

УДК 629.11.012.814:641.524.6

**А.Е. Ворыханов, А.Ф. Сорокопуд, С.С. Павлов, П.П. Иванов****СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СЕМЯН ЛЬНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИОННОГО ЭКСТРАКТОРА**

Экспериментальным путем произведен подбор гидромодуля и температуры процесса при отмывке семян льна от слизи в аппарате с вибрационной тарелкой. Исследовано влияние температуры процесса отмывки на количество и качество конечных продуктов. Разработана технологическая схема комплексной переработки семян льна с использованием виброэкстрактора периодического действия, позволяющая переработать семена льна более чем на 80 %.

Виброэкстрактор, семена льна, гидромодуль, белок.

**Введение**

Во всем мире признано, что одним из основных направлений повышения эффективности производства является полное использование сырьевых ресурсов. Этого можно достичь за счет разработки технологий комплексной переработки сырья, что позволит создать высококачественную продукцию, уменьшить количество отходов производства и существенно понизить затраты на его переработку. В России перспективной сырьевой базой для широкомасштабного производства является семя льна.

Семя льна издавна используется в народной медицине благодаря своим целебным свойствам и широкому спектру воздействия на самые разные зоны человеческого организма. Основными нутриентами, определяющими биологическую ценность льняного семени, являются: глицериды линоленовой (35–45 %), линолевой (25–35 %), олеиновой (15–20 %), стеариновой (8–9 %) кислот, белки (18–33 %), углеводы (12–26 %), органические кислоты [1].

Особая ценность этого растения состоит в том, что в нем содержатся полиненасыщенные жирные кислоты, которые не могут быть выработаны человеческим организмом, но необходимы ему; лигнаны – вещества, способные замедлить деление клеток некоторых злокачественных опухолей, улучшить функции мочевой системы, помогают предотвратить воспаление почек [1, 5].

**Объекты и методы исследований**

Основная проблема при переработке семян льна заключается в том, что в семенной оболочке содержатся полисахариды, которые связывают молекулы белка при экстрагировании, что затрудняет осаждение и очистку белка при его получении. В семенах льна оболочка прочно срастается с ядром, и ее удаление традиционными способами обрушивания не представляется возможным, поэтому лен перерабатывают без отделения оболочки [1]. В связи с этим предлагаемая технология включает предварительную отмывку семян льна с использованием вибрационного экстрактора. Это позволит извлечь полисахариды из семенной оболочки, а также получить новый продукт – слизь семян льна.

Слизь семян льна представляет практический интерес, так как может выступать в качестве водоудер-

живающего агента, текстуратора и связующего компонента в производстве хлебобулочных изделий, оказывая при этом протекторное действие на пищеварительную систему. Необходимо отметить, что слизь семян льна богата макро- и микроэлементами, такими как калий, кальций, магний, железо, марганец, медь, цинк, хром, алюминий, селен, никель, йод, свинец, бор [1].

Отмывка является частным случаем процесса экстрагирования. Одним из перспективных методов интенсификации процесса экстрагирования является использование метода наложения низкочастотных механических колебаний на систему обрабатываемых сред.

Основываясь на литературных данных [7], можно сделать вывод, что наиболее эффективными являются аппараты, в которых колебания создаются вибрирующими устройствами (тарелками), расположенными в рабочем объеме аппарата. В результате такого воздействия снизу и сверху тарелок создается высокотурбулизированный слой, который обеспечивает разрушение конгломератов твердой фазы до начальных размеров частиц и их последующее измельчение, участие в контакте с жидкой фазой всей поверхности твердой фазы, интенсивное омывание и проникновение жидкой фазы в твердую. Существенными достоинствами таких виброэкстракторов являются: простота конструкции, малая металлоемкость, низкие энергозатраты, высокая производительность, а также вибрационное воздействие на обрабатываемые среды легко поддается регулированию путем изменения амплитуды и частоты вибрации, что позволяет оптимизировать работу виброэкстрактора для большинства продуктов.

