

Влияние фрикционных свойств семян подсолнечника на эффективность работы технологического оборудования для прессования



М. А. Березин*^{ORCID}, В. И. Борисов^{ORCID}

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»,
430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68

Дата поступления в редакцию: 13.09.2019
Дата принятия в печать: 15.11.2019

*e-mail: berezin_ma@mail.ru



© М. А. Березин, В. И. Борисов, 2019

Аннотация.

Введение. Процесс отжима масла из масличных культур очень сложен вследствие наличия большого количества связанных между собой факторов, которые влияют на характер его протекания. Сложная пористая структура строения мезги культуры представляет собой сочетание трех фаз: сухого вещества, жидкости (масла) и воздуха. Поэтому изучение процесса уплотнения мезги требует разработки специальной методики определения фрикционных характеристик материала.

Объекты и методы исследования. Для проведения исследования фрикционных, а также объемных характеристик семян масличных культур, была разработана и изготовлена оригинальная экспериментальная установка. Исследование проводилось с использованием навесок исследуемого образца одинаковой массы, взвешенных на аналитических весах с допускаемой погрешностью $\pm 5\%$. На первом этапе эксперимента изучались объемные характеристики, где были подвергнуты испытанию 10 навесок. На втором этапе изучались фрикционные характеристики. Для этого брались первые 5 образцов, полученные после первого этапа при различном давлении.

Результаты и их обсуждение. Время выдержки под давлением оказывает на выход масла более значимое влияние, чем величина давления прессования. Это обуславливается сложной капиллярной структурой мезги, оказывающей значительное гидродинамическое сопротивление оттоку масла. Зависимость выхода масла от давления прессования описывается асимптотической функцией с предельным (асимптотическим) значением давления прессования 48 МПа, при котором выход масла достигает величины $\varphi = 54\%$. Установлено, что зависимость коэффициента трения от значений температуры, давления и скорости скольжения описывается регрессионным уравнением степенного типа с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0,96$.

Выводы. Полученные данные имеют практическую значимость и позволят повысить эффективность технологического оборудования для прессования.

Ключевые слова. Подсолнечное масло, фрикционные свойства, сила трения, объемное сжатие, давление, прессование, выход масла

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения основной работы научно-педагогических работников ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

Для цитирования: Березин, М. А. Влияние фрикционных свойств семян подсолнечника на эффективность работы технологического оборудования для прессования / М. А. Березин, В. И. Борисов // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 571–578. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-571-578>.

Original article

Available online at <http://fppt.ru/eng>

Effect of the Frictional Properties of Sunflower Seeds on the Efficiency of Pressing Equipment

M.A. Berezin*^{ORCID}, V.I. Borisov^{ORCID}

National Research Ogarev Mordovia State University,
68, Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russia

Received: September 13, 2019
Accepted: November 15, 2019

*e-mail: berezin_ma@mail.ru



© M.A. Berezin, V.I. Borisov, 2019

Abstract.

Introduction. The process of oil extraction from oilseeds is very complicated as it depends on a large number of related factors. The

complex porous structure of pulp is a combination of three phases: dry solids, liquid (oil), and air. Therefore, the study of the process of pulp pressing requires a special method for determining the friction characteristics of the material.

Study objects and methods. To determine the friction and volume characteristics of oilseeds, an original experimental unit was developed and manufactured. The study involved samples of the same mass weighted using a high-accuracy analytic balance (permissible error = ± 5%). The first stage of the experiment featured volume characteristics of ten samples. The second stage featured friction characteristics of the five first samples obtained during the first stage at different pressures.

Results and discussion. The pressure time proved to have a more significant effect on the oil yield than the pressure volume, since the complex capillary structure of the pulp demonstrated a significant hydrodynamic resistance to oil outflow. The dependence of the oil yield on the pressure was described by an asymptotic function; the limit (asymptotic) value of the pressure was 48 MPa. At this pressure, the oil yield reached $\varphi = 54\%$. The dependence of the friction coefficient on the values of temperature, pressure, and sliding velocity was described by a power-law regression equation with the coefficient of accuracy of approximation $R^2 = 0.96$.

Conclusion. The obtained data are of practical importance and can be used to improve the efficiency of pressing equipment.

Keywords. Seed oils, friction properties, friction force, volume compression, pressing pressure, oil yield

Funding. The paper was written as part of the routine work performed by the researches of the National Research Ogarev Mordovia State University.

For citation: Berezin MA, Borisov VI. Effect of the Frictional Properties of Sunflower Seeds on the Efficiency of Pressing Equipment. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(4):571–578. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-571-578>.

