

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДСОЛНЕЧНЫХ МАСЕЛ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Г. Н. Лукьянов<sup>1</sup>, И. С. Ковальский<sup>1</sup>, С. М. Волков<sup>2</sup>,  
А. Н. Лисицын<sup>2</sup>, А. В. Федоров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: ilya.kovalskiy@hotmail.com

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт жиров,  
191119, Санкт-Петербург, Россия

Потребности в растительном масле неуклонно растут, а значит, увеличивается объем производства. Кроме того, растительное масло занимает внушительный сегмент экспорта. Рост объемов производства растительных масел требует новых способов управления технологическими процессами. Конкурентоспособными могут стать принципиально новые методы определения качественных показателей растительных масел на всех стадиях производства. Новые возможности открывают электрофизические методы. Хотя их суть известна достаточно давно, к практической реализации ученые приблизились только в наше время. Это объясняется возможностями и доступностью современной измерительной, аналитической, вычислительной техники и программного обеспечения. Для исследований применялись специально созданная электрофизическая экспериментальная установка и хроматограф Bruker „Scion 436-GC“. Установлена связь между жирнокислотным составом масел и скоростью изменения амплитуды напряжения при определенных частотах сигнала. Обоснована возможность применения электрофизических динамических методов определения качественных показателей растительных масел с целью создания на их базе сравнительно недорогих и надежных устройств для управления технологическими процессами.

**Ключевые слова:** электрофизические характеристики, электромагнитное поле, частота, амплитуда, растительное масло, жирнокислотный состав, качество, технология

В приоритетах оптимизации питания населения России электрофизические методы контроля качества как инструмент повышения эффективности технологий хранения и переработки продовольственного сырья могут занять ключевую позицию.

Объектом исследования настоящей статьи выбрано подсолнечное масло. Растительные масла являются наиважнейшим источником энергии для человека. Компоненты жиров входят в состав структурных элементов всех типов клеток. Прежде всего, это полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), которые проявляют высокую биологическую активность и являются незаменимыми обязательными составляющими пищевого рациона современного человека [1].

Наибольшее распространение в России среди масличных культур получил подсолнечник. В соответствии с „Доктриной продовольственной безопасности России“ и Государственными программами развития сельского хозяйства производство подсолнечника должно достигнуть к 2020 г. 7,5 млн тонн в год [2]. При этом производство подсолнечного масла должно достигнуть  $\approx 4,5$  млн тонн при средней масличности семян подсолнечника около 55 %.

Для обеспечения высокого качества подсолнечного масла все этапы его производства и переработки регламентируются федеральными законами и государственными стандартами,

которые регулярно дополняются новым содержанием в зависимости от результатов мониторинговых мероприятий и научно-исследовательских работ.

Наиболее перспективным подходом в совершенствовании средств контроля качества продукции является использование неdestructивного воздействия электромагнитного поля на анализируемые образцы продуктов масложирового производства [3]. Методы ИК-спектроскопии и ЯМР-спектроскопии в пищевой отрасли широко используются, в то время как информации для всесторонней оценки эффективности использования в аналитических целях высокочастотных электромагнитных полей с различной конфигурацией амплитуды и направления подаваемого тока в настоящее время крайне мало [1, 4]. Эти методы исследования очень перспективны, они позволяют минимизировать время проведения анализов и поэтому имеют широкие возможности применения непосредственно в технологическом процессе. Поэтому можно говорить об актуальности задачи изучения электрофизических свойств растительных масел при воздействии электромагнитных полей.

Результаты измерения электрофизических свойств растительных масел при воздействии электромагнитного поля различной частоты с синусоидным изменением амплитуды проведены в работе [5]. Авторы использовали измеритель электрофизических параметров Е7–20 производства опытного завода ОАО „МНИПИ“ (Минск). Представленные зависимости имеют предельно общий характер, что не позволяет устанавливать влияние химического состава отдельных компонентов растительных масел на характер наблюдаемых изменений их электрофизических свойств, измеряемых в детектирующей ячейке.