Вибрационный экстрактор состоит: из цилиндрического корпуса, выполненного из кварцевого стекла с внутренним диаметром 140 мм, высотой 260 мм; прозрачного плоского днища, выполненного из оргстекла. В корпусе установлен шток с возможностью возвратно-поступательного движения в вертикальной плоскости, на котором жестко закреплена горизонтальная перфорированная тарелка, снабженная по периферии юбкой. Возвратно-поступательные движения штоку сообщаются при помощи кривошипно-шатунного механизма от электродвигателя постоян-

ного тока ПЛ-072. Более подробное описание установки представлено в [2].

На первом этапе исследований определяли гидромодуль  $j$ , т.е. соотношение массы семян льна ( $T$ ) и массы экстрагента ( $Ж$ ), а также температуру экстрагента (воды). Применение воды в качестве экстрагента связано с ее пищевой и фармацевтической приемлемостью. До экстрагирования семена льна не подвергались никакой дополнительной обработке. Использовались семена льна урожая 2009 г., выращенные в Алтайском крае, ООО «НПО «Алтайский лен» (г. Барнаул).

Экспериментальные исследования проводились следующим образом: в аппарат засыпались цельные семена льна, заливался экстрагент, после чего включался привод тарелки. Параметры работы виброэкстрактора на данном этапе исследований были постоянными: амплитуда колебаний  $A = 10$  мм, частота колебаний  $n = 13,3$  Гц [2].

В ходе эксперимента через заданные промежутки времени из аппарата отбирались пробы жидкой фазы объемом 10 мл для измерения кинематической вязкости, по полученным показаниям оценивали степень отмывки. Вязкость растворов определяли вискозиметром типа ВПЖ-3 по ГОСТ 10028-81. Также производили измерение действующих значений напряжения и тока. Напряжение измеряли вольтметром Д533 класс точности 1, значения тока – амперметром Э309 класс точности 1. В дальнейшем эти данные использовались для расчета полезной мощности на валу электродвигателя. Методика по определению полезной мощности описана в [3].

### Результаты и их обсуждение

Увеличение вязкости в каждой серии опытов имеет экстремум на отрезке времени 14–20 мин. Поэтому для определения границ экстремума дополнительно отбирались пробы на 15, 16, 17, 18, 19 мин промывки. Результаты экспериментов представлены на рис. 1.

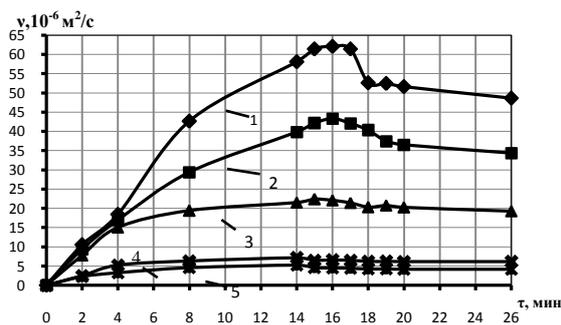


Рис. 1. Зависимость вязкости от времени вибрационного воздействия ( $t = 20$  °С): 1 –  $j = (1:10)$ ; 2 –  $j = (1:15)$ ; 3 –  $j = (1:20)$ ; 4 –  $j = (1:25)$ ; 5 –  $j = (1:30)$

Из рис. 1 видно, что время экстрагирования полисахаридов из семян льна не должно превышать 17 мин, так как при большей длительности процесса происходит уменьшение вязкости раствора. Это можно объяснить тем, что при длительном вибрационном воздействии происходит разрушение полисахаридных цепей.

Поэтому рекомендуемое время экстрагирования полисахаридов из семян льна составляет 15–16 мин.