Введение

В основе известных математических моделей и методов расчета процессов формования лежат определяющие (реологические) уравнения, связывающие напряжения и скорости деформации формируемых сред. Граничные условия в зоне контакта деформируемой среды с нагружающей поверхностью (рабочими органами прессового оборудования) формулируются в виде различных законов трения, выражающих зависимость удельной силы трения (касательных напряжений) от нормальной силы (нормальных напряжений) на границе контакта и других факторов (температуры, скорости скольжения, состояния поверхностей трения и т. д.).

Особую роль при этом играют фрикционные свойства, так как в процессе обработки происходит взаимодействие между исследуемым материалом и рабочими органами машин. Следовательно, на материал действуют силы трения и силы, вызывающие его деформацию. Под действием этих сил в материале возникают напряжения. Без знания закономерностей изменений фрикционных характеристик материалов, деформаций и напряжений в материале невозможно выполнить теоретические расчеты, связанные с проектированием оборудования [1–22].

В данных условиях особое внимание вызывает изучение фрикционных свойств семян масличных культур. Это объясняется тем, что процесс прессования мезги масличных культур очень сложен из-за влияния на характер его протекания большого количества связанных между собой факторов, а также сложной пористой структурой строения мезги культуры, представляющей собой сочетание трех фаз: сухого вещества, жидкости (масла) и воздуха. Поэтому изучение процесса уплотнения мезги требует разработки специальной методики.

Объекты и методы исследования

Для проведения исследования фрикционных, а также объемных характеристик семян масличных культур, была разработана и изготовлена оригинальная экспериментальная установка, основой конструкции которой являются: рама, верхний и нижний приводы [4].

Экспериментальный блок размещается между верхней и нижней плитами рамы. Нижний привод осуществляется от двигателя постоянного тока со встроенным тахогенератором и возможностью регулирования частоты вращения в диапазоне 0–3000 мин⁻¹. Общее передаточное число нижнего привода составляет $u = 475$, допуская варьирование линейной скорости толкателя в диапазоне 0–1 мм/с. Вращение от двигателя передается через ременную передачу ($i_1 = 2$) на червячный редуктор ($i_2 = 50$) и далее через цилиндрическую открытую прямозубую передачу ($i_3 = 2,375$) на ходовой винт винтовой зубчатой передачи ($i_4 = 2$), соединенный с толкателем с помощью пальца.

Общий вид экспериментального блока разработанной установки представлен на рисунке 1.

Основой экспериментального блока является толстостенная камера (9), снабженная встроенным электронагревательным элементом и теплоизоляцией. Для создания равномерного температурного поля в рабочей полости камеры при ее монтаже на промежуточное кольцо были установлены теплоизоляционные кольца и прокладки.

Регистрация температурного режима в рабочей полости осуществляется с помощью термопары ТХК-2488 (ТУ 25-7363.041-89) с рабочим диапазоном температур $-40\text{ }^\circ\text{C}$ – $+375\text{ }^\circ\text{C}$, номинальной статической характеристикой преобразования Е, классом допуска 1 (ГОСТ Р5043-92) (предел допускаемых отклонений $\pm 1,5\text{ }^\circ\text{C}$), монтируемой в

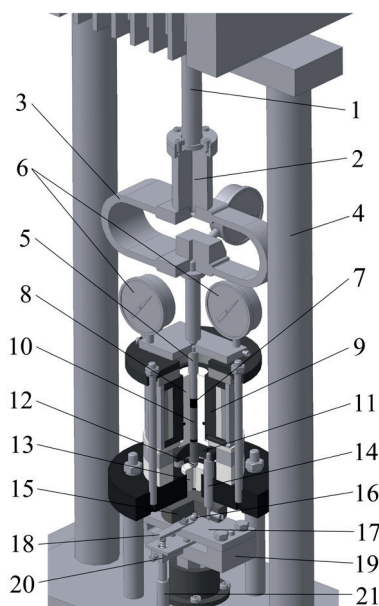


Рисунок 1. Экспериментальный блок установки для исследования фрикционных характеристик пищевых материалов в условиях объемного сжатия: 1 – верхний привод; 2 – переходник; 3 – пружинный динамометр сжатия (ГОСТ 9500-84); 4 – колонны; 5 – верхний шток; 6 – индикатор часовой ИЧ-10 (ГОСТ 577-68); 7 – образец; 8 – втулка подвижная; 9 – камера; 10 – нижний толкатель; 11 – пятка; 12, 16 – сфера; 13 – пробка; 14 – стержни; 15 – плита стержневая; 17 – динамометр; 18 – пластина упорная; 19 – динамометр; 20 – держатель; 21 – датчик перемещений «MARPOS»