Наши исследования ставят целью определение таких характеристик, которые позволили бы связать электрофизические свойства растительных масел с долей их отдельных компонентов. Только в этом случае полученные данные могут быть использованы для формирования адекватной информационной модели. В качестве первоначального объекта исследования выбрано именно подсолнечное масло, так как состав основных его компонентов — олеиновой (С18:1) и линолевой кислоты (С18:2) изменяется во всем интервале значений концентраций, имеющих место по отдельности для каждого из множества других видов растительных масел [1, 2].

Подсолнечное масло в России специалисты условно подразделяют на „низкоолеиновое“ (с содержанием олеиновой кислоты менее 61 %) и „высокоолеиновое“ (с содержанием олеиновой кислоты более 61 %) [1, 2]. Однако в Государственном стандарте представлена иная классификация подсолнечного масла. Согласно ей масло подразделяется на два типа — с относительной концентрацией олеиновой кислоты менее 39,4 %, предназначенное для непосредственного употребления в пищу, производства пищевых продуктов и промышленной переработки, и концентрацией более 39,4 %. В настоящее время отсутствует документальное регламентирование использования подсолнечного масла с содержанием олеиновой кислоты более 39,4 % для пищевых целей. Хотя научно-исследовательские работы, посвященные употреблению в пищевом сегменте этого вида подсолнечного масла, обладающего низким окислительным потенциалом, проводятся достаточно активно [5].

Для измерения динамических электрофизических свойств масел была создана лабораторная установка. Она позволяет изучать зависимость численных значений электрофизических параметров от концентрации отдельных компонентов растительных масел.

Схема установки представлена на рис. 1. На измерительную ячейку 1, 2 генератором сигналов 3 подавалось переменное напряжение прямоугольной формы с амплитудой  $\pm 4$  В. Частота изменялась в интервале 1—3000 Гц с шагом 100 Гц. На конденсаторе 1 регистрировалось изменение напряжения во времени при помощи многофункциональной системы сбора данных “National Instruments” 4. Дальнейшая обработка полученных данных производилась с помощью программного пакета MatLab. В лаборатории кафедры сенсорики Университета ИТМО накоплен большой опыт использования таких комплексов [6, 7].

Масло помещается между обкладками конденсатора, что влияет на его емкость и добавляет искажения в кривую заряда-разряда, которая в дальнейшем анализировалась. Резистор на схеме ограничивает ток зарядки ячейки.

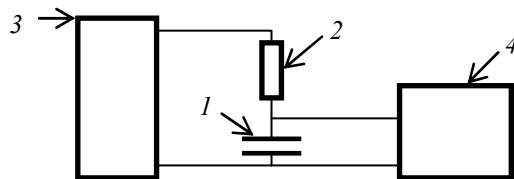


Рис. 1

В качестве объектов исследования были выбраны три образца рафинированного подсолнечного масла, обладающие жирнокислотным составом, установленным ГОСТ31663-2012 (табл. 1). Определение жирнокислотного состава проводили на капиллярном газожидкостном хроматографе Bruker “Scion 436-GC” с использованием капиллярной колонки Bruker “Wax-fame” (№ BR-87502) во ВНИИЖиров (Санкт-Петербург).

Таблица 1

**Жирнокислотный состав образцов рафинированного подсолнечного масла**

Жирная кислота	Условное обозначение	Относительная концентрация, %		
		образец № 1	образец № 2	образец № 3
Пальмитиновая	C 16:0	5,9	6,4	4,0
Стеариновая	C 18:0	3,4	3,1	2,6
Олеиновая	C 18:1	23,7	31,4	81,6
Линолевая	C 18:2	66,3	58,1	11,6
Арахидовая	C 20:0	—	—	0,2
Бегеновая	C 22:0	0,7	1,0	0,1

Для каждого образца получены значения изменения напряжения во времени на конденсаторе, которые затем преобразованы в зависимости максимального напряжения или амплитуды от частоты, представленные выборочными данными в табл. 2.

