

4. Lesnyak A.N., Dobud'ko A.N. Effektivnost' vyrashchivaniya krolikov v raznykh usloviyakh soderzhaniya Tsentral'no-Chernozemnoi zony // Vestnik BUNK. – 2006. – № 3 (18). – S. 93-94.

5. Nozdrin G.A. Vliyanie probiotikov na kolichestvennye i kachestvennye pokazateli myasnoi produktivnosti zhivotnykh // Sankt-Peterburg – Probiotiki – 2009: mater. 6-i ob"ed. nauchn. sessii i 2-go mezhdunar. kongr. po probiotikam (28-29 okt. 2009 g.). – SPb., 2009. – S. 45-49.

6. Chernenkov E.N. Perspektivy primeneniya probiotikov dlya povysheniya produktivnosti produktsii krolikovodstva // Mater. II Vseros. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. – Ufa: Bashkirkii GAU, 2013. – Ch. 1. – S. 115-117.

7. Tagirov Kh.Kh., Vagapov F.F., Mironova I.V. Perevarimost' i ispol'zovanie pitatel'nykh veshchestv i energii korma pri vvedenii v ratsion probioticheskoi kormovoi dobavki «Biogumitel'» // Vestnik myasnogo skotovodstva. – 2012. – T. 3. – № 77. – S. 79-84.



УДК 664.292.634.11

**О.О. Рахматов, Ф.О. Рахматов**  
**O.O. Rakhmatov, F.O. Rakhmatov**

### РАЗРАБОТКА ШНЕКОВО-ЭРЛИФТНОГО ЭКСТРАКТОРА ДЛЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ХЛОПКОВОГО ПЕКТИНА

#### DEVELOPMENT OF SCREW-TYPE AIRLIFT EXTRACTOR FOR COTTON PECTIN EXTRACTION

**Ключевые слова:** экстрактор, гидролиз, аппарат, пектин, хлопковая створка, диффузия, эрлифт, массоотдача, гидродинамика, коэффициент, циркуляция, конфузур, диффузор.

Технология получения пектина из растительного сырья включает такие технологические процессы, как подготовка последнего к переработке, экстракция водорастворимых компонентов в рабочий раствор, вакуум-концентрирование и осаждение целевого продукта. Хлопковая створка хлопчатника не относится к так называемым стандартным сырьевым ресурсам: свекольному жому, яблочным выжимкам и другим видам отходов овоще-консервного производства. Его реологические, физико-механические и химико-диффузионные свойства мало изучены и практически не исследованы. После исследования биохимического состава сухой хлопковой створки, её физико-механических свойств, клеточной структуры, учитывая её положительную плавучесть, разработана конструкция многоячейного шнеково-эрлифтного экстрактора полунепрерывного действия. Данной разработке предшествовали проведение экспериментальных исследований по определению физико-механических свойств хлопковой створки, её биологической структуры, определение коэффициента массопереноса и массоотдачи, изучение

влияния гидродинамических факторов движения экстрагента и нахождение оптимальных соотношений гидромодуля в системе «хлопковая створка-экстрагент», а также изучение влияния природных полифенолов на качество получаемого целевого продукта. При разработке аппарата были учтены диффузионные свойства хлопковой створки в системе «твёрдое тело-жидкость». Подробное описание конструктивной взаимосвязи элементов аппарата и принцип его работы основаны на физико-механических свойствах хлопковой створки на её положительной плавучести и набухаемости. С учётом этих свойств был произведен расчёт основных элементов экстрактора с эрлифтным принудительным перемешиванием экстрагируемого сырья. При расчёте была принята упрощённая физическая модель циркуляционного контура для экстрагирования суспензии как в шнековой, так и в эрлифтной частях аппарата. Произведены инженерный расчёт и математическая аналогия определения суммарного гидравлического сопротивления эрлифта и его высоты, при принятых его диаметре и конфузурно-диффузорном устройстве. Также были установлены технико-эксплуатационные характеристики и массогабаритные параметры опытно-экспериментального образца шнеково-эрлифтного экстрактора.