Figure 1. Experimental unit used to study the frictional characteristics of food materials under volume compression: 1 – top drive; 2 – adapter; 3 – spring compression dynamometer (State Standard 9500-84); 4 – pillars; 5 – upper stock; 6 – dial indicator DI-10 (State Standard 577-68); 7 – sample; 8 – driving washer; 9 – chamber; 10 – bottom pusher; 11 – toe; 12, 16 – sphere; 13 – cork; 14 – rods; 15 – rod plate; 17 – dynamometer; 18 – thrust plate; 19 – dynamometer; 20 – holder; 21 – movement sensor MARPOS

отверстие камеры (9), и регулирующего прибора K2649 «Velleman-kit» с LCD-дисплеем с рабочим диапазоном температур $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ и допускаемой погрешностью от нормируемого значения $\pm 0,5\%$.

Установка имеет собственную систему управления, позволяющую осуществлять опускание, подъем и остановку ходового винта нижнего привода, а также изменение линейной скорости движения. Для точного измерения перемещения нижнего толкателя относительно стола используется индикатор часовой типа ИЧ-50 (ГОСТ 577-68) с ценой деления 0,01 мм и диапазоном измерений 50 мм.

Установка снабжена системой силоизмерения, включающей в себя сменный пружинный динамометр сжатия ДОСМ-3-10У с наибольшим пределом измерений 10 кН и ценой деления 16 Н (ГОСТ 9500-84).

Система измерения деформаций представлена плитой, на которой установлены два индикатора

часового типа (6), нулевые значения которых должны соответствовать нулевым нагрузкам, действующим на образец.

Измерение фрикционных характеристик предполагается осуществлять следующим образом: с помощью верхнего привода (1) создается сжимающее усилие на образец (7), которое регистрируется динамометром (3). После подвижная втулка (8) с помощью нижнего привода через детали (15, 14, 12) перемещается в камере (9) относительно толкателей и испытуемого образца (7) с выбранной скоростью вверх. Для измерения деформации и преобразования ее в силу трения поверхности образца используется датчик перемещений «MARPOS» (21), подключенный к контрольно-измерительному прибору, который регистрирует во времени усилия, воспринимаемые от изгибного датчика растяжения-сжатия (17). Метод аналогичен методам, описанным в работах [2–6, 9, 13, 20].

Предварительно была проведена тарировка динамометра с индукционным датчиком перемещений и датчика скорости скольжения.

В качестве исследуемого образца были выбраны ядра семян подсолнечника, которые измельчались до тонкодисперсного состояния.

Исследование проводилось в два этапа на разработанной установке с использованием навесок исследуемого образца одинаковой массы, взвешенных на аналитических весах с допускаемой погрешностью $\pm 5\%$. На первом этапе эксперимента изучались объемные характеристики, где были подвергнуты испытанию 10 навесок. На втором этапе изучались фрикционные характеристики. Для этого брались первые 5 образцов, полученные после первого этапа при соответствующих давлениях.

На первом этапе испытание образцов в изотермических условиях осуществлялось объемное сжатие при $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлениях 5,09 МПа, 10,19 МПа, 15,28 МПа, 20,38 МПа, 25,48 МПа, 38,22 МПа, 63,69 МПа, 89,17 МПа, 108,28 МПа, 127,39 МПа. Предварительно образцы подвергались сжатию 0,64 МПа при $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 10 мин. По показаниям индикаторов фиксировали изменение объема, после чего строились первичные кривые $\varepsilon_V = \varphi(P, T)$.

На втором этапе испытание образцов производили в условиях изобарного нагружения ($p = \text{const}$) с повышением температуры от $t_0 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ с интервалом $\Delta t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. С помощью пружинного динамометра, закрепленного на верхнем толкателе, следили за постоянством давления, систематически корректируя его перемещением верхнего привода. Контроль температурного режима осуществлялся с помощью системы из термопары ТХК-2488 (ТУ 25-7363.041-89), который последовательно (в 5 ступеней) настраивался на соответствующие значения температуры. После достижения на очередном шаге нагрева заданного значения температуры перед измерениями в течение 10 мин выдерживалась

пауза. Это гарантировало соответствующий прогрев образца. После создавалось движение подвижной втулки относительно образца с заданной скоростью скольжения, начиная от $v = 0,05$ мм/с до $v = 0,25$ мм/с с интервалом $\Delta v = 0,05$ мм/с. Контроль скоростного режима осуществлялся с помощью вольтметра, по показаниям которого настраивалось соответствующее значение скорости. Предварительно была произведена тарировка скорости скольжения. После этого с помощью нижнего изгибного датчика растяжения-сжатия и датчика перемещений «MARPOS» фиксировалось деформация. Показания датчика перемещений переводились в усилия на нижнем приводе согласно тарировочному графику. Данное усилие соответствовало силе трения боковой поверхности образца. Далее коэффициенты трения определялись по следующей зависимости:

$$F_{TP} = \pi \cdot d \cdot l \cdot P \cdot f \quad (1)$$

где d – диаметр образца, $d = 10$ мм = const;
 l – длина образца, мм;
 P – давление на верхнем штоке, МПа;
 f – коэффициент трения.