Таблица 2

**Значение максимального напряжения на измерительной ячейке (В)**

Частота, Гц	1	30	200	900	1600	2300	3000
Образец № 1	1,3705	1,3817	1,3838	1,3741	1,3622	1,3302	1,216
Образец № 2	1,3931	1,3907	1,3813	1,3747	1,3656	1,3327	1,2647
Образец № 3	1,5685	1,5888	1,5655	1,5542	1,5435	1,5065	1,4312

Анализ полученных данных позволил идентифицировать значения частоты (в интервале 30—300 Гц), при которых наблюдаются наибольшие значения напряжения (амплитуды) конденсатора с подсолнечным маслом. На рис. 2 приведена зависимость скорости изменения амплитуды на конденсаторе от времени при частоте подаваемого напряжения 200 Гц и постоянной амплитуде 4 В для различных образцов подсолнечного масла (1 — образец № 1; 2 — 2; 3 — 3). Отчетливо видно, что функции имеют характерные максимумы значений скорости изменения амплитуды.

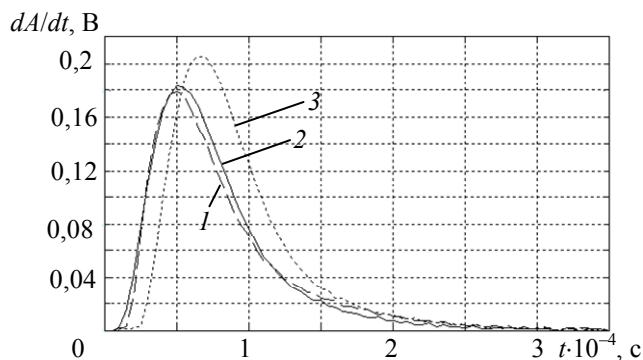


Рис. 2

Для подтверждения полученной закономерности была рассчитана максимальная скорость изменения напряжения при различных частотах для разных образцов подсолнечного масла (табл. 3).

Таблица 3

Максимальная скорость изменения напряжения (В/с)							
Частота, Гц	1	30	200	900	1600	2300	3000
Образец № 1	35400	36000	36400	36600	36400	36260	35060
Образец № 2	36180	36360	36940	36940	36940	36940	36180
Образец № 3	40580	40960	41540	41290	41290	41540	40760

Анализ изменения амплитуд показывает, что при  $f=100$ — $300$  Гц для каждого из образцов подсолнечного масла наблюдается выравнивание характера изменений значений максимальной скорости, поэтому сравнивать функции изменения скоростей во времени целесообразно при таком диапазоне частот.

Характер полученных данных для трех образцов подсолнечного масла (см. табл. 1—3 и рис. 2) подтверждает наличие пропорционального роста значения амплитуды и максимальной скорости изменения амплитуды по мере увеличения концентрации олеиновой кислоты в исследованных образцах.

Дополнительную информацию о закономерностях изменения состава подсолнечного масла дают численные значения амплитуд „функций Фурье“, полученные после обработки первичных данных изменения амплитуд токов зарядки и разрядки во времени при помощи метода преобразования Фурье. С учетом изложенного выше анализа данных табл. 1—3 так называемые спектры Фурье представлены на рис. 3 для частоты тока нагрузки  $f=200$  Гц (относительная концентрация олеиновой кислоты:  $a$  — 23,7;  $b$  — 31,4;  $v$  — 81,6 %).

