

Исследование влияния обработки высоковольтными разрядами на выход масла из мезги подсолнечника

И. А. Шорсткий 



Дата поступления в редакцию: 29.11.2019
Дата принятия в печать: 23.03.2020

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,
350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2

*e-mail: i-shorstky@mail.ru



© И. А. Шорсткий, 2020

Аннотация.

Введение. Разработка передовых электрофизических технологий переработки масличного сырья с целью повышения выхода масла и сопутствующих целевых компонентов с сохранением качественных характеристик является важнейшей задачей развития масложировой промышленности.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования был использован масличный материал – подсолнечник. Основной метод электрофизической обработки – высоковольтные электрические разряды микросекундной длительности при напряженности электрического поля 13,3 кВ/см и частотой 30 Гц. В качестве метода оценки эффективности воздействия электрических разрядов использовали метод определения количества разрушенных клеток через электропроводность материала. Для оценки эффекта обработки высоковольтными разрядами проводили прессование мезги на гидравлическом прессе с последующей экстракцией растворителем нефрас. Дополнительную оценку эффекта проводили с помощью анализа импеданса биомассы до и после обработки высоковольтными разрядами с определением индекса дезинтеграции. Для оценки качества получаемого масла определяли значения кислотного и перекисного числа. Более глубокую оценку качества масла осуществляли с помощью ИК-спектроскопии.

Результаты и их обсуждение. В результате обработки высоковольтными импульсами мезги подсолнечника было выявлено увеличение выхода прессового масла на 1,9 %. Значение остаточной масличности в шроте было снижено до 0,61 % по сравнению с 1,19 % для не обработанных образцов. Благодаря обработке удалось увеличить число разрушенных клеток на 23,8 %. Показатели качества масла продемонстрировали, что обработка высоковольтными разрядами незначительно влияет на значения кислотного числа. Резкий скачок изменения перекисного числа был вызван постановкой эксперимента в связи с длительным нагревом мезги.

Выводы. Полученные данные позволяют осуществить прогноз перспективы использования технологии обработки высоковольтными электрическими разрядами масличного материала и оценить эффективность его применения в промышленности.

Ключевые слова. Высоковольтный электрический разряд, масличный материал, отжим, экстракция, выход масла, качество масла.

Финансирование. Работа выполнена на базе ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» ФГБОУ ВО «КубГТУ». Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00448.

Для цитирования: Шорсткий, И. А. Исследование влияния обработки высоковольтными разрядами на выход масла из мезги подсолнечника / И. А. Шорсткий // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 106–114. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-106-114>.

Original article

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

Effect of High Voltage Electrical Pulses on the Oil Yield of Sunflower Meal

I.A. Shorstkii 

Received: November 29, 2019
Accepted: March 03, 2020

Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russia

*e-mail: i-shorstky@mail.ru



© I.A. Shorstkii, 2020

Abstract.

Introduction. One of the most important tasks of the modern oil and cake industry is to develop advanced technologies that could increase the yield of high quality oil and related target components from oilseeds.

Study objects and methods. The present research featured sunflower oilseeds. The main method of electrical treatment processing was high-voltage electrical pulses of microsecond duration: electric field strength = 13.3 kV/cm, frequency = 30 Hz. To assess the effects of electric pulses, we used disintegration index, i.e. a method of determining the number of destroyed cells according to the electrical conductivity of the material. To assess the effect of the treatment, the sunflower meal was pressed in a hydraulic press. The procedure was followed by extraction using hydrocarbon solvent. As an additional assessment, we analyzed the biomass impedance before and after treatment with high-voltage discharges with the determination of the disintegration index. To assess the quality of the resulting oil, we determined the acid and peroxide values. IR spectroscopy provided a more thorough assessment of the quality of the oil.

Results and discussion. After the sunflower meal was treated with high-voltage pulses, the yield of pressed oil increased by 1.9%. The residual oil content in the meal fell down to 0.61% compared with 1.19% in the control samples. Oil quality indicators showed that treatment with high-voltage pulses did not significantly affect the acid value. The sudden change in the peroxide number was probably caused by the prolonged heating during the experiment.

Conclusion. The obtained experimental data made it possible to forecast the prospects of using the high-voltage electric pulse for oilseed processing and assess the effectiveness of the technology together with its prospective industrial use. The alternative technology can replace the stage of crushing and pre-heating.

Keywords. High-voltage electrical discharge, oil-bearing material, extraction, extraction, oil yield, oil quality

Funding. Current was performed on the premises of Resource Sharing Center “Research Center for Food and Chemical Technologies” (Kuban State Technological University). The research was funded by Russian Foundation for Basic Research of the Russian Federation, grant No 18-38-00448.

For citation: Shorstkii IA. Effect of High Voltage Electrical Pulses on the Oil Yield of Sunflower Meal. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):106–114. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-106-114>.

Введение

Разработка передовых технологии крупнотоннажной переработки масличного сырья с целью повышения выхода масла и сопутствующих целевых компонентов с сохранением качественных характеристик является важнейшей задачей развития масложировой промышленности [1].