Следовательно, коэффициент трения определяется:

$$f = \frac{F_{TP}}{\pi \cdot d \cdot l \cdot P} \quad (2)$$

По полученным значениям коэффициентов трения строились первичные кривые $f = \varphi(T, \vartheta, P)$.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с методикой, изложенной в настоящей работе, на основе экспериментальных

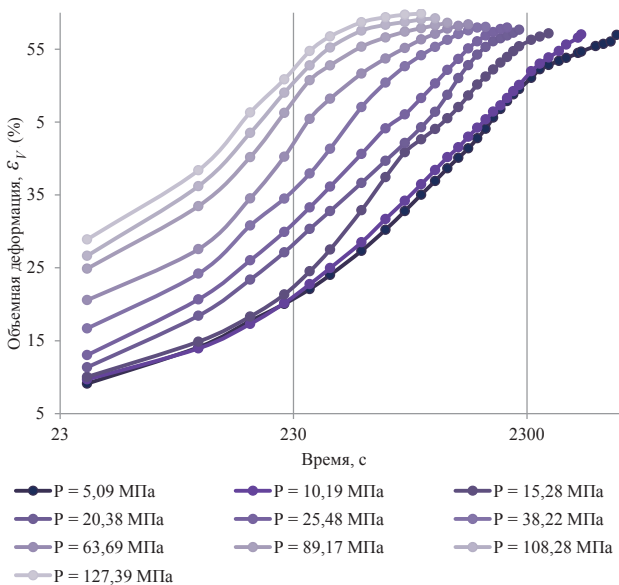


Рисунок 2. Зависимость изменения объема образца от времени деформирования при различных значениях давления и постоянном значении температуры $t = 120$ °С

Figure 2. Effect of the deformation period on the sample volume at various pressure values and a constant temperature $t = 120$ °С

данных, полученных на первом этапе экспериментов, построены кривые нагружения образцов мезги ядер семян подсолнечника, представленные на рисунках 2 и 3.

Полученные результаты указывают на зависимость выхода масла от давления, а также на зависимость изменения объема от времени при различных давлениях. Однако влияние давления менее значимо, чем время выдержки при заданном давлении. Согласно графику, представленному на рисунке 2, с увеличением давления объемная деформация ε_v увеличивается, а время прессования резко падает. При этом объемная деформация с течением времени выходит на асимптотику.

Согласно графику, представленному на рисунке 3, зависимость выхода масла описывалась полиномиальной функцией распределения 4 степени с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9963$. Полученный график позволяет определять рациональное давление прессования, которое обеспечит максимальный выход масла. В нашем случае рациональным является давление в 48 МПа при выходе масла $\varphi = 54$ %.

На втором этапе экспериментальных исследований были определены коэффициенты трения образцов, графики зависимостей которых представлены на рисунках 4–6.

Результаты статистической обработки значений коэффициентов трения, представленных на рисунках 4–6, показывают, что с увеличением давления, скорости скольжения и температуры коэффициенты трения снижаются.

Полученные кривые аппроксимированы степенными функциями распределения. Среднее значение критерия достоверности аппроксимации R^2 составило 0,924.

С целью получения регрессионного уравнения зависимости коэффициентов трения от данных параметров проведена статическая обработка с помощью программы Microsoft Excel: по оси x откладывались безразмерные значения температур,

