации процесса для типовых задач массообмена. В случае внешней задачи - это активные гидродинамические режимы (АГР). Важнейшим признаком АГР является повышение интенсивности процесса при увеличении относительной скорости движения фаз, степени турбулентности внешней фазы за счет тех или иных воздействий на систему. При наличии альтернативных методов активизации гидродинамических режимов предпочтение отдается более экономичному режиму.

Внутренняя задача массообмена в химической технологии отделки встречается редко, чаще имеет место смешанная задача, когда для интенсификации необходимо комбинированное воздействие за счет активизации гидродинамики и, например, наложения физических полей.

При определении лимитирующего сопротивления массопередаче в технологическом процессе и выборе метода его преодоления с целью интенсификации, необходимо в каждом случае соотносить массообменную задачу с технологической, которая включает в себя как технические требования к конечному продукту, так и характеристику объекта обработки.

В таблице 2 даны результаты анализа средств, обеспечивающих эффективность промывки на действующем промывном оборудовании – это фильтрация промывного раствора сквозь полотно ткани, противоток, использование sprays и так далее.

Таблица 2 – Основные типы промывных машин и средства, обеспечивающие эффективность промывки в них

Промывные машины	Обрабатываемые материалы	Средства, обеспечивающие эффективность промывки
1	2	3
Роликовые	Ткани	Фильтрация промывного раствора сквозь ткань в зоне промывного ролика, противоток промывного раствора и материала, подача раствора через спрыски, вибрация ткани, промежуточный отжим
С сетчатым барабаном	Ткани, трикотажные и нетканые полотна	Фильтрация промывного раствора сквозь обрабатываемый материал под действием перепада давления
С периодическим чередованием пропитки и отжима материала	Ткани, замша, кирза	Сжатие материала в жале валов и подача свежего раствора
Релаксационные	Ткани, трикотажные полотна	Вибрация материала в промывном растворе, подача раствора через спрыски

В таблице 3 приведены возможные для этих способов промывки (с учётом типа технологической задачи) способы интенсификации.

Таблица 3 – Возможные способы интенсификации процесса промывки

Вид взаимодействия полотна и жидкости	Характер взаимодействия	Промывные машины	Возможные виды интенсификации
1	2	3	6
Обтекание	Полотно со скоростью v_n движется относительно жидкости	Роликового типа с заправкой вертикальной горизонтальной комбинированной	Барботаж, пульсация, ультразвуковые колебания, вибрация, омагничивание
Фильтрация	Жидкость фильтруется через полотно под действием перепада давления Δp	Роликового типа с заправкой вертикальной горизонтальной комбинированной Барабанные с прокачиванием	Пульсация, ультразвуковые колебания, омагничивание
Вылеживание	Скорость полотна относительно жидкости близка к нулю	Роликового типа с заправкой вертикальной горизонтальной комбинированной Барабанные Транспортерные	Вибрация, ультразвуковые колебания, омагничивание
Сопловая обработка	Жидкость под давлением из сопла подается перпендикулярно или под углом к поверхности полотна	Роликового типа с заправкой вертикальной горизонтальной комбинированной Барабанные Транспортерные	омагничивание

Для смешанной задачи массообмена, как правило, имеющей место при промывке плоских текстильных материалов от вышеперечисленных технологических загрязнений, особый интерес представляет воздействие ультразвукового поля, барботажная промывка, принудительная фильтрация промывного раствора сквозь полотно ткани.

Проведены системные исследования интенсификации процесса промывки (экстрагирования) на оборудовании непрерывного действия для хлопчатобумажных тканей при использовании ультразвука, как интенсифицирующего фактора, в ходе всего процесса. Особый интерес представляет использование