В технологической цепочке извлечение масла проходит на стадиях прессования и экстрагирования. В промышленном масштабе на стадии прессования используют шнековые прессы. Однако бывают исключения в виде применения гидравлических прессов [2]. Выход масла на этой стадии может достигать 80 % от общего количества масла. Для извлечения остаточного масла в жмыхе применяют процесс экстрагирования с использованием углеводородных растворителей. Качество экстракционного масла гораздо ниже по своим показателям, поэтому основную ценность представляет собой прессовое пищевое масло. Для увеличения выхода масла на стадии прессования применяют процедуру вальцевания совместно с влаготепловой обработкой в жаровне. В результате такой подготовки порядка 50–60 % масличных клеток анатомически разрушаются. Это улучшает показатели выхода масла на стадии прессования [3]. Однако не все масличные клетки разрушаются, что говорит о необходимости поиска методов, способствующих их полному анатомическому разрушению.

Из исследования [4] было выявлено, что расположение клеток имеет палисадообразный характер. Клетки цилиндрической вытянутой

формы характеризуются отчетливо выраженными липидными сферосомами и белковыми глобулами, диффузно расположенными в объеме клеток и объединенные цитоплазменной матрицей. В подсолнечнике, который по своей физической характеристике является диэлектрическим материалом, разрушение остаточных масличных клеток возможно лишь с применением электрофизической обработки. Более полный обзор электрофизических приемов для масличных материалов приведен в работе [5].

Гипотеза о возможном влиянии электрических разрядов на целостность масличных клеток была рассмотрена в работе [4]. Авторами было установлено, что, после обработки импульсным электрическим полем $E = 8$ кВ/см и количеством импульсов $n = 300$, на поверхности материала выделялась масличная пленка, что повлияло на реологические характеристики. В работах отечественных и зарубежных ученых было исследовано применение высоковольтных импульсов, СВЧ-нагрева и УЗ-обработки для увеличения выхода масла на стадии прессования из различных масличных материалов [2, 6–14]. В работе Н. Bakhshabadi и др. было установлено, что при обработке высоковольтными импульсами при напряженности электрического поля 3,25 кВ/см выхода масла увеличивается на 25 % [6]. Однако детального объяснения данному эффекту в работе не представлено. J. R. Sarkis с соавторами рассматривалась обработка высоковольтными разрядами в жидкости [15]. Было установлено, что такая обработка может увеличивать выход на 22,4 %.

Результаты применения электрогидроудара показывают высокую эффективность. Однако добавление жидкой фазы в виде воды не всегда возможно при работе с маслянистыми материалами в промышленном применении.

Целью данной работы является исследование применения высоковольтных электрических разрядов в качестве метода предварительной обработки мезги подсолнечника для улучшения выхода масла на стадии прессования и экстрагирования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования стала мезга семян подсолнечника, взятая с действующего производства (г. Алексеевка, Россия) при влажности $5 \pm 1,1\%$. Лузжистость мезги составляла $15 \pm 2\%$. Начальная массовая доля жира составляла $49,78\%$. Характерной особенностью мезги с данного предприятия было отсутствие стадии вальцевания в технологическом процессе. Мезга представляла собой неоднородную массу с размером частиц семян от 0,5 до 3 мм перемешанную с лузгой. Перед подачей материала на дальнейшую обработку он нагревался до температуры $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ с помощью лабораторной плитки в режиме постоянного перемешивания.

Обработка высоковольтными разрядами. Схема экспериментальной установки для проведения обработки маслянистого материала высоковольтными разрядами в воздушной среде представлена на рисунке 1. Для формирования высоковольтного разряда использовали систему электродов в конфигурации «точка-плоскость». Электроды были выполнены из стали. Верхний электрод диаметром

10 мм являлся высоковольтным, а нижний плоский электрод – с заземлением. Зазор между электродами составлял 15 мм. Обрабатываемая ячейка была выполнена из диэлектрика (дерево) диаметром 50 мм. Дно обрабатываемой ячейки было выполнено из диэлектрической сетки. Ячейка была установлена на подвижную платформу с шаговыми двигателями для осуществления обработки по всей поверхности материала. Траектория движения высоковольтного электрода по поверхности материала представлена на рисунке 1б. Данная траектория была выбрана для максимального покрытия поверхности материала. После обработки материал направлялся на стадию прессования.

Энергетическая часть высоковольтной системы была построена на базе усилителя Matsusada 20-B-20 (Matsusada Precision Inc, Japan) в комбинации с функциональным генератором Agilent 33220A (Agilent Technologies, USA). В данной установке использовали электрические положительные прямоугольные разряды длительностью 10 мкс с частотой следования импульсов 30 Гц. Амплитуда каждого импульса составляла 20 кВ. При такой конфигурации в зазоре между электродами возникала напряженность поля $13,3\text{ кВ/см}$. Удельная энергия на единицу массы обрабатываемого материала составляла $121,6\text{ Дж/кг}$ при обработке в течение 2 мин. Контроль характера подаваемых на обработку разрядов осуществлялся с помощью осциллографа Tektronix TDS 220 через высоковольтный делитель (X1000, Tektronix).