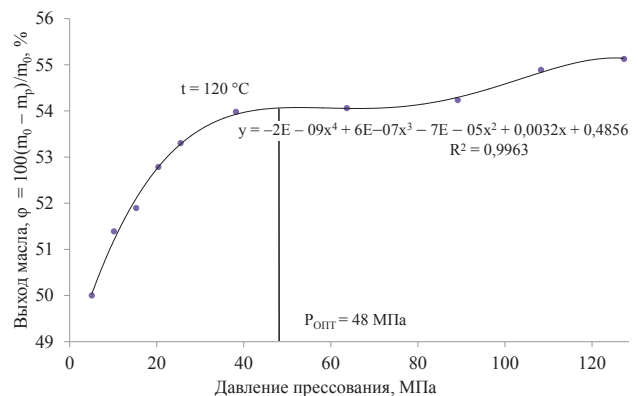


Рисунок 3. Зависимость выхода масла от давления прессования

Figure 3. Effect of pressure on the oil yield

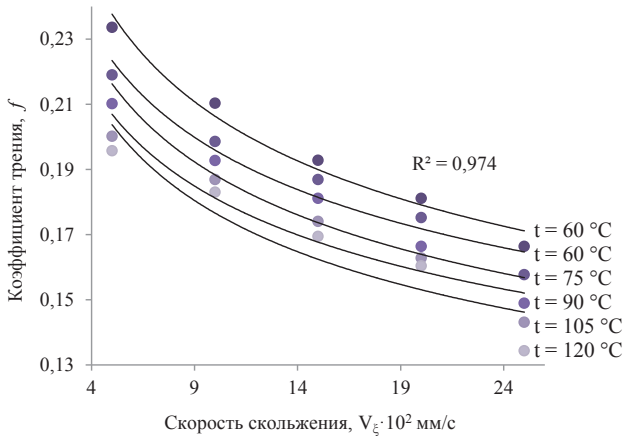


Рисунок 4. Типичные графики зависимости коэффициентов трения от скорости скольжения при $P = 5,09$ МПа

Figure 4. Typical graphs of the dependence of the friction coefficients on the sliding speed at $P = 5.09$ MPa

давлений и скоростей скольжения, использованные при проведении экспериментов. Полученные кривые описывались степенными функциями распределения.

Общее регрессионное уравнение описывалось следующей функцией:

$$f = K \left(\frac{v}{v_0}\right)^{n_v} \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right)^{n_p} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{n_T} \quad (3)$$

где v, P, T – заданные значения давлений, скоростей скольжения и температуры;

v_0, P_0, T_0 – начальное значение давления, скорости скольжения и температуры;

K – общий коэффициент зависимости;

n_v – коэффициент зависимости скорости;

n_p – коэффициент зависимости давления;

n_T – коэффициент зависимости температуры.

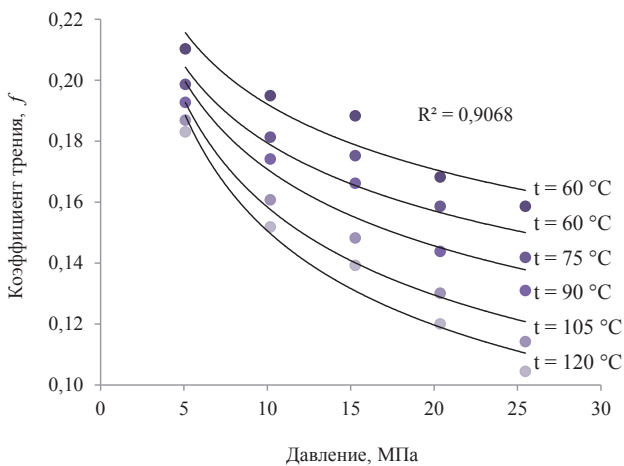


Рисунок 5. Типичные графики зависимости коэффициентов трения от давления при $V = 0,1$ мм/с

Figure 5. Typical graphs of the dependence of the friction coefficients on pressure at $V = 0.1$ mm/s

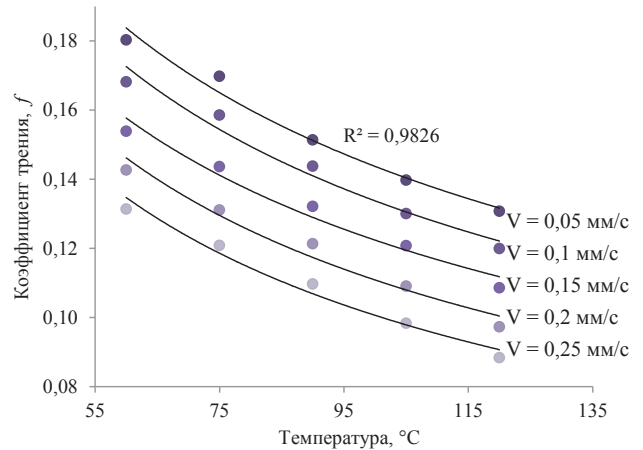


Рисунок 6. Типичные графики зависимости коэффициентов трения от температуры при $P = 20,38$ МПа

Figure 6. Typical graphs of the dependence of the friction coefficients on temperature at $P = 20.38$ MPa

Неизвестные значения определяем по следующей методике.