**Keywords:** *extractor, hydrolysis, extraction vessel, pectin, cotton bur, diffusion, airlift, mass transfer, fluid dynamics, factor, circulation, confuser, diffuser.*

The technology of pectin production from plant raw materials includes the preparation of the latter for the extraction of water soluble components into the process solution, vacuum concentration and the precipitation of the end product. Cotton bur does not belong to so-called standard raw materials: beet chips, apple polyuria and other by-products of fruit and vegetable canning. Its rheological, physical, mechanical and chemical-diffusion properties are understudied. Following the research of the biochemical composition of a dry bur, the physical and mechanical properties of its cell structure and taking into account its floatability, the authors designed a screw-type airlift semi-continuous extractor. The design development was preceded by the studies to determine the mass transfer coefficients, the effects of hydrodynamic factors and extracting agent

movement, the determination of the optimum liquid ratio in the system "cotton bur – extracting agent" and the effect of natural polyphenols on the quality of the extracted pectin. When designing the extraction vessel, the diffusion properties of cotton bur in the system "solid body – liquid" were taken into account. The description of the structural element relations of the extraction vessel is based on the physical and mechanical properties of cotton bur, positive floatability and swelling ability. These properties were taken into account when calculating the design of the major elements of extractor with airlift forced mixing of raw materials. When calculating, we used a physical model of the circulation circuit for suspension extraction in the screw part and airlift part of the extraction vessel. The engineering analysis and mathematical analogy was made to determine the total hydraulic resistance of the airlift and its height with accepted diameter and convergent-divergent device. The service characteristics and weight-size parameters of an experimental extractor prototype were determined.

**Рахматов Олимжон Орифжонович**, магистр, Гулистанский государственный университет. Республика Узбекистан. E-mail: glsu\_info@edu.uz.

**Рахматов Фирдавс Орифжон углы**, студент, Гулистанский государственный университет, Республика Узбекистан. E-mail: glsu\_info@edu.uz.

**Rakhmatov Olimzhon Orifzhonovich**, Master of Arts, Guliston State University, Republic of Uzbekistan. E-mail: glsu\_info@edu.uz.

**Rakhmatov Firdavs Orifzhon ugly**, student, Guliston State University, Republic of Uzbekistan. E-mail: glsu\_info@edu.uz.

### Введение

Гидролиз-экстрагирование является одним из основных процессов получения пектина из растительного сырья. В основном пищевой пектин извлекается из яблочных выжимок и свекловичного жома [1, 2]. Исследованиями ученых Узбекистана выявлено, что в сухих хлопковых створках хлопчатника находится до 9% пектиновых веществ [3-5]. Извлечение этих веществ сопряжено с физико-биологическими свойствами сухих хлопковых коробочек: удельным весом, структурой, клеточным строением и химическим составом экстрагируемой среды [6-8].

Как показали исследования, использование стандартных типовых аппаратов для экстрагирования хлопковой створки не дало ожидаемого результата, так как она относится к нетрадиционным видам сырья, обладает плавучестью и её диффузионные свойства практически не исследованы. Поэтому при разработке аппарата для проведения процесса гидролиз-экстрагирования пектина необходимо основываться на знании диффузионных свойств хлопковой створки, коэффициента массопереноса и массоотдачи, а также влияния гидродинамических факторов на эти коэффициенты.