Прессование. Процесс извлечения масла проводился на гидравлическом лабораторном прессе в течение 3 мин. При этом процесс сдвигания регулировался ручным способом по следующему алгоритму: первые 60 секунд при давлении 2 Мпа, вторые 60 секунд при давлении 3 Мпа и последние 60 секунд при давлении 4 Мпа. Параллельно с этим происходила запись количества вышедшего масла во времени с помощью электронных весов, подключенных к компьютеру. Запись измерений осуществляли до третьего знака после запятой. Выход масла определяли через выражение:

$$Y = (M_n / M_{\text{н}}) \cdot 100 \quad (1)$$

где M_n – количество извлеченного прессового масла, гр;

$M_{\text{н}}$ – исходное содержание масла в мезге, гр.

Экстракция. Экстрагирование жмыха подсолнечника осуществляли с помощью экстракционного аппарата SoxTherm. В качестве растворителя использовали производственный нефрас. Для экстрагирования в специализированный стакан засыпался жмых подсолнечника, в который добавляли растворитель при объемном соотношении 1:20. Длительность процесса экстрагирования для всех образцов составляла 3 часа, что являлось доста-

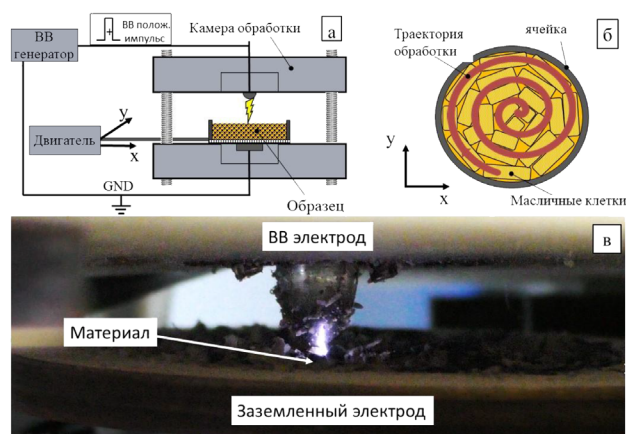


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для формирования высоковольтных разрядов (а); траектория движения высоковольтного электрода относительно обрабатываемой ячейки (б); визуализации процесса обработки высоковольтными разрядами (в)

Figure 1. Scheme of the test unit for high-voltage pulses (a); trajectory of the high-voltage electrode vs. cell under processing (б); visualization of the processing with high-voltage pulses (в)

точным для проведения избыточной экстракции с остаточной маслячностью жмыха менее 0,5 %.

Измерение импеданса и индекса дезинтеграции. Импеданс образцов мезги подсолнечника измеряли на прецизионном LCR метре Quadtech 1920 (IET LABS, NY, USA) с использованием набора 4-пиновых коннекторов (1700–03 Kelvin Leads). Во избежание неплотного контакта электрода с материалом измеряемая ячейка была оборудована гидравлической системой. Для определения спектра импеданса брали навеску 5–6 гр и засыпали в ячейку диаметром 30 мм. Затем материал уплотняли с помощью гидравлической системы. Толщина материала составляла 5 мм. Прецизионный LCR-метр позволял снимать показатели импеданса в частотном диапазоне от 20 Гц до 1 МГц. Для определения индекса дезинтеграции Z использовали следующее выражение:

$$Z = (\sigma - \sigma_i) / (\sigma_d - \sigma_i) \quad (2)$$

где σ – электропроводность образца после обработки высоковольтными разрядами, См/м;

σ_i – начальная электропроводность образца (значение близко к нулю), См/м;

σ_d – электропроводность образца с максимальной степенью дезинтеграции, полученной путем предварительной заморозки образцов при температуре -11°C .

Показатели качества получаемого масла. Качество полученного масла исследовали на анализ перекисного и кислотного чисел, а также цветового анализа по стандартным методикам, рекомендуемым ВНИИЖиров. Кислотное число определяли титрованием экстрагированного масла раствором КОН в присутствии фенолфталеина по методике ГОСТ 52110-2003. Перекисное число жира определяли титрованием экстрагированного масла раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ по методике ГОСТ 51487-99. Для определения содержания металлов из-за эрозии электродов использовали оценку по ИК-спектру на спектрометре Matrix-F на базе ФГБОУ ВО «КубГУ». Анализ спектра проводили с помощью внутреннего приложения OPUS.

Статистический анализ. Все эксперименты проводились с трехкратной повторностью. Экспериментальные данные представлены как среднее арифметическое значение $\pm$ стандартная ошибка среднего значения. Вывод статистической значимости был просчитан при $P < 0,05$ с использованием программного обеспечения ANOVA и LSD тест.