При $P = P_0 = 5,09$ МПа и $t = t_0 = 60$ °C

$$f = K_v \left(\frac{v}{v_0}\right)^{n_v} \quad (4)$$

Из уравнения регрессии определяем:
 $K = K_v = 0,2377, n_v = -0,204$ и $R_v^2 = 0,974$.

При $v = v_0 = 0,05$ мм/с и $t = t_0 = 60$ °C

$$f = K \left(\frac{P}{P_0}\right)^{n_p} \quad (5)$$

Из уравнения регрессии определяем:
 $K = K_p = 0,2346, n_p = -0,1873$ и $R_p^2 = 0,9895$.

При $v = v_0 = 0,05$ мм/с и $P = P_0 = 5,09$ МПа

$$f = K \left(\frac{T}{T_0}\right)^{n_T} \quad (6)$$

Из уравнения регрессии определяем:
 $K = K_T = 0,233, n_T = -0,2587$ и $R_T^2 = 0,9951$.

Определяем:

Общий коэффициент зависимости

$$K = \frac{K_v + K_p + K_T}{3} = \frac{0,2377 + 0,2346 + 0,233}{3} = 0,2353 \quad (7)$$

Общий критерий достоверности аппроксимации R^2

$$R^2 = R_v^2 \cdot R_p^2 \cdot R_T^2 = 0,9951 \cdot 0,974 \cdot 0,9895 = 0,96 \quad (8)$$

Таким образом, общее регрессионное уравнение зависимости коэффициентов трения от давления, скорости скольжения и температуры представится следующим образом:

$$f = 0,2353 \left(\frac{v}{v_0}\right)^{-0,204} \left(\frac{P}{P_0}\right)^{-0,1873} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-0,2587} \quad (9)$$

Выводы

Из результатов эксперимента следует, что:

- время выдержки под давлением оказывает на выход масла более значимое влияние, чем величина давления прессования. Это обуславливается сложной капиллярной структурой мезги, оказывающей значительное гидродинамическое сопротивление оттоку масла;
- зависимость выхода масла от давления прессования описывается асимптотической функцией с предельным (асимптотическим) значением давления прессования 48 МПа, при котором выход масла достигает величины $\varphi = 54\%$.
- зависимость коэффициента трения от значений температуры, давления и скорости скольжения описывается регрессионным уравнением степенного типа с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0,96$.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству университета в доступе к научно-исследовательской лаборатории «Энергосберегающие технологии переработки сырья и материалов» Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» для получения экспериментальных данных.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to the university authorities for providing access to the Laboratory of Energy-Saving Technologies of Raw Materials Processing (Institute of Mechanics and Energy, National Research Ogarev Mordovia State University), without which it would have been impossible to obtain the experimental data.

Список литературы

1. Мачихин, Ю. А. Современное оборудование в обработке пищевых материалов давлением / Ю. А. Мачихин, Г. Г. Зурабишвили, С. Н. Панфилова. – М. : ВЗНИ, 1991. – 308 с.
2. Комплексная переработка семян масличных культур (теория, техника и технология) / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, И. В. Драган [и др.]. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2016. – 312 с.
3. Припоров, И. Е. Исследование технологического процесса прессования семян подсолнечника с получением жмыха / И. Е. Припоров // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 69. – С. 342–346.
4. Березин, М. А. Универсальная установка для определения реологических и физико-механических характеристик пищевых материалов / М. А. Березин, В. В. Кузнецов, В. Н. Водяков // Энергоресурсосберегающие технологии и системы в АПК : межвузовский сборник научных трудов / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. – Саранск, 2004. – С. 228–233.
5. Моделирование процесса отжима масличного сырья в форпрессе / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, Н. А. Михайлова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – № 9. – С. 5–9.
6. Василенко, В. Н. Исследование кинетических закономерностей процесса извлечения растительных масел в шнековом маслопрессе / В. Н. Василенко, М. В. Копылов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012. – Т. 51, № 1. – С. 10–12.
7. Ресурсосберегающее оборудование нового поколения для переработки масличного сырья / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, Н. А. Михайлова [и др.] // Вестник машиностроения. – 2019. – № 4. – С. 74–75.
8. Melt flow of biopolymer through the cavities of an extruder die: Mathematical modeling / A. N. Ostrikov, A. A. Ospanov, V. N. Vasilenko [et al.] // Mathematical Biosciences and Engineering. – 2019. – Vol. 16, № 4. – P. 2875–2905. DOI: <https://doi.org/10.3934/mbe.2019142>.
9. Математическое обеспечение процесса экструдирования аномально-вязких сред методами планирования эксперимента / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, А. А. Деркасова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, № 3 (77). – С. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-37-42>.
10. Создание энергоэффективного оборудования для переработки масличного сырья / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, Н. А. Михайлова [и др.] // Вестник машиностроения. – 2017. – № 1. – С. 87–88.
11. Development of the mathematical model for the process of oil raw materials pressing / A. Kairbayeva, V. Vasilenko, S. Dzhinguilbayev [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, № 6. – P. 7836–7842.
12. Фролова, Л. Н. Ресурсосберегающее оборудование для влаготепловой подготовки масличного сырья к прессованию / Л. Н. Фролова, В. Н. Василенко, Н. А. Михайлова // Вестник машиностроения. – 2016. – № 1. – С. 86–88.
13. Математическое моделирование процесса прессования масличного сырья / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, Н. А. Михайлова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – № 8. – С. 10–14.