При подборе рационального гидромодуля необходимо учитывать, что увеличение массовой доли экстрагента ведет, с одной стороны, к повышению движущей силы, а с другой – к понижению концентрации экстрагируемых веществ и увеличению стоимости конечного продукта, так как потребуются дополнительный процесс их концентрирования. Также необходимо отметить, что уменьшение массы экстрагента приводит к увеличению вязкости раствора, что в свою очередь приводит к увеличению затрачиваемой мощности. Поэтому для более глубокого анализа были проведены исследования энергозатрат в зависимости от соотношения фаз. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

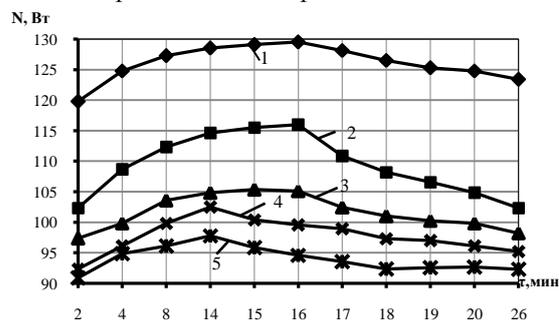


Рис. 2. Зависимость энергозатрат от соотношения фаз ( $t = 20$  °С): 1 –  $j = (1:10)$ ; 2 –  $j = (1:15)$ ; 3 –  $j = (1:20)$ ; 4 –  $j = (1:25)$ ; 5 –  $j = (1:30)$

Данные рис. 2 свидетельствуют о том, что изменение вязкости влияет на энергозатраты (экстремумы вязкости совпадают с экстремумами мощности): чем меньше экстрагента, тем выше энергозатраты. Можно рекомендовать как наиболее рациональное соотношение фаз  $j = (1:20)$ . Этот выбор объясняется тем, что если сравнивать с соотношениями  $j = (1:10)$  и  $(1:15)$ , то содержание в этих растворах полисахаридов будет наибольшим. Однако энергозатраты на отмывку семян от слизи при соотношении  $j = (1:10)$  и  $(1:15)$  составляют соответственно 129,52 и 115,98 Вт, тогда как при  $j = (1:20)$  – 105,36 Вт. К тому же при соотношении  $j = (1:10)$  и  $(1:15)$  не достигается качественная отмывка семян от слизи, по завершении отмывки на поверхности семян слизь остается. Поэтому необходимо повторять процесс до полного отмывания слизи, тогда как при соотношении  $j = (1:20)$  вся слизь отмывается за одну операцию.

При соотношении 1:25 и 1:30 вся слизь отмывается, а энергозатраты составляют 100,42 и 95,86 Вт соответственно. Но при этих соотношениях массовая доля экстрагента превышает массовую долю полисахаридов, что в конечном итоге приведет к дополнительным затратам для их концентрирования. Таким образом, для практических целей рекомендуем соотношение фаз  $j = (1:20)$ .

На следующей стадии исследований определяли температуру процесса отмывки, которая оказывает влияние на качество и количество конечных продуктов (слизь, масло, белок). Отмытые семена льна отделяли от слизи при помощи сита. Семена и слизь

высушивали и взвешивали. Семена высушивали до влажности 7 %. После достижения требуемой влажности семена измельчали и экстрагировали н-гексаном в экстракторе Сокслета. Из полученного масла отгоняли экстрагент. В масле определяли перекисное число (ПЧ) по ГОСТ Р 51487-99 и кислотное число (КЧ) по ГОСТ Р 50457-92.

Обезжиренные семена нагревали для удаления н-гексана. Затем полученный шрот загружали в вибро-

экстрактор и экстрагировали в течение 25 мин 7%-м водно-солевым раствором, при этом соотношение фаз составляло  $j = (1:10)$ . Для коагуляции белка в полученный белковый раствор добавляли концентрированную соляную кислоту, доводя pH раствора до 3,5–4 [4, 5]. Затем отделившийся белок центрифугировали и взвешивали. Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели выхода и качества конечных продуктов в зависимости от температуры экстрагента

Температура экстрагента, °С	Масса слизи, г	Масса высушенных семян, г	Масса масла, г	КЧ, мг(КОН)/г	ПЧ, моль (½ O₂)/кг	Масса белка (альбумина), г
20	9,58	81,86	33,78	0,47	0,91	9,46
25	9,6	81,05	33,46	0,5	1,24	9,58
30	13,2	80,4	40,18	0,51	1,64	10,03
35	10,4	81,26	31,95	0,78	3,48	9,48
40	10,6	81,75	30,96	0,86	5,8	9,39
50	10,81	82,86	30,8	0,98	10,2	9,34
70	10,22	79,68	25,44	5,46	15	6,24

Для масел основными показателями качества являются кислотное (КЧ) и перекисное (ПЧ) числа. При переработке и хранении масла эти показатели подвержены наиболее существенным изменениям [6]. При взаимодействии триглицеридов с водой происходит образование свободных жирных кислот, а при контакте с кислородом воздуха жиры образуют перекисные соединения.