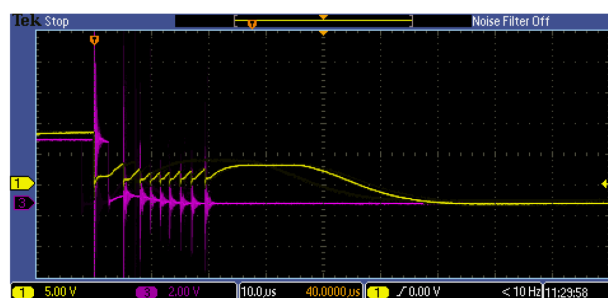


Рисунок 2. Осциллограмма входного сигнала, поступающего на усилитель (желтый) и выходного высоковольтного сигнала, поступающего на электроды (фиолетовый)

Figure 2. Oscillogram of the input signal supplied to the amplifier (yellow) and the output high-voltage signal supplied to the electrodes (purple)

Результаты и их обсуждение

Характер подаваемого разряда в электродную зону представлен на рисунке 2. Осциллограмма высоковольтного разряда представлена в виде 2 сигналов (фиолетовый и желтый). Желтый сигнал характеризует входной сигнал, поступающий на усилитель, и имеет искажения на возрастающем фронте прямоугольного импульса. Фиолетовый сигнал характеризует выходной разряд на электродах. Отчетливо видны микропробои на спадающем фронте прямоугольного сигнала в виде повторяющихся экспоненциальных импульсов. Данные импульсы характеризуют наличие пробоя в воздухе, визуально наблюдаемый в ходе эксперимента.

По спецификации используемых образцов мезги подсолнечника содержание масла в них составляло $49,78 \pm 0,5\%$. Обработка проводилась при следующих параметрах: напряженность поля составил 13,3 кВ/см, количество подаваемых импульсов – 3600, время обработки 2 мин. С применением предварительной обработки высоковольтными разрядами максимальное значение выхода масла составило 15,7 %. Показатель выхода масла без обработки составил 13,8 % после 3 минут отжима. В таблице 1 представлены данные выхода масла на различных этапах эксперимента. Стоит отметить, что улучшенный выход масла положительно повлиял на остаточную маслячность в шроте подсолнечника, снизив количество масла на 0,58 %.

Изменение выхода масла во времени представлено на рисунке 3. Характер представленных кривых имеет

Таблица 1. Значения выхода масла на различных этапах для обработанных и необработанных образцов

Table 1. Oil yield values at various stages for test and control samples

	Прессование		Экстрагирование	
	Без обработки	После обработки	Без обработки	После обработки
Выход масла из мезги, %	$13,8 \pm 0,2$	$15,7 \pm 0,2$	34,18 Влага (3,01)	33,47 Влага (1,55)
Остаточная маслячность шрота, %			$1,19 \pm 0,06$	$0,61 \pm 0,05$

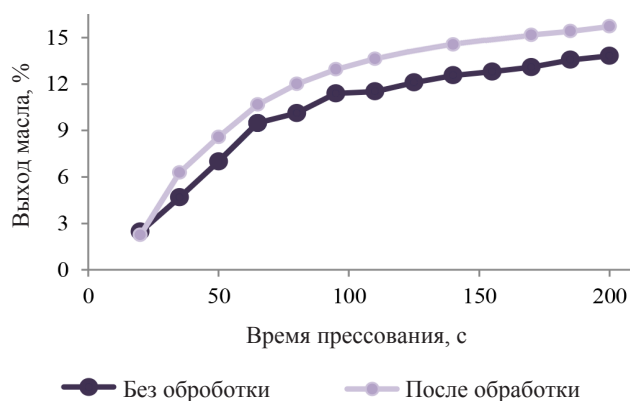


Рисунок 3. Зависимость выхода масла от времени при прессовании

Figure 3. Effect of pressing time on oil yield

схожий вид с кривой кинетики экстрагирования. И рисунка 3 видно, что за счет предварительной обработки высоковольтными электрическими разрядами материала мезги подсолнечника произошла дезинтеграции целостности масляных клеток, что вызвало улучшенный выход масла. Предыдущие данные, связанные с применением импульсного электрического поля к масляному материалу подсолнечника, показали возможность разрушения масляных клеток с помощью электрических полей [6]. Это также подтверждается проведенными микроструктурными исследованиями [4].

Масса, благодаря предварительному разрушению целостности мембран масляных клеток, представляла собой «губчатую структуру». Подобно пробой диэлектрика поток заряженных частиц проходит через структуру материала и формирует канал. За счет формирования многочисленных каналов улучшаются массообменные характеристики.

Изменение параметров импеданса биоматериала представлено на рисунке 4. Импеданс биоматериала величина комплексная и определяется в виде

действительной части (сопротивление, R) и мнимой части (реактивное сопротивление, J_x). В качестве эквивалентной схемы была выбрана последовательная схема соединения элементов цепи [16].

Как видно из рисунка 4, предварительная обработка высоковольтными разрядами мезги подсолнечника позволила снизить величину импеданса и увеличить величину электропроводности. Характер полученной кривой электропроводности схож с кривыми, полученными другими авторами для различных биоматериалов [17]. Кривая электропроводности имеет экспоненциальный вид и резко увеличивает свои значения при увеличении частоты. Данный эффект от обработки вызван наличием масляной пленки, образовавшейся при обработке высоковольтными разрядами. Известно, что электропроводность подсолнечного масла выше, чем скелета материала мезги. Однако из-за небольшого отличия полученных кривых данный вывод можно сделать лишь в сочетании с данными, полученными при отжиме масла, где также присутствует незначительный, но статистически подтверждаемый эффект.