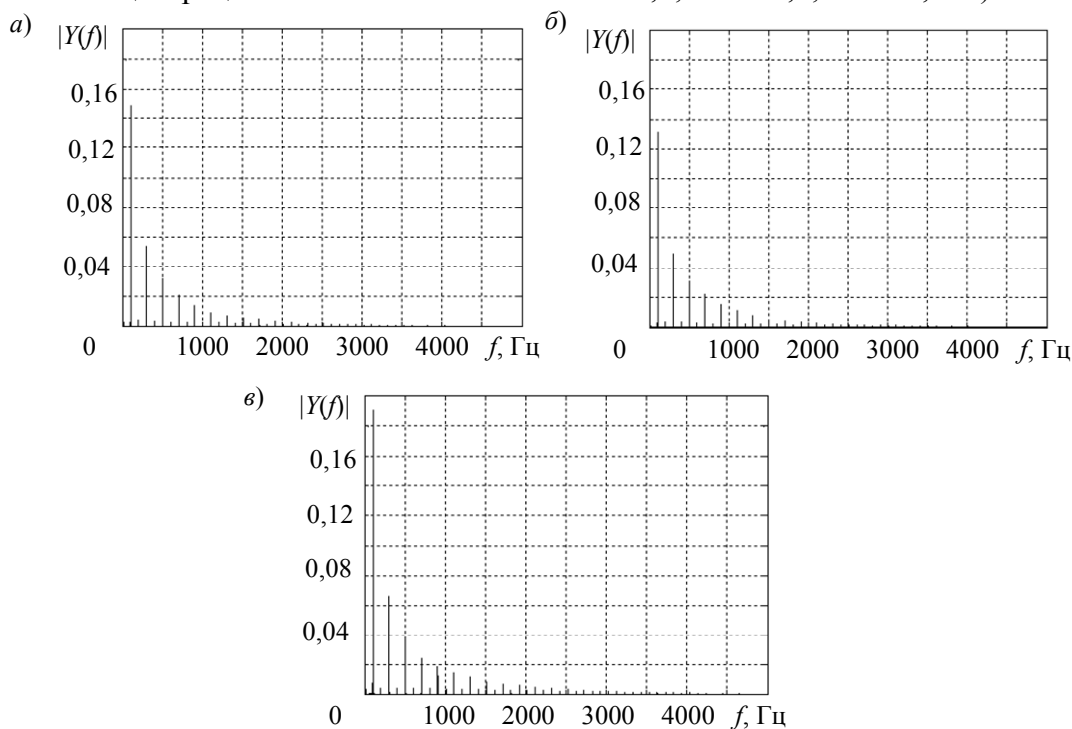


Рис. 3

В интервале частот 1800—6000 Гц отмечены дополнительные составляющие в суммарных амплитудах колебаний напряжений вышеуказанных „функций Фурье“, для которых эта зависимость сохранялась в неизменном виде. Это обстоятельство позволило сделать вывод, что этот тип частот является характеристическим свойством структуры олеиновой кислоты.

Таким образом, в ходе проведенных исследований получены численные значения электрофизических параметров. Установлена связь между концентрацией основных компонентов

растительных масел и электрофизическими параметрами. Можно сделать вывод о возможности разработки на основе обнаруженной закономерности экспресс-метода определения соответствия качественных показателей подсолнечного масла требованиям стандарта.

Объединение усилий специалистов двух авторитетных научных школ: Университета ИТМО и ВНИИЖиров, входящего в систему РАН, открыло это перспективное направление исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудаков О. Б., Понамарев А. Н., Полянский К. К., Любарь А. В. Жиры. Химический состав и экспертиза качества. М.: Де Ли принт, 2005. 238 с.
2. Лисицын А. Н. Научное обеспечение масложирового комплекса в новых экономических условиях // Сб. матер. XII Междунар. конф. „Масложировая индустрия“. СПб, 2012. С. 7—9.
3. Любченко И. Б., Никитин Е. А. Комплексный контроль качества на предприятиях масложировой материалов. СПб, 2012. 243 с.
4. Современные аспекты технологии и экспертизы растительных масел: Отчет кафедры экспертизы потребительских товаров ФГБОУ ВПО „СПб ТЭИ“. СПб: ТЭИ, 2012. 124 с.
5. Султанович Ю. А., Дудник Е. Е., Духу Т. А. Использование высокоолеинового подсолнечного масла в мучных изделиях и во фритюре // Сб. матер. XII Междунар. конф. „Масложировая индустрия“. СПб, 2012. С. 78—79.
6. Лукьянов Г. Н., Костенко К. С., Петров Д. С. Экспериментальное исследование динамики теплообмена через ограждающую конструкцию // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. № 4. С. 45—49.
7. Лукьянов Г. Н., Успенская М. В. Количественное описание нелинейной динамики пористой акриловой тонкой пленки // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. Вып. 2(78). С. 84—88.