14. Оценка термодинамической эффективности линии производства растительных масел с предварительной экструзионной обработкой сырья / В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, Н. А. Михайлова [и др.] // Вестник международной академии холода. – 2016. – № 3. – С. 37–42.
15. Анализ кинетических закономерностей процесса прессования семян рапса методом горячего прессования / В. Н. Василенко, М. В. Копылов, Е. А. Татаренков [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – Т. 60, № 2. – С. 21–24.
16. Федоренко, И. Я. Моделирование ударного нагружения слоя кормового материала / И. Я. Федоренко, А. А. Смышляев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 127, № 5. – С. 136–141.
17. Растительные масла – функциональные продукты питания / И. В. Долголюк, Л. В. Терещук, М. А. Трубникова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – Т. 33, № 2. – С. 122–125.
18. Intensification of thermal and rheological processes in a scraped-surface apparatus / V. A. Aret, M. I. Kremenevskaya, A. Y. Krupoderov // Foods and Raw Materials. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 342–349. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-342-349>.
19. Reasons for the ways of using oilcakes in food industry / M. S. Bochkarev, E. Y. Egorova, I. Y. Reznichenko [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-4-12>.
20. Петров, И. А. Моделирование шнек-прессового отжима как совокупности процессов течения вязкой несжимаемой смеси и фильтрации жидкости сквозь пористую среду / И. А. Петров, Е. В. Славнов // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 277–285. DOI: <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2013.6.3.31>.
21. Evangelista, R. L. Oil extraction from lesquerella seeds by dry extrusion and expelling / R. L. Evangelista // Industrial Crops and Products. – 2009. – Vol. 29, № 1. – P. 189–196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.024>.
22. Slavnov, E. V. Method of determining the filtration properties of oil-bearing crops in the process of their pressing by the example of rape-oil extrusion / E. V. Slavnov, I. A. Petrov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2014. – Vol. 87, № 4. – P. 888–892. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-014-1085-2>.

References


1. Machikhin YuA, Zurabishvili GG, Panfilova SN. Sovremennoe oborudovanie v obrabotke pishchevykh materialov davleniem [Modern equipment in the pressure processing of food materials]. Moscow: VZNI; 1991. 308 p. (In Russ.).
2. Vasilenko VN, Frolova LN, Dragan IV, Mikhaylova NA. Kompleksnaya pererabotka semyan maslichnykh kul'tur (teoriya, tekhnika i tekhnologiya) [Integrated processing of oilseeds (theory, technique, and technology)]. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies; 2016. 312 p. (In Russ.).
3. Priporov IE. Research of technological process of sunflower seeds pressing producing the cake. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Kuban State Agrarian University]. 2017;(69):342–346. (In Russ.).
4. Berezin MA, Kuznetsov VV, Vodyakov VN. Universal'naya ustanovka dlya opredeleniya reologicheskikh i fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik pishchevykh materialov [Universal installation for determining the rheological and physico-mechanical characteristics of food materials]. Ehnergoresursosberegayushchie tekhnologii i sistemy v APK: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Energy-saving technologies and systems in the agricultural sector: interuniversity collection of scientific papers]; 2004; Saransk. Saransk: National Research Ogarev Mordovia State University; 2004. p. 228–233. (In Russ.).
5. Vasilenko VN, Frolova LN, Mikhailova NA, Rusina KYu, Slyusarev MI. Modeling of spin oilseeds in forepress. Storage and Processing of Farm Products. 2016;(9):5–9. (In Russ.).
6. Vasilenko VN, Kopylov MV. Investigation of kinetics of the extraction of vegetable oil in a screw oilpress. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2012;51(1):10–12. (In Russ.).
7. Vasilenko VN, Frolova LN, Mikhaylova NA, Dragan IV, Tarkaeva DA. Resource-saving equipment of a new generation for processing of oily raw materials. Russian Engineering Research. 2019;(4):74–75. (In Russ.).
8. Ostrikov AN, Ospanov AA, Vasilenko VN, Muslimov NZh, Timurbekova AK, Jumabekova GB. Melt flow of biopolymer through the cavities of an extruder die: Mathematical modeling. Mathematical Biosciences and Engineering. 2019;16(4):2875–2905. DOI: <https://doi.org/10.3934/mbe.2019142>.
9. Vasilenko VN, Frolova LN, Derkanosova AA, Mikhailova NA, Shhepkina AA, Davydov AM. Software of the extrusion process abnormally viscous fluids methods of experiment planning. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018;80(3(77):37–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-37-42>.
10. Vasilenko VN, Frolova LN, Mikhaylova NA, Rusina KYu, Tarkaeva DA. Development of energy efficient equipment for processing of oily raw material. Russian Engineering Research. 2017;(1):87–88. (In Russ.).
11. Kairbayeva A, Vasilenko V, Dzhinguilbayev S, Baibolova L, Frolova L. Development of the mathematical model for the process of oil raw materials pressing. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017;12(6):7836–7842.