Для определения индекса дезинтеграции вскрытых клеток существует несколько методов [15, 18]. Первый определяется через разность отношений величины электропроводности на низких и высоких частотах. Второй – через величину проходящего через материал тока. В нашей работе использован наиболее точный метод определения индекса вскрытых клеток, определяемый по уравнению (2). Величина электропроводности замерялась на частоте 100 Гц.

Подставляя значения $\sigma_i = 1,43E-07$ См/м, $\sigma_d = 5,37E-07$ См/м и $\sigma = 2,37E-07$ См/м в уравнение (2), был установлен индекс дезинтеграции $Z = 23,8$ %. Учитывая данные из литературного источника [3], который сообщает, что порядка 40 % масляных клеток остаются неразрушенными после влаго-

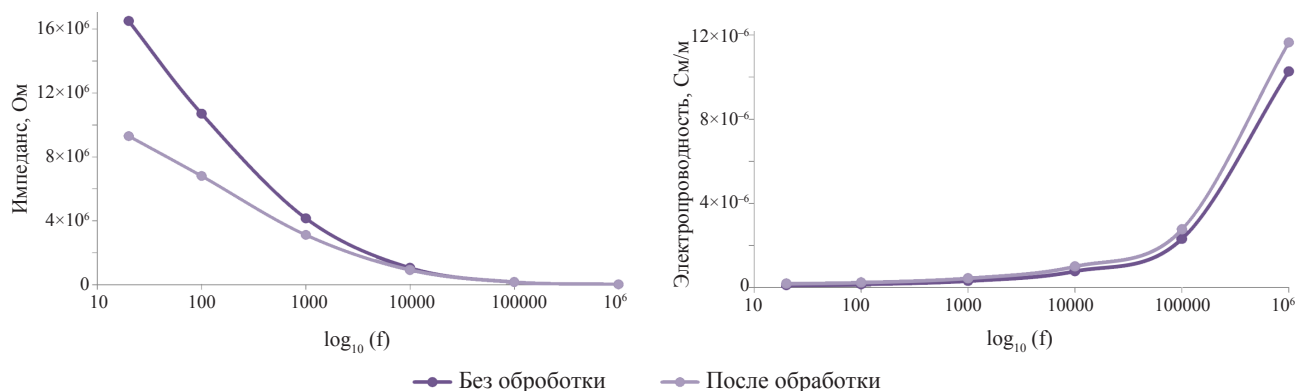


Рисунок 4. Зависимость импеданса (слева) и электропроводности (справа) от десятичного логарифма частоты

Figure 4. Effect of the decimal frequency logarithm on impedance (left) and electrical conductivity (right)

Таблица 2. Показатели качества масла для образцов без/после обработки высоковольтными разрядами

Table 2. Oil quality indicators for test and control samples

Образец	Перекисное число	Кислотное число
Без обработки	6,8 ммол акт O ₂ /кг	1,45 мл КОН/гр
После обработки напряженностью 13,3 кВ/см и количеством импульсов 3600	13,7 ммол акт O ₂ /кг	1,43 мл КОН/гр

тепловой обработки, увеличение количества вскрытых клеток является положительным фактором, влияющим на массоперенос. Увеличение индекса дезинтеграции на 23,8 % привело к незначительному увеличению выхода масла на 1,9 % на стадии прессования. Это можно объяснить лимитирующим фактором количества каналов для отвода масла при гидравлическом прессовании. Данный фактор может регулироваться с помощью лужистости материала.

Таким образом, производительность маслопресса в МП-68 55 тонн/сутки, на котором можно использовать предлагаемую технологию предварительной обработки высоковольтными импульсами, позволит получить дополнительный прирост масла в объеме более 300 литров в сутки. При наличии на производстве нескольких маслопрессов данная цифра будет прямо пропорционально их количеству. Учитывая величину затрачиваемой удельной энергии на кг материала 1,3 кДж/кг и величину ориентировочных капиталозатрат, данная технология наиболее применима для крупнотоннажного производства подсолнечного масла [19].

Результаты анализа определения перекисного и кислотного чисел для полученного после прессования масла представлены в таблице 2. Перекисное число характеризует степень окисленности жиров и масел и выражается в терминах количества грамм йода, поглощенного на грамм образца. Перекисное число для масла, полученного из образцов без обработки и после обработки высоковольтными разрядами мезги подсолнечника, составило 6,8 и 13,7 соответственно.

Столь высокое значение перекисного числа могло быть вызвано постановкой эксперимента. Для воссоздания промышленного процесса переработки мезги подсолнечника её длительно нагревали до температуры 100 °С сначала для обработки высоковольтными разрядами, а затем для отжима. В результате активное действие кислорода при длительном нагреве способствовало увеличению данного показателя в два раза.

