

УДК 536.1/.62/.63; 665.1/.3

# Исследование температурных зависимостей удельной теплоемкости рафинированных подсолнечных масел от их состава методом дифференциальной сканирующей калориметрии

Д-р техн. наук А. В. ФЕДОРОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук И. В. БАРАНОВ<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук Е. В. ТАМБУЛАТОВА<sup>3</sup>, канд. хим. наук С. М. ВОЛКОВ<sup>4</sup>,  
канд. техн. наук Л. Т. ПРОХОРОВА<sup>5</sup>, В. А. КРЫЛОВ<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,6</sup>Университет ИТМО  
<sup>4,5</sup>ВНИИЖир

E-mail: vakrylov@corp.ifmo.ru

*В соответствии с программой системного изучения теплофизических свойств пищевых растительных масел, проведены исследования характера изменений удельных теплоемкостей рафинированных подсолнечных масел в технологическом интервале температур от 10 до 150 °С методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Получены эмпирические зависимости удельной теплоемкости для различных типов масел от температуры. Сравнительный анализ данных о жирнокислотном составе высокоолеиновых и низкоолеиновых типов подсолнечных масел, а также результатов измерений концентраций токоферолов, стероидов и восков позволил установить, что снижение удельной теплоемкости низкоолеинового типа на 3%, по сравнению с удельной теплоемкостью высокоолеинового типа, связано с увеличением концентрации ленолевой кислоты в низкоолеиновом подсолнечном масле.*

**Ключевые слова:** теплофизические свойства, удельная теплоемкость, пищевые растительные масла, модель жидкой фазы растительных масел.

## Информация о статье:

Поступила в редакцию 14.01.2019, принята к печати 07.03.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-52-63

Язык статьи — русский

## Ссылка для цитирования:

Федоров А. В., Баранов И. В., Тамбулатова Е. В., Волков С. М., Прохорова Л. Т., Крылов В. А. Исследование температурных зависимостей удельной теплоемкости рафинированных подсолнечных масел от их состава методом дифференциальной сканирующей калориметрии // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 52–63.

## Investigating the temperature dependence of refined sunflower oil specific heat capacity on its composition by the method of differential scanning calorimetry

D. Sc. A. V. FEDOROV<sup>1</sup>, D. Sc. I. V. BARANOV<sup>2</sup>, Ph. D. E. V. TAMBULATOVA<sup>3</sup>, Ph. D. S. M. VOLKOV<sup>4</sup>,  
Ph. D. L. T. PROKHOROVA<sup>5</sup>, V. A. KRYLOV<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,6</sup>ITMO University<sup>4,5</sup>All-Russian Research Institute of Fats

E-mail: vakrylov@corp.ifmo.ru

*The article deals with the analysis of changes in specific heat capacity of refined sunflower oils in the temperature range of from 10 to 150 °C by the method of differential scanning calorimetry. The research is carried out according to the program of cooking oils system research. The empirical dependencies of specific heat capacity on temperature for different oils are presented. The comparative analysis of fatty-acid profile of low and high oleic sunflower oils, as well as the data on tocopherol, steroids, and wax concentration, proves that reducing specific heat capacity of low oleic type by 3%, compared to specific heat capacity of high oleic, is due to increasing concentration of linoleic acid in low oleic sunflower oil.*

**Keywords:** thermophysical properties, specific heat capacity, cooking oils, model of vegetable oil liquid phase.

## Article info:

Received 14/01/2019, accepted 07/03/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-1-52-63

Article in Russian

## For citation:

Fedorov A. V., Baranov I. V., Tambulatova E. V., Volkov S. M., Prokhorova L. T., Krylov V. A. Investigation of the temperature dependence of the specific heat capacity of the refined sunflower oils from their composition by the method of differential scanning calorimetry. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 1. p. 52–63.