### Объект исследования

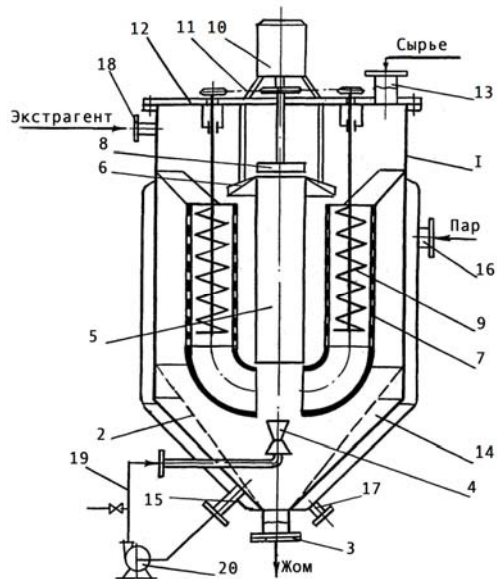
С учетом вышесказанного и изучения физико-механических свойств хлопковой створки нами разработана конструкция экстрактора с эрлифтным перемешиванием экстрагируемого сырья (рис. 1) [9].

Экстрактор содержит вертикальный цилиндрикоконический корпус 1, в нижней части которого расположены сетчатая вставка 2, выгрузочный люк 3, конфузочно-диффузорное устройство 4. Внутри корпуса соосно установлена циркуляционная труба 5 с раструбом 6, выполненным в виде многосливного желоба, и расположенные вокруг циркуляционной трубы сквозные трубчатые элементы 7 с загнутыми в сторону циркуляционной трубы нижними концами. Над раструбом установлен лопастной сбрасыватель 8, а внутри трубчатых элементов – шнеки 9. Привод шнеков и сбрасывателя осуществлен от электродвигателя 10 и цепной передачи 11. Циркуляционная труба 5 прикреплена к крышке 12, которая имеет патрубок 13 для загрузки сырья в аппарат, а трубчатые элементы 7 – к цилиндрической части корпуса 1.

Коническая сетчатая вставка 2 образует с внутренней стенкой корпуса полость 14 для отвода экстракта через патрубок 15. Корпус оснащен паровой рубашкой с патрубком 16 для подвода пара и патрубком 17 для отвода конденсата, контура 19 для рециркуляции с насосом 20.

Предлагаемый экстрактор работает следующим образом: предварительно набухшая и очищенная от полифенолов створка хлопковой коробочки подается в экстрактор через патрубок 13, а через патрубок 18 вводится экстрагент (0,5%-ный водный раствор щавелевой кислоты) в отношении створка-

экстрагент 1:8. Одновременно включением электродвигателя 10 приводят в движение сбрасыватель 8 и через цепную передачу 11 – шнеки 9 трубчатых элементов 7.

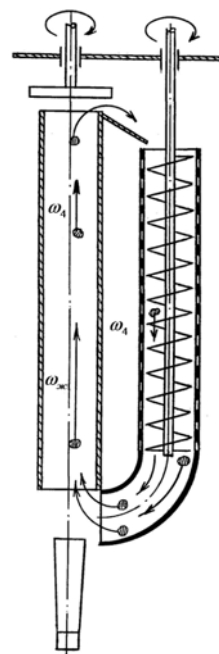


**Рис. 1. Экстрактор с эрлифтным перемешиванием экстрагируемого сырья:**  
 1 – корпус; 2 – сетчатая вставка; 3 – выгрузочный люк;  
 4 – конфузорно-диффузорное устройство;  
 5 – циркуляционная труба; 6 – раструб;  
 7 – трубчатые элементы;  
 8 – лопастной сбрасыватель; 9 – шнек;  
 10 – привод; 11 – цепная передача;  
 12 – крышка; 13 – патрубок; 14 – полость;  
 15 – патрубок для отвода экстракта;  
 16 – патрубок для подвода пара;  
 17 – патрубок для отвода конденсата;  
 18 – патрубок для ввода экстрагента;  
 19 – внешний контур рециркуляции;  
 20 – насос центробежный для прокачки экстракта