Значение кислотного числа (количество миллиграммов гидроксида калия, которое необходимо для нейтрализации свободных кислот

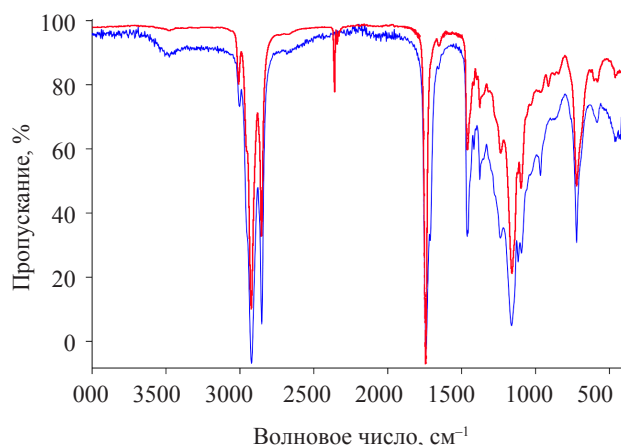


Рисунок 5. ИК-спектр масла без обработки (синяя линия) и после обработки (красная линия)

Figure 5. IR spectrum of oil in control sample (blue line) and test sample (red line)

Таблица 3. Расшифровка ИК спектра по амино-группе

Table 3. Interpretation of the IR spectrum by amino-group

Соли аминов			
NH_4^+	3300–3030 (3,03–3,30) 1430–1390 (7,00–7,20)	с. с.	ν_{N-H} , шир., δ_{N-H} , шир.
RNH_4^+	~ 3000 (3,33) ~ 2500 (4,00) ~ 2000 (5,00) 1600–1575 (6,25–6,35) 1500 (6,67)	δ_{N-H} , шир., с. δ_{N-H} , ср. δ_{N-H} , ср. δ_{N-H} δ_{N-H}	Несколько полос
$R_2NH_4^+$	2700–2250 (3,70–4,33)	с.	ν_{N-H} , иногда проявляется в виде группы полос
$R_3NH_4^+$	2700–2250 (3,70–4,33)	с.	ν_{N-H} , иногда проявляется в виде группы полос
R_4H^+	–	–	Не имеет характеристических полос
$R_2C = NH^+$	2500–2300 (4,00–4,34) 2200–1800 (4,55–5,56)	ср	Широкая полоса, иногда проявляется в виде группы полос

Таблица 4. Расшифровка ИК спектра по фосфо-группе

Table 4. Interpretation of the IR spectrum by phospho-group

Фосфины R_nPH_{3-n}	2275–2440 (4,40–4,01) 1080–1090 (9,26–9,17) 910–940 (10,00–10,64) 1405–1440 (7,12–6,94)	ν_{PH} , ср. δ_{PH_2} , ср. δ_{PH_2} δ_{CH_2P}	
Оксины фосфинов $R_3P^+ \rightarrow O^-$	1140–1300 (8,77–7,69) ~ 1150 (~ 8,70) ~ 1190 (~ 8,40)	с. с. с.	На частоту влияет электроотрицательность заместителей. Алифатические Ароматические
Фосфорные кислоты $R_n(HO)_{3-n}PO$	2550–2700 (3,92–3,70) 2100–2350 (4,76–4,26)	ν_{OH} , ср. ν_{OH} , ср.	Широкая полоса

в 1 гр образца) используется для проверки чистоты масла и характеризует степень гидролиза липидов. Кислотное число обработанной мезги подсолнечника практически не изменилось и составило 1,43 КОН/г.

Для более детального анализа качества масла после обработки использовали ИК-спектрометрию. Данные полученных спектров для образцов без и после обработки представлены на рисунке 5.

Спектр полученный для масла, прошедшего предварительную обработку, имел дополнительную полосу поглощения в области 2300–2500 см^{-1} . В данной области возможны колебания нескольких групп RNH_3^+ , $R_2C = NH^+$ и фосфины R_nPH_{3-n} . На основании этих данных можно предположить, что в результате обработки электрическими разрядами возможно образование нового вещества в состав которого входит amino- или фосфо- группа за счет перехода молекул в возбужденное состояние. В составе семян подсолнечника есть целый комплекс витаминов и микроэлементов, в том числе фосфора, которые отсутствуют в подсолнечном масле. Новый способ предварительной обработки позволяет извлечь такие азот-содержащие витамины, как B_6 и B_9 . В таблицах 3 и 4 представлена подробная расшифровка спектра на предмет amino- или фосфо- групп.

Таким образом, результаты проведенных исследований качества масла показали, что обработка высоковольтными разрядами на стадии подготовки материала к последующей переработке незначительно влияет на показатели качества получаемого масла. Выявленное ухудшение значение перекисного числа связано с постановкой эксперимента и требует более детального анализа.