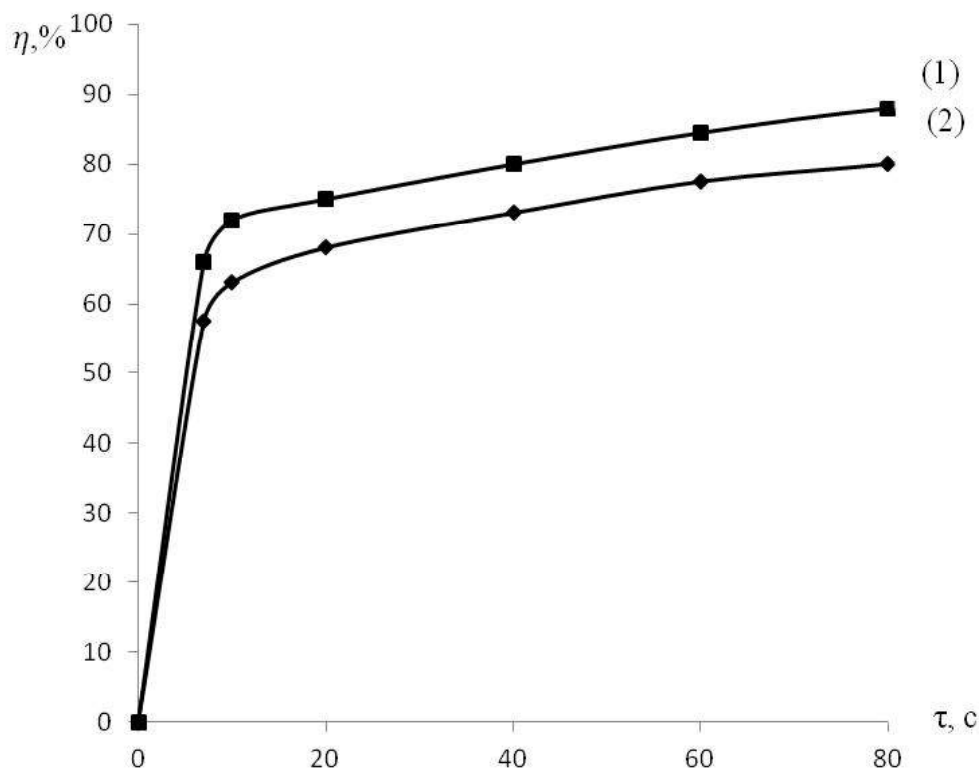
ультразвукового воздействия, которое за счёт явления кавитации активизирует гидродинамическую обстановку, разрушает диффузионный пограничный слой, повышает температуру. Механизм действия ультразвука сложен, что видно из рис. 1.



Рис. 1– Влияние различных факторов на механизм ультразвуковой очистки

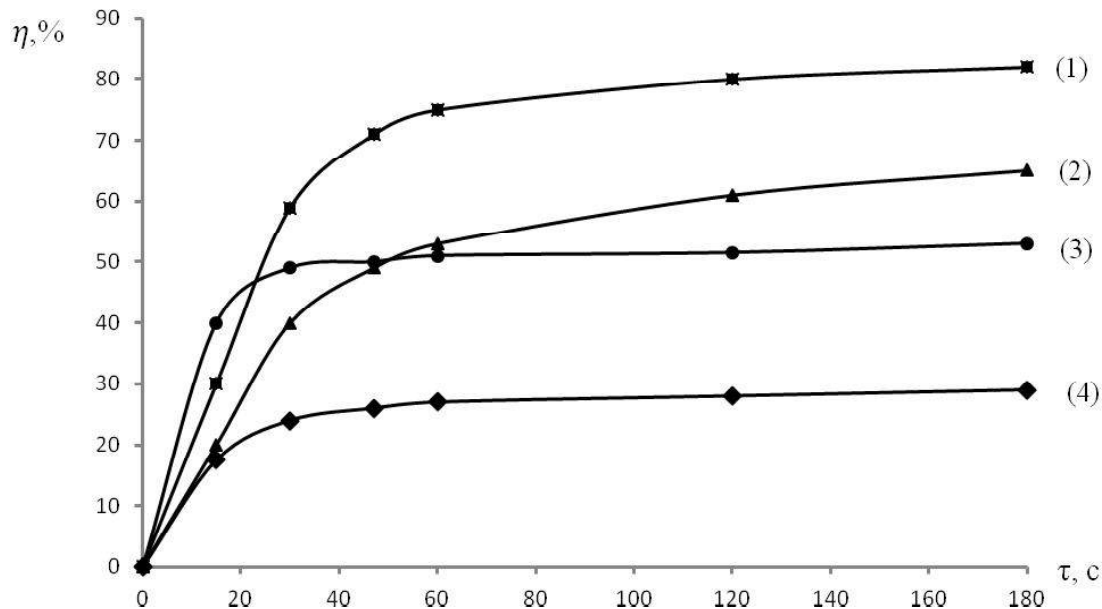
Кинетика промывки некоторых материалов представлена на рис.2...4. Выявлена зависимость степени интенсификации от параметров ультразвукового воздействия - частоты и амплитуды колебаний, удельной мощности, вводимой в систему, поверхностной плотности ткани, модуля промывной ванны, расстояния от источника ультразвука. Опыты проводили на лабораторной установке со съёмными ваннами, в одной из которых были установлены два типовых пьезоэлектрических преобразователя и питающий их генератор. В опытах использовали также погружной ультразвуковой излучатель фирмы «Техносоник». Ультразвуковые устройства создавали акустические колебания ультразвуковой частоты в диапазоне $22 \div 35$ кГц, при этом мощность установки составляла $70 \div 120$ Вт. Выбор ультразвуковых устройств обусловлен простотой и доступностью их применения, что упрощает реализацию полученных результатов в производственных условиях. При проведении экспериментов и обработке их результатов использовали апробированные на стадии изучения кинетики промывки методики.