Льняное масло, применяемое для пищевых целей, по физико-химическим показателям должно соответствовать следующим требованиям: КЧ не более 5,0 мгКОН/г; ПЧ не более 10 ммоль ½ O₂/кг [6].

Данные таблицы свидетельствуют о том, что температура воды при отмывке влияет не только на количество отмывкой слизи, но и на качество и количество других продуктов, получаемых из семян льна (масло, белок).

Сопоставив данные таблицы и требования, предъявляемые к пищевому льняному маслу, можно исключить температуры 50 и 70 °С. Это объясняется тем, что после отмывки водой с температурой 70 °С получается масло с КЧ и ПЧ выше допустимого. При отмывке водой с температурой 20–40 °С все показатели качества масла находятся в норме, однако при температуре 30 °С наблюдается самый высокий выход не только слизи, но и масла и белка, что экономически более выгодно. Поэтому рекомендуем проводить отмывку семян льна водой с температурой 30 °С.

С учетом данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, была разработана технологическая схема комплексной переработки семян льна с использованием виброэкстрактора на стадиях отмывки семян льна от слизи и на стадии экстрагирования белка из обезжиренного шрота (рис. 3).

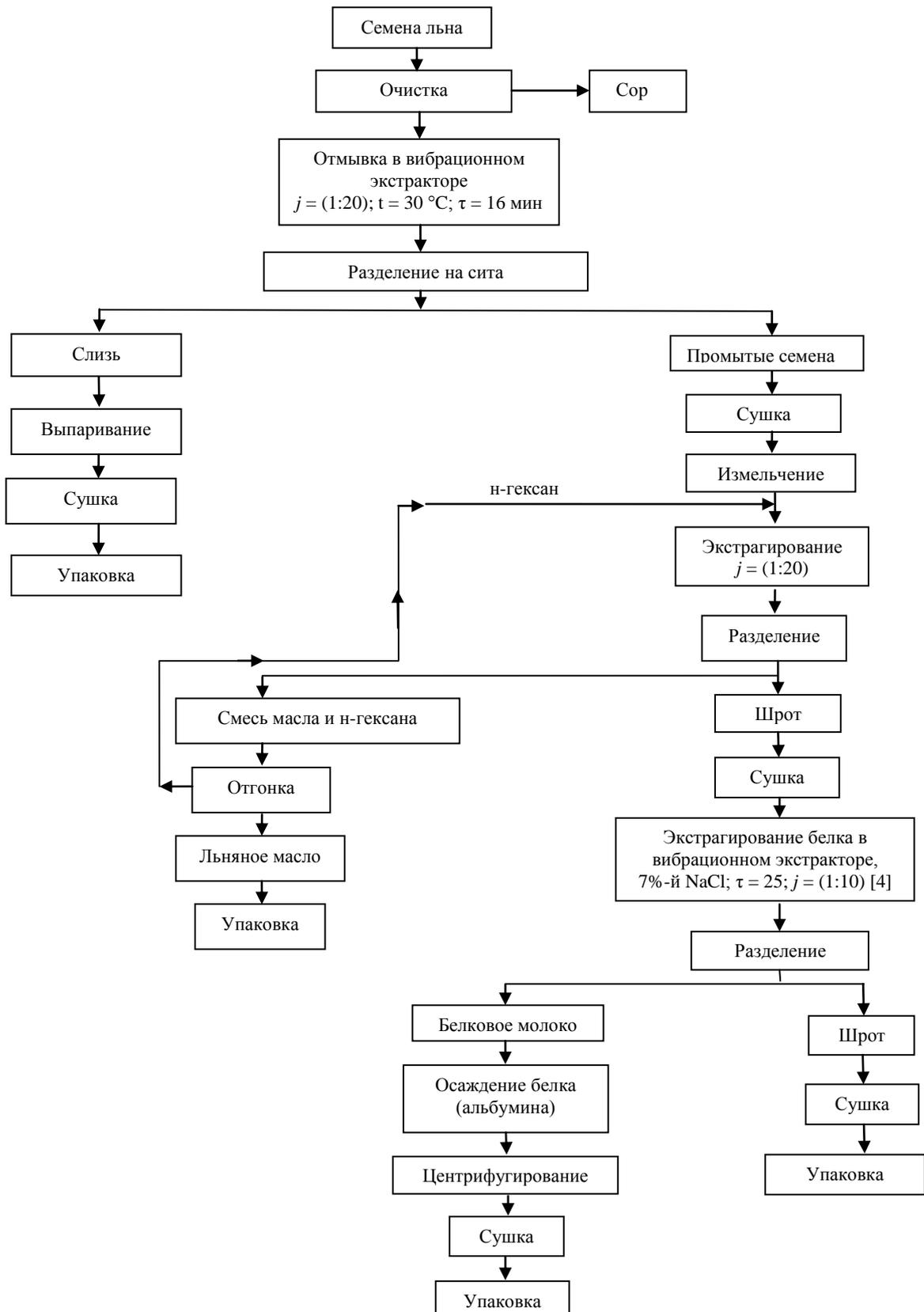


Рис. 3. Технологическая схема комплексной переработки семян льна

## Список литературы

1. Лекарственное растительное сырье. Фармакогнозия / под ред. Г.П. Яковлева. – СПб., 2004. – 665 с.
2. Сорокопуд, А.Ф. Исследование работы виброэкстрактора при растворении сахарного сиропа / А.Ф. Сорокопуд, П.П. Иванов, А.Е. Ворыханов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 4. – С. 91–97.
3. Иванов, П.П. К вопросу о расчете полезной мощности в вибрационном экстракторе / П.П. Иванов, А.Е. Ворыханов; Кемеров. технол. ин-т пищ. пром-сти. – Кемерово, 2010. – 9 с.: 1 ил. – Библиогр.: 7 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ 03.12.10, № 679-B2010.