Выводы

В данной работе получены результаты влияния предварительной обработки высоковольтными разрядами на мезгу подсолнечника с оценкой выхода масла на различных стадиях переработки. По результатам экспериментальных исследований было установлено, что обработка высоковольтными разрядами напряженностью 13,3 кВ/см в количестве 3600 ед. влияют на целостность структуры

масляного материала, формируя в нем сквозные каналы. Установлено, что предварительная обработка позволила увеличить выход масла на стадии прессования на 1,9 %. Выявлено снижение остаточной масляности шрота с 1,19 до 0,61 % для образцов без и после предварительной обработки высоковольтными разрядами. Данный показатель является основным индикатором эффективности предлагаемой технологии и способствует дополнительному приросту масла. Результаты качественных характеристик масла показали, что обработка высоковольтными разрядами в незначительной степени влияет на качественные показатели. Увеличение перекисного числа масла после обработки с 6,8 до 13,7 ммол акт O_2 /кг связано с постановкой эксперимента. Для этого в последующих работах будет предпринята попытка более детальной оценки качественных показателей после обработки высоковольтными электрическими разрядами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что материалы статьи не были опубликованы ранее и не отправлены в другие журналы. В работе не проводились испытания над животными.

Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам ЦКП «Исследовательский центр пищевых и химических технологий» за оказанную помощь при определении качественных характеристик масла.

Conflict of interest

The authors declare that the manuscript has never been published or sent to other scientific journals for publication. The research did not involve animal testing.

Acknowledgements

The authors would like to express their deepest gratitude to the team of Resource Sharing Center “Research Center for Food and Chemical Technologies” (Kuban State Technological University).

Список литературы

1. Куренная, В. Роль масличного подкомплекса в обеспечении продовольственной безопасности страны / В. Куренная // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2015. – № 4. – С. 39–43.
2. Puértolas, E. An overview of the impact of electrotechnologies for the recovery of oil and high-value compounds from vegetable oil industry: Energy and economic cost implications / E. Puértolas, M. Koubaa, F. J. Barba // Food Research International. 2016. – Vol. 80. – P. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.009>.
3. Лисицын, А. Н. Научно-обоснованные тенденции переработки масличного сырья / А. Н. Лисицын, В. Н. Григорьева // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. – 2015. – № 1–2. – С. 5–16.
4. Shorstkii, I. A. Impact of pulsed electric field and pulsed microwave treatment on morphological and structural characteristics of sunflower seed / I. A. Shorstkii, A. G. Zherlicin, P. Li // OCL – Oilseeds and fats, Crops and Lipids. – 2019. – Vol. 26. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2019048>.
5. Шорсткий, И. А. Использование электрофизических приёмов при переработке масличного сырья / И. А. Шорсткий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – Т. 370, № 4. – С. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.3>.
6. The influence of pulsed electric fields and microwave pretreatments on some selected physicochemical properties of oil extracted from black cumin seed / H. Bakhshabadi, H. Mirzaei, A. Ghodsvai [et al.] // Food Science and Nutrition. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 111–118. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.535>.
7. Haji-Moradkhani, A. Optimization of pulsed electric field-assisted oil extraction from cannabis seeds / A. Haji-Moradkhani, R. Rezaei, M. Moghimi // Journal of Food Process Engineering. – 2019. – Vol. 42, № 4. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13028>.
8. Мустафаев, С. К. Влияние СВЧ-нагрева свежесобранных семян подсолнечника перед их конвективной сушкой на выход и качество масла / С. К. Мустафаев, Е. О. Смычагин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 97. – С. 273–283.
9. Microwave pretreatment as a promising strategy for increment of nutraceutical content and extraction yield of oil from milk thistle seed / B. Fathi-Achachlouei, S. Azadmard-Damirchi, Y. Zahedi [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2019. – Vol. 128. – P. 527–533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.034>.
10. Patil, A. Effect of enzyme and microwave pretreatment on oil recovery from canola / A. Patil, A. K. Singh // Journal of Food Process Engineering. – 2017. – Vol. 40, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12340>.
11. Разработка способа получения растительного масла из семян сафлора методом прессования в поле ультразвука / С. Т. Антипов, С. В. Шахов, А. Н. Мартыха [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – Т. 66, № 4. – С. 7–10.
12. Ultrasound induced green solvent extraction of oil from oleaginous seeds / A.-G. Sicaire, M. A. Vian, F. Fine [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. – 2016. – Vol. 31. – P. 319–329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.011>.
13. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pomegranate seeds / A. M. Goula, A. Papatheodorou, S. Karasavva [et al.] // Waste and Biomass Valorization. – 2018. – Vol. 9, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9740-9>.
14. Chanioti, S. Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from olive pomace using response surface technology: Oil recovery, unsaponifiable matter, total phenol content and antioxidant activity / S. Chanioti, C. Tzia // LWT – Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 79. – P. 178–189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.029>.
15. Effect of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on polyphenol and protein extraction from sesame cake / J. R. Sarkis, N. Boussetta, C. Blouet [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2015. – Vol. 29. – P. 170–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.02.011>.
16. Nelson, S. O. Historical development of grain moisture measurement and other food quality sensing through electrical properties / S. O. Nelson, S. Trabelsi // IEEE Instrumentation and Measurement Magazine. – 2016. – Vol. 19, № 1. – P. 16–23. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIM.2016.7384955>.
17. Gabriel, C. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey / C. Gabriel, S. Gabriel, E. Corthout // Physics in Medicine and Biology. – 1996. – Vol. 41, № 11. – P. 2231–2249. DOI: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/41/11/001>.
18. Angersbach, A. Electrophysiological model of intact and processed plant tissues: cell disintegration criteria / A. Angersbach, V. Heinz, D. Knorr // Biotechnology Progress. – 1999. – Vol. 15, № 4. – P. 753–762. DOI: <https://doi.org/10.1021/bp990079f>.
19. Puértolas, E. Pulsed electric field treatment for fruit and vegetable processing / E. Puértolas, G. Saldaña, J. Raso // Handbook of Electroporation / D. Miklavcic. – Springer, 2016. – С. 1–21. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-26779-1_181-1.