Установлено, что при ультразвуковых воздействиях продолжительность промывки до требуемой по ГОСТ остаточной концентрации загрязнения сокращается в среднем на 30-45% в зависимости от вида экстрагируемого технологического загрязнения и вида материала.



(1) – с применением ультразвука; (2) – без применения ультразвука

Рис. 2 – Кинетика промывки хлопчатобумажной ткани после мерсеризации



(1), (3) – с применением ультразвука; (2),(4) – без применения ультразвука.

Рис. 3 – Кинетика промывки хлопчатобумажной ткани после крашения (1,2) и промывки штапельного полотна после печати (3,4)

Обобщение результатов исследования влияния ультразвукового воздействия на эффективность процесса промывки легких хлопчатобумажных тканей позволяет сделать вывод о снижении общего сопротивления диффузионным процессам, обуславливающим перенос загрязнения из ткани в промывной раствор. В количественном отношении это явление отражается в увеличении коэффициента массопроводности (ультразвуковые пульсации воздействуют на процессы внутри ткани), увеличении коэффициента массоотдачи в жидкой фазе за счет турбулизации пограничного слоя у поверхности материала. Указанный эффект усиливается с ростом модуля ванны, что обусловлено, очевидно, увеличением движущей силы в процессе диффузии загрязнения от поверхности ткани в ядро промывного раствора.

Из приведенной ниже таблицы 4 видно, что при использовании интенсификатора существенно снижаются также затраты на электроэнергию, расход чистой воды, расход моющих средств, фактическая масса сброса сточной воды и её загрязнённость поверхностно-активными веществами.

Таблица 4 – Параметры процесса промывки хлопчатобумажной ткани после мерсеризации на типовой линии при действующем режиме и интенсифицированном ультразвуковым воздействием

Параметры Режим	Время промывки, с	Производительность одной промывной машины, п.м./ч	Расход промывной воды на линии, м ³ /ч	Затраты на электрическую энергию, тыс. руб.	Расход моющего средства, кг/м ³	Фактическая масса годового сброса сточной воды, тыс. м ³ /год	Фактическая масса годового сброса моющего средства, т/год
Действующий режим	80	390	28	250	0,2	55	11
Интенсифицированный ультразвуковым воздействием режим	50	590	19	210	0,15	37	5,6

Процесс промывки плотных шерстяных тканей – с поверхностной плотностью до 760 г/м², как правило, проводится на жгутовых машинах периодического действия и является весьма продолжительным – от 3-х до 4-х часов. Интенсификация процесса сложна, поскольку при промывке удаляется три вида технологического загрязнения – жировые вещества, незафиксированные красители, ПАВ. Данные загрязнения удаляются с различной скоростью, при этом оказывается невозможным одновременное достижение трёх показателей качества промывки, оцениваемых по ГОСТ.

Возникает необходимость коррекции технологии многостадийной промывки, имеющей целью одновременное удовлетворение требованиям стандартов, определяющих качество промывки, при сокращении продолжительности процесса и определении стадии данного периодического процесса, на которой целесообразно использовать выбранный интенсификатор, например, ультразвуковое воздействие.