**Введение**

Пищевые растительные масла (ПРМ) получают, преимущественно, из семян и плодов различных растений. При этом ПРМ, полученные методом сдавливания масличного сырья при низких температурах (метод холодного прессования), или при повышенных температурах (метод горячего прессования) называются нерафинированными растительными маслами. Для извлечения ПРМ повышенного качества, нерафинированные растительные масла, а также ПРМ, полученные экстракционным способом, подвергаются рафинации [1, 2]. Такие ПРМ называются рафинированными растительными маслами. ПРМ используются, как для приготовления продуктов питания, так и в качестве самостоятельного пищевого ингредиента. На мировом рынке ПРМ в наибольшем количестве производятся соевое, оливковое, подсолнечное, рапсовое, кукурузное и пальмовое масла.

Примерно 95% состава ПРМ приходится на долю жировой фракции, которая представляет собой смесь взаимно растворимых триацилглицеридов различного состава — сложных эфиров глицерина с насыщенными жирными кислотами (НЖК), мононенасыщенными жирными кислотами (МНЖК) и полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК). В жировой фракции ПРМ распределены в незначительных количествах: свободные жирные кислоты, фосфолипиды, воск и воскоподобные вещества, стиролы, сахара, токоферолы, вода, белки, а также другие органические и металлоорганические вещества. Причём, в растительных маслах одного и того же вида может изменяться как набор составляющих его компонентов, так и их относительное содержание в зависимости от сорта масличной культуры и региона ее произрастания [1–4]. То есть ПРМ представляют собой смесь взаимодействующих многокомпонентных фаз, состоящих из органических, неорганических и металлоорганических соединений, которые при изменении температуры могут менять свое агрегатное состояние.

Энергетическая ценность жиров ПРМ, при их усвоении человеческим организмом, составляет примерно 389 кДж/кг, что почти вдвое превышает аналогичный показатель белков и почти в шесть раз выше энергетической ценности углеводов [3]. Поэтому в ежедневном рационе человека ПРМ являются важнейшим источником энергии, а также удовлетворяют потребность организма в незаменимых и жизненно важных биологически активных веществах, таких как ПНЖК, МНЖК, фосфатиды, витамины и антиоксиданты.

Приведенные в работах [1–3] данные о составе растительных масел показывают, что содержание одних и тех же компонентов в некоторых растительных маслах одного вида, например, олеиновой кислоты в триацилглицеридах может отличаться на десятки относительных процентов. Количество фосфатидов, неомыляемых компонентов, воска и воскоподобных веществ в ПРМ различных видов также изменяется существенным образом. В процессе рафинации из нерафинированных ПРМ удаляются свободные жирные кислоты, фосфатиды, воска, воскоподобные компоненты, а также другие компоненты, снижающие показатели качества ПРМ [1, 2]. Суммарное количество компонентов, удаляемых при рафинации достигает примерно 10%. Поэтому состав нерафинирован-

ных ПРМ значительно отличается от состава рафинированных ПРМ того же вида. Кратные изменения концентраций отдельных компонентов химического состава ПРМ не могут не влиять на характер изменений их физических свойств, используемых при моделировании тепло- и массообменных процессов.

Удельная теплоемкость является физической величиной, которая используется при составлении уравнений тепловых балансов, являющихся основой дальнейших расчетов тепло- и массообменного оборудования, в том числе в масложировом производстве [5–7], поэтому исследования, направленные на получение экспериментальных и расчетных данных о характере изменения этой величины от различных параметров являются актуальными и представляют первостепенное значение для решения прикладных технологических задач производства ПРМ.

В работе [8] была изучена взаимосвязь теплофизических и термодинамических свойств растительных масел, а также их растворов в широком интервале температур и давлений. При этом было отмечено, что сведения о теплофизических свойствах исследованных растительных масел важны для познания и развития физики жидкого состояния веществ, а также для выяснения межмолекулярных взаимодействий и моделей структуры растворов.