В начальный момент процесса экстрагирования створка плавает на поверхности рабочей жидкости на уровне верхней горловины трубчатых элементов 7. Затем за счет вращения шнеков 9 они перемещаются вниз по трубчатым элементам и, пройдя загнутую часть, попадают в нижнюю горловину циркуляционной трубы 5, где захватываются восходящими потоками экстрагента за счет создания тяги в трубе конфузорно-диффузорным устройством 4, подключенным к насосу 20 посредством внешнего контура 19 рециркуляции. Водно-сырьевая смесь (суспензия) проходит трубу 5 и, распределяясь равномерно по многосливному желобу, поступает вновь в трубчатые элементы 7. По мере прохождения циркуляционного потока через трубчатые элементы 7 сырье пропитывается экстрагентом и экстрагируется. Экстрактивные вещества – остатки полифенолов,

растворимые белки, сахара и пектин переходят в экстрагент. Экстракт отчасти выцеживается через сетчатую вставку 2, проходит через патрубок 15, насос 20, внешний контур 19 рециркуляции, конфузорно-диффузорное устройство 4 и вновь поступает в аппарат или отводится на дальнейшую технологическую обработку. По окончании процесса экстракт полностью сливают, а проэкстрагированное сырье (жом) смывают водой и выводят через люк 3.

**Цели и задачи** – обосновать границы существования эрлифтного потока на базе математических выкладок. Расчет основных элементов конструкции противоточного экстрактора с эрлифтным перемешиванием экстрагируемого сырья (рис. 2) нами произведен на основе методики, основанной на физической модели циркуляционного контура с учетом специфики движения суспензии в шнековых элементах и в элитной (циркуляционной) трубе.



**Рис. 2. Конструкция противоточного экстрактора с эрлифтным перемешиванием экстрагируемого сырья**

При разработке методики основывались на следующих предположениях:

1. Истинные скорости жидкости и твердой фазы при восходящем их движении в эрлифте равны

$$\omega_{ж} = \omega_{т} \quad (1)$$

2. Скорость твердой фазы в нисходящем потоке (внутри шнековых элементов) постоянная, т.е.

$$\omega_{т} = 60 t n, \quad (2)$$

где  $t$  – шаг шнека;

$n$  – скорость вращения шнека мин<sup>-1</sup>.

3. Мелкодисперсные частицы сырья выцеживаются через перфорации шнековых элементов в объем аппарата и равномерно осаждаются со скоростью  $\omega_{oc}$ .

4. Так как скорость движения суспензии  $\omega_c$  намного выше скорости осаждения твердой фазы  $\omega_{\tau}$ , то при расчете гидравлических сопротивлений можно пользоваться закономерностями, полученными для гомогенных жидкостей.

С учетом этих предположений и принятых допущений для случая расположения верхнего среза эрлифтной трубы на уровне жидкости в аппарате  $H_{ж}$ , уравнение циркуляционного контура выглядит следующим образом:

$$\rho_0 g H_a = \rho g H_{ж} (1 - \varphi_{cp}) - \Delta P, \quad (3)$$

где  $\Delta P = \zeta \frac{\rho \omega_c^2}{2(1 - \varphi_{cp})^2}$  суммарное гидравлическое сопротивление эрлифта, Па;

$\rho_0$  – плотность суспензии в аппарате, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi_{cp}$  – объемный расход рабочей фазы в эрлифте, м<sup>3</sup>/с;

$\zeta$  – суммарный коэффициент гидравлического сопротивления эрлифта определяется по следующей зависимости:

$$\zeta = 0,5 + \lambda \frac{H_{ж}}{d_3} \left( \frac{1 - \varphi_0}{1 - \varphi_{cp}} \right)^{0,5} + \left( \frac{1 - \varphi_{cp}}{1 - \varphi_0} \right)^2. \quad (4)$$

По конструктивным соображениям высоту эрлифтной трубы можно задать и принять её равной высоте столба жидкости в цилиндрической части аппарата, поскольку в его конической части расположены поворотные участки шнековых элементов. Тогда для невысоких эрлифтов по рекомендациям можно принять  $\varphi_0 = \varphi_{cp}$  [9]. Тогда

$$\zeta = 1,5 + \lambda \frac{H_{ж}}{d_3}; \quad (5)$$

$$\rho = \frac{\rho_0 \left( 1 + \frac{\rho_g}{\rho_0} \frac{K \omega_{\tau}}{\omega_c} \right)}{1 + \frac{K \omega_{\tau}}{\omega_c}}. \quad (6)$$