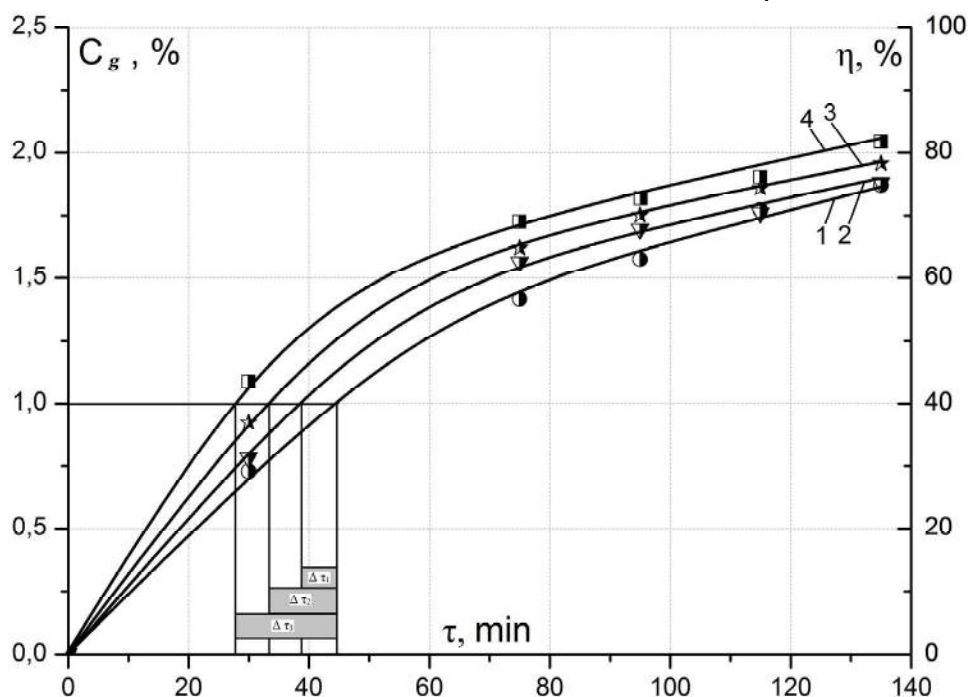
При ультразвуковом воздействии процесс омыления шерстяного жира идёт интенсивнее, что позволяет вести промывку в нейтральных или слабощелочных растворах при сохранении волокон шерсти от повреждений, имеет положительное значение и бактерицидное действие ультразвука, т.к. уничтожается микрофлора в промывной ванне и одновременно обеззараживаются промывные сточные воды.

Предложено проводить периодическую промывку с использованием смеси анионоактивного и неионогенного ПАВ, концентрации которых выбраны с учётом предшествующих промывке технологических стадий, с применением ультразвукового воздействия на одной из стадий. Ультразвуковые колебания создаются встроенными в днище и (или) в боковые стенки промывной ванны излучателями.

На рис.4 приведены результаты сравнения степени промывки плотной шерстяной ткани в одинаковом технологическом режиме при использовании различных интенсифицирующих воздействий на промывной раствор. Из графиков видно, что значение массовой доли жировых веществ, равное 1 % (что соответствует одному из требований ГОСТ) быстрее достигается при использовании ультразвукового воздействия на промывной раствор.

Продолжительность промывки в результате ультразвукового воздействия и применения смеси ПАВ сокращается для тканей с различной поверхностной плотностью, в среднем на 40 минут, при этом значительно снижается расход промывной воды и электроэнергии, а совместное использование смеси ПАВ и

ультразвука позволяет устранить из рецептуры промывного раствора кальцинированную соду, не использовать для её нейтрализации уксусную кислоту, уменьшается не только количество сточных вод, но и их загрязнённость. Устранение кальцинированной соды предотвращает загрязнение трубопроводов и продлевает срок их службы, позволяет отказаться от использования выпарных установок.



1 – без интенсификатора, 2 – омагничивание, 3 – барботаж воздуха
 4 – ультразвуковое воздействие, сокращение продолжительности процесса
 $\Delta\tau_1$ – омагничивающая вода, $\Delta\tau_2$ – барботаж воздуха, $\Delta\tau_3$ – ультразвуковое воздействие

Рис. 4 – Кинетика промывки плотной шерстяной ткани

В таблице 5 представлены данные, демонстрирующие улучшение производственной и экологической безопасности и снижение расхода химических реагентов при совершенствовании технологии промывки плотных шерстяных тканей.