References

1. Kurenay V. Rol' maslichnogo podkompleksa v obespechenii prodovol'stvennoy bezopasnosti strany [The role of the oilseed subcomplex in ensuring the domestic food security]. International Agricultural Journal. 2015;(4):39–43. (In Russ.).
2. Puértolas E, Koubaa M, Barba FJ. An overview of the impact of electrotechnologies for the recovery of oil and high-value compounds from vegetable oil industry: Energy and economic cost implications. Food Research International. 2016;80:19–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.009>.

3. Lisitsyn AN, Grigorjeva VN. Scientifically based tendencies of oil bearing raw material processing. Vestnik of the All-Russia Scientific Research Institute of Fats. 2015;(1–2):5–16. (In Russ.).
4. Shorstkii IA, Zherlicin AG, Li P. Impact of pulsed electric field and pulsed microwave treatment on morphological and structural characteristics of sunflower seed. OCL – Oilseeds and fats, Crops and Lipids. 2019;26. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2019048>.
5. Shorstkii IA. Use of electrophysical methods when processing oil raw materials. News of institutes of higher education. Food Technology. 2019;370(4):11–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.3>.
6. Bakhshabadi H, Mirzaei H, Ghodsvai A, Jafari SM, Ziaifar AM. The influence of pulsed electric fields and microwave pretreatments on some selected physicochemical properties of oil extracted from black cumin seed. Food Science and Nutrition. 2018;6(1):111–118. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.535>.
7. Haji-Moradkhani A, Rezaei R, Moghimi M. Optimization of pulsed electric field-assisted oil extraction from cannabis seeds. Journal of Food Process Engineering. 2019;42(4). DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13028>.
8. Mustafayev SK, Smychagin EO. The influence of microwave heating of freshly harvested sunflower seeds before convective drying on output and quality of oil. Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2014;(97):273–283. (In Russ.).
9. Fathi-Achachlouei B, Azadmard-Damirchi S, Zahedi Y, Shaddel R. Microwave pretreatment as a promising strategy for increment of nutraceutical content and extraction yield of oil from milk thistle seed. Industrial Crops and Products. 2019;128:527–533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.034>.
10. Patil A, Singh AK. Effect of enzyme and microwave pretreatment on oil recovery from canola. Journal of Food Process Engineering. 2017;40(1). DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12340>.
11. Antipov ST, Shakhov SV, Martekha AN, Berestovoy AA. Development a method for producing vegetable oil from safflower seeds by pressing in the field of ultrasound. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2015;66(4):7–10. (In Russ.).
12. Sicaire A-G, Vian MA, Fine F, Carré P, Tostain S, Chemat F. Ultrasound induced green solvent extraction of oil from oleaginous seeds. Ultrasonics Sonochemistry. 2016;31:319–329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.011>.
13. Goula AM, Papatheodorou A, Karasavva S, Kaderides K. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pomegranate seeds. Waste and Biomass Valorization. 2018;9(1). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9740-9>.
14. Chanioti S, Tzia C. Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from olive pomace using response surface technology: Oil recovery, unsaponifiable matter, total phenol content and antioxidant activity. LWT – Food Science and Technology. 2017;79:178–189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.029>.
15. Sarkis JR, Boussetta N, Blouet C, Tessaro IC, Marczak LDF, Vorobiev E. Effect of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on polyphenol and protein extraction from sesame cake. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2015;29:170–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.02.011>.
16. Nelson SO, Trabelsi S. Historical development of grain moisture measurement and other food quality sensing through electrical properties. IEEE Instrumentation and Measurement Magazine. 2016;19(1):16–23. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIM.2016.7384955>.
17. Gabriel C, Gabriel S, Corthout E. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. Physics in Medicine and Biology. 1996;41(11):2231–2249. DOI: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/41/11/001>.
18. Angersbach A, Heinz V, Knorr D. Electrophysiological model of intact and processed plant tissues: cell disintegration criteria. Biotechnology Progress. 1999;15(4):753–762. DOI: <https://doi.org/10.1021/bp990079f>.
19. Puértolas E, Saldaña G, Raso J. Pulsed electric field treatment for fruit and vegetable processing. In: Miklavcic D, editor. Handbook of Electroporation. Springer; 2016. pp. 1–21. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-26779-1_181-1.

Шорсткий Иван Александрович

канд. техн. наук, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: +7 (967) 652-58-81, e-mail: i-shorstky@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>

Ivan A. Shorstkii

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technological Equipment and Life-Support Systems Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russia, phone: +7 (967) 652-58-81, e-mail: i-shorstky@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>