С учетом этих преобразований основное уравнение перемешивающего эрлифта запишется в виде

$$\varphi_{cp} - \frac{1}{1 + \frac{(1 - X_0) \omega_3}{K \omega_{\tau}} \frac{\rho_0}{\rho_g - \rho_0}} = \zeta \frac{\omega_3^2}{2gH_{ж} (1 - \varphi_{cp})^2}. \quad (7)$$

$$K = X_0(1 - X_0) \frac{D_a^2}{d_3^2} -$$

безразмерный коэффициент;

$D_a$  – диаметр окружности, по которой размещены шнековые элементы, м;

$d_3$  – диаметр трубы эрлифта, м;

$X_0$  – объемная концентрация суспензии в аппарате, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения.

Введем следующие безразмерные симплексы:

$$W = \frac{\omega_3}{\sqrt{2gH_{ж}}} - \text{безразмерная скорость}; \quad (8)$$

$$A = \frac{(1 - X) \sqrt{2gH_{ж}}}{K \omega_{\tau}} - \text{безразмерная характеристика аппарата}; \quad (9)$$

$$B = \frac{\rho_0 g H_{ж}}{P_0} - \text{безразмерный симплекс давлений}; \quad (10)$$

$$C = 3(1 + 0,3X_3) d_3 - \text{опытный коэффициент}; \quad (11)$$

и после некоторых математических преобразований получим:

$$W_{T0}(\text{min}) = 2,2 \frac{1}{A} B^{0,23} C^{0,91} \zeta^{0,146}. \quad (12)$$

Уравнение (12) справедливо в области изменения  $A$  от 100 до 10000, когда существует минимальная скорость эрлифтного потока, ниже которой нет циркуляции суспензии.

#### Практическая значимость

С помощью уравнений (7) и (12) можно найти диаметр эрлифтной трубы. Для этого, задавшись значениями  $\varphi_{cp}$ ,  $X_0$  и  $D_a$ , строим зависимость  $\omega_3 = f(d_3)$ . Значение диаметра, соответствующее минимуму данной функции, принимается за оптимальное при перемешивании экстрагируемого сырья. Для набухшей хлопковой створки, обладающей еще положительной плавучестью, применение противоточного экстрактора с шнеково-эрлифтным перемешиванием отвечает техническим требованиям из конструктивных соображений и надежности действия. По данной методике был рассчитан и спроектирован опытно-экспериментальный образец шнеково-эрлифтного экстрактора, который имеет следующие эксплуатационно-технические характеристики:

полный объем, м <sup>3</sup>	4,0;
поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	9,40;
диаметр аппарата, м	1,4;
число шнековых элементов, шт.	6;

диаметр шнека, м	0,200;
шаг витков шнека, м	0,120;
скорость вращения шнеков, мин.	2,5;
диаметр циркуляционной трубы, м	0,37;
время экстрагирования, мин.	60-70;
масса загружаемой створки (набухшей), кг	320-350;
рабочая температура, °С	75-80;
мощность привода, кВт	2,2;
длина, мм	1620;
ширина, мм	1620;
высота, мм	3960;
общая масса аппарата, кг	1846.

Корпус и детали аппарата, соприкасающиеся с рабочей средой, выполнены из нержавеющей стали Х12Н10Т и Х18Н1210Т.

Необходимая температура гидролиз-экстрагирования в аппарате поддерживается системой контрольно-измерительных приборов и автоматикой за счет изменения расхода пара, подаваемого через патрубок 16 в паровую рубашку. Отработанный пар и его конденсат отводятся через патрубок 17.

#### Выводы

- Разработана и предложена принципиально новая конструкция экстрактора для растительного сырья с положительной плавучестью.
- Обоснованы гидродинамические условия осуществления гидролиз-экстрагирования хлопковой створки как плавающего сырья.
- По результатам экспериментальных исследований был спроектирован опытный образец шнеково-эрифтного экстрактора.