#### Сведения об авторах

- Геннадий Николаевич Лукьянов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра сенсорики; заведующий кафедрой; E-mail: gen-lukjanow@yandex.ru
- Илья Сергеевич Ковальский** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра сенсорики; E-mail: ilya.kovalskiy@hotmail.com
- Сергей Михайлович Волков** — канд. техн. наук; Всероссийский научно-исследовательский институт жиров; отдел исследования жиров; E-mail: volkov@vniig.org
- Александр Николаевич Лисицын** — д-р техн. наук; Всероссийский научно-исследовательский институт жиров; директор; E-mail: vniig@vniig.org
- Александр Валентинович Федоров** — д-р техн. наук; Университет ИТМО; кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья; заведующий кафедрой; Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, отдел производства растительных масел; главный научный сотрудник; E-mail: afedorov@corp.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой  
сенсорики

Поступила в редакцию  
12.05.17 г.

**Ссылка для цитирования:** Лукьянов Г. Н., Ковальский И. С., Волков С. М., Лисицын А. Н., Федоров А. В. Исследование динамических электрофизических характеристик подсолнечных масел различного состава // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 8. С. 781—786.

**STUDY OF DYNAMIC ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS  
OF SUNFLOWER OILS OF VARIOUS COMPOSITION****G. N. Lukyanov<sup>1</sup>, I. S. Kovalskiy<sup>1</sup>, S. M. Volkov<sup>2</sup>,  
A. N. Lisitsyn<sup>2</sup>, A. V. Fedorov<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>*ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: ilya.kovalskiy@hotmail.com*<sup>2</sup>*All-Russian Research Institute of Fats, 191119, St. Petersburg, Russia*

The need for vegetable oil is growing steadily, so increasing the volume of production. In addition, vegetable oil occupies a large segment of exports. Growth of volumes of production of vegetable oils requires new ways of management of technological processes. Fundamentally new methods of determining quality indicators of vegetable oils at all stages of production can become competitive. New opportunities are opened up by electrophysical methods. Although the methods are known for a long time, scientists come to the problem of practical implementation of the approach only in our time. This is due to the capabilities and availability of modern measuring, analyzing, computing, and software. The presented studies have used a specially designed experimental electrophysical setup and chromatograph Bruker SCION 436-GC. The relationship between the fatty acid composition of oils and the rate of change of the voltage amplitude of the signal at certain frequencies is established. The possibility of the use of electro-dynamic methods for determining quality parameters of vegetable oils as a base of a relatively inexpensive and reliable devices for production process control is justified.

**Keywords:** electrophysical characteristics, electromagnetic field, frequency, amplitude, vegetable oil, fatty acid composition, quality, technology

**Data on authors**

- |                              |   |   |
|------------------------------|---|---|
| <b>Gennady N. Lukyanov</b>   | — | Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Sensorics; Head of the Department; E-mail: gen-lukjanow@yandex.ru   |
| <b>Ilya S. Kovalskiy</b>     | — | Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Sensorics; E-mail: ilya.kovalskiy@hotmail.com   |
| <b>Sergey M. Volkov</b>      | — | PhD; All-Russian Research Institute of Fats; Department of Study of Fats; E-mail: volkov@vniig.org  |
| <b>Alexander N. Lisitsyn</b> | — | Dr. Sci.; All-Russian Research Institute of Fats; Director; E-mail: vniig @vniig.org  |
| <b>Alexander V. Fedorov</b>  | — | Dr. Sci.; ITMO University, Department of Food Biotechnology (Vegetable Stock); Head of the Department; All-Russian Research Institute of Fats, Department of Vegetable Oil Production; Chief Scientist; E-mail: afedorov@corp.ifmo.ru |

**For citation:** Lukyanov G. N., Kovalskiy I. S., Volkov S. M., Lisitsyn A. N., Fedorov A. V. Study of dynamic electrophysical characteristics of sunflower oils of various composition. *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 8. P. 781—786 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-8-781-786