Автором работы [8] были измерены и рассчитаны плотность, теплопроводность, температуропроводность и удельная теплоемкость для соевого, подсолнечного, оливкового, хлопкового, кукурузного, кунжутного, сафролового и миндального масел. Так, например, плотность  $\rho$  при 20 °С исследованных образцов подсолнечного масла составляла порядка 920 кг/м<sup>3</sup>; кукурузного 921 кг/м<sup>3</sup>; хлопкового 931 кг/м<sup>3</sup>. Причем плотность рафинированного подсолнечного масла, с ростом температуры от 293,15 до 433,15 К, снижалась линейным образом от 918 до 836 кг/м<sup>3</sup>. Были предложены математические модели, с помощью которых можно вычислять теплофизические характеристики в интервале температур от 293 до 523 К и давлении от 0,101 до 49,1 МПа с погрешностью не более 3%.

Удельные теплоемкости, растительных масел различных типов при различных температурах, согласно [8], могут быть рассчитаны по уравнениям:

$$c_p = \left[ 0,697 \left( \frac{T}{T_1} \right)^2 - 1,350 \left( \frac{T}{T_1} \right) + 1,653 \right] (9160 - 8\rho_1), \quad (1)$$

$$c_p = \left[ -0,820 \left( \frac{\rho}{\rho_1} \right)^2 + 0,320 \left( \frac{\rho}{\rho_1} \right) + 1,500 \right] (9160 - 8\rho_1), \quad (2)$$

где  $c_p$  — удельная теплоемкость образца растительного масла, Дж/(кг·К);  $T$  — температура образца растительного масла, К;  $T_1$  — начальная температура, К;  $\rho_1, \rho$  — плотность образца растительного масла при температуре  $T_1$  и  $T$ , соответственно, кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, теплоемкости различных видов ПРМ в данной работе описаны одной математической моделью для всех видов исследованных ПРМ, представленной

в двух равнозначных формах, соответствующих уравнениям (1) и (2), которые принципиально отличаются по характеру функций  $c_p = f_1(T)$  и  $c_p = f_2(\rho)$ , не учитывающих при этом существующие значительные различия составов ПРМ, например, для рафинированных и нерафинированных растительных масел, которые необходимо принимать во внимание при формировании модели жидкого состояния ПРМ.

В работах [9, 10] приведены зависимости удельных теплоемкостей от температуры, для наиболее используемых видов ПРМ в виде линейных функций, показывающих, что эта физическая величина для различных по составу ПРМ может отличаться почти на 30%. Кроме того, представленные в [9, 10] данные для образцов рафинированного и нерафинированного ПРМ одного и того же вида, так же существенно отличаются друг от друга. Оценить имеющиеся различия в характере изменений удельной теплоемкости для одних и тех же видов ПРМ из этих литературных источников не представляется возможным, так как методики, использованные для этих измерений, не были представлены.

В работах [11–13] были проведены исследования температурной зависимости удельных теплоемкостей различных ПРМ методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Однако при этом не были учтены и не были исследованы имеющиеся различия состава образцов рафинированных и нерафинированных ПРМ, представленные в [9, 10]. Более того в этих исследованиях не было учтено возможное влияние на удельную теплоемкость ПРМ содержания жирных кислот триглицеридов в широком интервале концентраций, а также других фракций компонентов как, например, неомыляемых компонентов в рисовом масле. Хотя по данным [14] видно, что изменение состава ПРМ, в частности олеиновой кислоты, закономерным образом отражается на характере изменений другой физической величины, так же зависящей от структуры жидкого состояния, а именно, динамической вязкости. При этом численные значения коэффициента динамической вязкости возрастают с ростом суммарного содержания МНЖК в исследованных образцах. Наблюдаемые при этом отличия численных значений коэффициента динамической вязкости от содержания МНЖК для образцов рисового масла, по сравнению с другими исследованными образцами ПРМ, указывают на то, что влияние относительно небольшой доли неомыляемой фракции в составе ПРМ может быть недооцененным.