4. Пат. 2232513 Российская Федерация, МПК 7 А 23J 1/14. Способ получения альбуминно-глобулинового белка «линумина» из жмыха семян льна / Стеблинин А.Н., Григорьева А.Л.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский, проектно-технологический институт механизации льноводства. – № 2002129154/13; заявл. 31.10.2002; опубл. 20.07.2004.
5. Миневич, И.Э. Разработка технологических решений переработки семян льна для создания функциональных пищевых продуктов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Миневич Ирина Эдуардовна. – М., 2009. – 27 с.
6. Экспертиза масел, жиров и продуктов их переработки: учеб.-справ. пособие / Е.П. Корнена, С.Л. Калманович, Е.В. Мартовщук и др.; под общ. ред. В.М. Позняковского. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 272 с.
7. Городецкий, И.Я. Вибрационные массообменные аппараты / И.Я. Городецкий и др.; под ред. В.М. Олевского. – М.: Химия, 1980. – 192 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

## SUMMARY

**A.E. Vorykhanov, A.F. Sorokopud, S.S. Pavlov, P.P. Ivanov**

**THE IMPROVEMENT OF THE FLAX SEED PROCESSING TECHNOLOGY  
WITH THE USE OF VIBRATORY EXTRACTOR**

The choice of ratio of liquid and solid phases and the process temperature has been experimentally conducted while cleaning flax seeds from slime in the apparatus with a vibratory plate. The influence of the cleaning process temperature on quality and quantity of finished products has also been investigated. The technological scheme of complex processing of flax seeds using vibratory extractor of periodic operation which allows to process flax seeds by more than 80 % has been developed.

Vibratory extractor, flax seeds, liquid and solid phases, protein.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