Таким образом, экстрактор обеспечивает интенсификацию процесса экстрагирования и увеличение выхода экстрактивных веществ за счет улучшения гидродинамических условий массообмена, перемешивания и многократной циркуляции твердой и жидких фаз.

#### Библиографический список

1. Донченко Л.В. Разработка и интенсификация процессов получения пектина из свекловичного и других видов сырья: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Киев, 1990. – 48 с.
2. Рахматов О., Нуриев К.К., Юсупов А.М. Безотходная технология переработки остатков хлопчатника // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 6 (104). – С. 103-108.
3. Рахматов О., Нуриев К.К. К вопросу безотходной технологии остатков хлопчатника. Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства // Матер. III Междунар. науч.

эколог. конф. (20-21 марта 2013 г., г. Краснодар). – Краснодар, 2013. – С. 118-121.

4. А. с. 1824701, А23 L1/0524. Способ получения пектиносодержащего экстракта из створки хлопковой коробочки / А.М. Юсупов, Х.Т. Саломов и др.; опубл. в Б.И. 29.04.1991.

5. А. с. 1681511, СО8 В 37/06. Способ получения пектина / А.М. Юсупов, Х.Т. Саломов и др.; опубл. в Б.И. 08.01.1990.

6. Карпович Н.С. Пектин. Производство и применение. – Киев: Урожай, 1989. – 88 с.

7. А. с. 1719011 (811). Экстрактор для растительного сырья / А.М. Юсупов, З. Саломов и др.; опубл. в Б.И. 1992. – № 10.

8. Белоглазов Л.Н. Твердофазные экстракторы. – Л.: Химия, 1985. – 246 с.

9. Kocsis K. The use of agricultural residues for corn drying and stall heating // Energy Conservation and Use of Renewable Energies in the Bio-Industries. – Proc. 2nd Intl Seminar, Oxford, 6-10 Sept. 1982.

#### References

1. Donchenko L.V. Razrabotka i intensifikatsiya protsessov polucheniya pektina iz sveklovichnogo i drugikh vidov syr'ya: avtoref. dis. ... dok. tekhn. nauk. – Kiev, 1990. – 48 s.
2. Rakhmatov O., Nuriev K.K., Yusupov A.M. Bezotkhodnaya tekhnologiya pererabotki ostatkov khlopchatnika // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 6 (104). – S. 103-108.
3. Rakhmatov O., Nuriev K.K. K voprosu bezotkhodnoi tekhnologii ostatkov khlopchatnika. Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva // Mater. III Mezhdunarod. nauchn. ekologicheskoi konf. (20-21 marta 2013 g., g. Krasnodar). – Krasnodar, 2013. – S. 118-121.
4. A.S. № 1824701, A23 L1/0524. Sposob polucheniya pektinosoderzhashchego ekstrakta iz stvorki khlopkovoi korobochki / Yusupov A.M., Salomov Kh.T. i dr. – Opubl. v B.I. 29.04.1991.
5. A.S. № 1681511, SO8 V 37/06. Sposob polucheniya pektina / Yusupov A.M., Salomov Kh.T. i dr. – Opubl. v B.I. 08.01.1990.
6. Karpovich N.S. Pektin. Proizvodstvo i primeneniye. – Kiev: Urozhai, 1989. – 88 s.
7. A.S. № 1719011 (811) Ekstraktor dlya rastitel'nogo syr'ya / Yusupov A.M., Salomov Z. i dr. – Opubl. v B.I. 1992. – № 10.
8. Beloglazov L.N. Tverdogfaznye ekstrakto-ry. – L.: Khimiya, 1985. – 246 s.
9. Kocsis K. The use of agricultural residues for corn drying and stall heating // Energy Conservation and Use of Renewable Energies in the Bio-Industries. – Proc. 2nd Intl Seminar, Oxford, 6-10 Sept. 1982.