Сравнение данных о характере поведения удельной теплоемкости ПРМ, представленных в работах [8–13], показывает, что для одних и тех же по качественному составу ПРМ, отличия численных значений удельной теплоемкости в одних и тех же температурных интервалах могут достигать 10 отн.%. Если для технологических расчетов тепло- и массообменного оборудования такая точность при выборе способа определения удельной теплоемкости конкретного ПРМ может быть признана удовлетворительной, то при отсутствии систематизированных, надежных данных о зависимости этой физической величины от состава ПРМ не представляется возможным эффективно решать задачу моделирования структуры жидкого состояния ПРМ. То есть известные

методически неоднородные данные об удельной теплоемкости ПРМ не позволяют установить действительный характер влияния отдельных компонентов состава растительных масел на численные значения этой физической величины. Хотя по аналогии с другими физическими величинами, зависящими от структуры жидкого состояния, предположение о наличии такого же влияния на удельную теплоемкость вполне обосновано. Так, например, для динамической вязкости в работе [14] обнаружено прямое влияние на нее суммарного содержания мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) и обратное влияние содержания полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК).

Таким образом, имеются достаточные основания для проведения дополнительных системных исследований удельной теплоемкости ПРМ с учетом изменения состава растительных масел с использованием метода дифференциальной сканирующей калориметрии. В настоящее время данный метод является наиболее предпочтительным для такого рода измерений.

При разработке программы исследований влияния состава ПРМ на температурную зависимость их удельных теплоемкостей необходимо учитывать, как отличия жирнокислотного состава различных сортов масличного сырья, так и изменения набора компонентов состава при переработке ПРМ одного и того же вида, а также отличия в составах ПРМ различных видов. Это позволит сформировать более адекватную модель жидкого состояния пищевых растительных масел и разрабатывать как технологические процессы, так и оборудование для масло-жировой отрасли.

На этом основании, системная программа исследований удельных теплоемкостей ПРМ от их состава должна начинаться с изучения образцов рафинированных растительных масел различного состава и различного вида, а затем для сравнения аналогичные исследования должны быть проведены для образцов нерафинированных растительных масел тех же видов. Причем для решения задачи определения структуры жидкофазного состояния ПРМ и с учетом результатов работы [14] первоначальным действием является исследование влияния содержания олеиновой кислоты или суммарного содержания мононенасыщенных жирных кислот на характер температурной зависимости удельной теплоемкости ПРМ.

Для успешного выполнения намеченной программы исследований на ее начальном, основополагающем этапе, необходимо проведение измерений удельной теплоемкости образцов рафинированного подсолнечного масла с различным жирнокислотным составом. Для этого вида ПРМ, согласно работам [1–4], процентное содержание пальмитиновой и стеариновой кислот составляет примерно 1% и 5%, соответственно, олеиновой кислоты от 18 до 90%, линолевой кислоты от 70% до 4%, линоленовой кислоты в рафинированных подсолнечных маслах не превышает 0,3%, а в нерафинированных — не более 0,5–1%. Причем, во фракциях жирных кислот триглицеридов с одной и двумя двойными связями на долю олеиновой кислоты, как и на долю линолевой кислоты соответственно каждой приходится примерно по 98%. При этом в различных по составу образцах рафинированных подсолнечных маслах содержание других постоянных компо-

нентов, например, токоферола, неомыляемых, восков и воскоподобных по сравнению с концентрацией олеиновой и линолевой кислот существенно ниже и составляет приблизительно 0,1–0,5%. Хотя, по некоторым данным, в рисовом масле наблюдается высокое содержание неомыляемых, а именно, — около 2%.

Подсолнечные масла, в которых концентрация олеиновой кислоты в жирнокислотном составе менее 40% условно называют низкоолеиновыми подсолнечными маслами или подсолнечными маслами линолевого типа, при концентрации олеиновой кислоты от 40 до 60% — среднеолеиновыми, а при концентрации олеиновой кислоты более 60% — высокоолеиновыми [1–4].