Таблица 5 – Показатели, характеризующие производственную и экологическую безопасность до и после совершенствования технологии промывки плотной шерстяной ткани

Показатель	Промывка без ультразвука	Промывка с ультразвуком	Изменение (повышение) показателя, %
Время нахождения в рабочей зоне и в зоне воздействия опасных и вредных факторов, т, с	1807200	1048176	42
Концентрация кальцинированной соды в промывном растворе С, г/л	0,3	0	100
Концентрация кальцинированной соды в сточных водах С, г/л	0,3	0	100
Концентрация ПАВ в промывном растворе С, г/л	0,9	0,4	56
Концентрация ПАВ в сточных водах С, г/л	0,8	0,36	56
Количество кальцинированной соды в сточных водах, т/год	1,1	0	100
Количество ПАВ в сточных водах, т/год	4,4	2,46	56

Выводы. В результате проведённых исследований разработана энерго-ресурсосберегающая технология экстрагирования технологических загрязнений из плотных шерстяных тканей, проведены исследо-

вания кинетики процессов экстрагирования различных технологических загрязнений из плоских текстильных материалов в химической технологии их отделки с применением ультразвукового воздействия на экстрагент.

Литература

1. Кошелева М.К. Промывка и контактная сушка хлопчатобумажных тканей после мерсеризации. Учеб. пособие. – М.: ГОУВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2009. – 52с.
2. Кошелева М.К., Реутский В.А. и др. Повышение эффективности процесса промывки хлопчатобумажных тканей после мерсеризации с использованием ультразвука / Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – № 1, 2002.
3. Щеголев А.А. Исследование способов интенсификации процессов промывки тканей в высокоскоростных промывных машинах. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М., 1981.
4. Патент – 2311504 РФ, Способ обработки водного раствора для промывки тканей / Кошелева М.К. и др.; Мос. гос. текстильн. ун-т им. А.Н. Косыгина. – № 2006110599; Заяв. 04.04.06; Опубл. 27.11.07, Бюл. № 33.
5. Кошелева М.К. и др. Договор № 17926/03 о продаже лицензии на использовании патента РФ № 2100501 «Способ жидкостной обработки шерстяных тканей после крашения», 01.02.2003.
6. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах с твердой фазой. – М.: Химия, 1980. – 248 с.
7. Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. Изд.2-е, перераб. и доп. М.: КолосС. 2010-600 с.;
8. П. Александер, Р.Ф. Хадсон. Физика и химия шерсти. Перевод с англ. Госуд. научно-техническое издательство литературы по легкой промышленности М. 1958, 392 стр.
9. Кошелева М.К., Рудобашта С.П. и др. Устройство промывки текстильных материалов в жгуте. Патент 118639 РФ, заявители и патентообладатели МГТУ им. А.Н. Косыгина и МГАУ им. В.П. Горячкина, опубл. 27.07.2012, Бюл.№ 21.
10. Рудобашта С.П., Кошелева М.К. и др. Устройство для обработки промывных вод отделочного производства. Патент РФ, заявители и патентообладатели МГТУ им. А.Н. Косыгина и МГАУ им. В.П. Горячкина, опубл. 27.07.2012, Бюл.№ 21.
11. 11.Абрамов О.В. и др. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении. Под редакцией О.В. Абрамова и В.М. Приходько.М.:ЯНУС-К, 2006, 688 с.

УДК 637.134

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОВИТРАТ ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТУ З ВІБРУЮЧИМ РОТОРОМ

Самойчук К.О. канд. техн. наук., доцент,

Івженко А.О., аспірант

Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

У статті представлено результати аналітичних досліджень по визначенню енерговитрат пульсаційного апарату з вібруючим ротором.

In the article the results of analytical researches of determination of power consumption of pulsation vehicle with a vibrating rotor is represented.

Ключові слова: гомогенізація, енерговитрати, пульсаційний апарат, розрахунок.

При переробці молока та виробництві молочної продукції широко використовується гомогенізація, яка значно підвищує сенсорні та смакові властивості готового продукту. Устаткування для здійснення цієї операції за споживанням енергії відноситься до найбільш енергоємних у потоково-технологічних лініях. На молокозаводах завдяки високому ступеню диспергування та універсальності широко використовуються клапанні гомогенізатори, питомі витрати енергії яких сягають 10 кДж/т. Інші типи машини для диспергування молочного жиру: вакуумні, ультразвукові, вихрові, струминні і т.п., незважаючи на енерговитрати в 2–8 разів менші, не знайшли широкого використання на виробництві [1].

В даний час набувають поширення способи диспергування емульсійних систем в пульсаційних апаратах різної модифікації. У таких апаратах вплив на потік оброблюваного середовища забезпечується примусовим перекриттям каналів його перебігу в системі обертовий ротор – нерухомий статор. При цьо-