12. Frolova LN, Vasilenko VN, Mikhail'lova NA. Resource-saving equipment for wet-heat preparation of oily raw material at pressing. Russian Engineering Research. 2016;(1):86–88. (In Russ.).
13. Vasilenko VN, Frolova LN, Mikhailova NA, Tarkaeva DA, Slyusarev MI. Mathematical modeling of the compaction process oilseeds. Storage and Processing of Farm Products. 2016;(8):10–14. (In Russ.).
14. Vasilenko VN, Frolova LN, Mikhaylova NA, Derkanosova AA, Tarkayeva DA, Rusina KYu. Thermodynamic efficiency of vegetable oil production line with pre extrusion treatment of raw materials. Journal of International Academy of Refrigeration. 2016;(3):37–42. (In Russ.).
15. Vasilenko VN, Kopylov MV, Tatarenkov EA, Moshkina SV. The analysis of kinetic regularities of the process pressing rape seeds by hot pressing. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2014;60(2):21–24. (In Russ.).
16. Fedorenko IYa, Smyshlyayev AA. Modeling of shock loading of feed material layer. Bulletin of Altai state agricultural university. 2015;127(5):136–141. (In Russ.).
17. Dolgoluk IV, Terechuk LV, Trubnikova MA, Starovojtova KV. Vegetable oils as functional foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2014;33(2):122–125. (In Russ.).
18. Aret VA, Kremenevskaya MI, Krupoderov AY, Sosnina OA, Chibiryak VP, Sazonov VA. Intensification of thermal and rheological processes in a scraped-surface apparatus. Foods and Raw Materials. 2018;6(2):342–349. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-342-349>.
19. Bochkarev MS, Egorova EY, Reznichenko IY, Poznyakovskiy VM. Reasons for the ways of using oilcakes in food industry. Foods and Raw Materials. 2016;4(1):4–12. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-4-12>.
20. Petrov IA, Slavnov EV. Simulation of screw–press oil extraction as a set of two processes: incompressible viscous mixture flow and fluid filtration in porous medium. Computational Continuum Mechanics. 2013;6(3):277–285. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2013.6.3.31>.
21. Evangelista RL. Oil extraction from lesquerella seeds by dry extrusion and expelling. Industrial Crops and Products. 2009;29(1):189–196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.024>.
22. Slavnov EV, Petrov IA. Method of determining the filtration properties of oil-bearing crops in the process of their pressing by the example of rape-oil extrusion. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2014;87(4):888–892. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-014-1085-2>.

Сведения об авторах

Березин Михаил Александрович

канд. техн. наук, доцент кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, тел.: +7 (8342) 25-44-19, e-mail: berezin_ma@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0433-3019>

Борисов Виталий Иванович

канд. техн. наук, доцент кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», 430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, тел.: +7 (8342) 25-44-19, e-mail: v.i.borisov22@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3264-0569>

Information about the authors

Mikhail A. Berezin

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Processing of Agricultural Production, National Research Ogarev Mordovia State University, 68, Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russia, phone: +7 (8342) 25-44-19, e-mail: berezin_ma@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0433-3019>

Vitaly I. Borisov

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Processing of Agricultural Production, National Research Ogarev Mordovia State University, 68, Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russia, phone: +7 (8342) 25-44-19, e-mail: v.i.borisov22@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3264-0569>