Данные о характере изменений удельных теплоемкостей в технологическом интервале от 30 до 120 °С для высокоолеинового подсолнечного масла в изученных публикациях не представлено. С точки зрения системного подхода к исследованиям температурной зависимости удельной теплоемкости ПРМ, отсутствие этих данных для высокоолеиновых масел, в которых содержание олеиновой кислоты в жирнокислотном составе максимальное, относительно среди известных ПРМ, не позволяет эффективно решать задачу моделирования жидкого состояния ПРМ. Эти же обстоятельства требуют в дальнейшем более тщательного исследования и рисового масла в контексте общей программы системных исследований влияния состава ПРМ на их удельную теплоемкость. Поэтому с учетом быстрого роста производства высокоолеинового подсолнечного масла, вызванного его низкой окисляемостью [2], исследования характера зависимости удельной теплоемкости от температуры для высокоолеинового подсолнечного масла представляют собой, как самостоятельную технологическую, так и научную значимость.

Таким образом, целью настоящей работы является определение температурной зависимости удельной теплоемкости высокоолеиновых подсолнечных масел и подсолнечных масел линолевого типа методом дифференциальной сканирующей калориметрии в диапазоне температур от 30 до 120 °С, а также моделирование характера влияния химического состава исследованных образцов подсолнечных масел на их удельную теплоемкость.

**Экспериментальная часть**

Для выполнения программы исследований были сформирована серия образцов рафинированных высокоолеиновых подсолнечных масел и серия образцов рафинированных подсолнечных масел линолевого типа, жирнокислотный состав которых представлен в табл. 1.

Для исследованных образцов были приняты обозначения: 11, 12, 13, 14 — образцы высокоолеинового подсолнечного масла; 21, 22, 23, 24 — образцы подсолнечного масла линолевого типа (см. табл. 1).

Данные по жирнокислотному составу образцов были получены в соответствии с ГОСТ Р 51486–99, ГОСТ Р 51483–99 и ГОСТ 31663–2012 на газо-жидкостном хроматографе «Bruker — Scion 436 GS» с использованием капиллярной колонки BR — Swax (catalog # BR 89377) длиной 30 м, диаметром 0,25 мм и активной фазой на основе полиэтиленгликоля.

Определение содержания токоферола, стероидов, восков и фосфатидов проводилось в соответствии с методиками, разработанными и представленными в работе [1]. Результаты измерения концентраций токоферола, стероидов и восков представлены в табл. 2. При этом во всех образцах было зафиксировано отсутствие фосфатидов.

Измерения удельных теплоемкостей масел в диапазоне температур от 0 до 150 °С проводились на приборе фирмы Netzsch DSC 204 Phoenix F1 методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [15, 16]. Для повышения надежности результатов измерений использовались данные, полученные в температурном интервале от 30 до 120 °С. Данный метод основан на сравнении свойств исследуемого образца и термически инертного вещества, выбранного в качестве эталона. В качестве регистрируемого параметра выступает разность тепловых потоков между исследуемым образцом и эталоном, измеряемая при нагреве и охлаждении образцов с одинаковой скоростью. Измерения можно проводить как в статическом, так и в динамическом режимах, при этом образец всегда находится в изотермических условиях.

Общий вид измерительной камеры DSC 204 F1 представлен на рис. 1. Как видно из рис. 1, в измерительной камере находятся две ячейки рис. 2.

Таблица 1

**Жирнокислотный состав рафинированных подсолнечных масел в отн. %**

Table 1

**Fatty-acid profile of refined sunflower oils (in relative %)**

| Кислоты          |                      | Образец |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|----------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Название         | Условное обозначение | 11      | 12   | 13   | 14   | 21   | 22   | 23   | 24   |
| Миристиновая     | C 14:0               | 0,1     | —    | —    | 0,1  | —    | —    | 0,1  | 0,1  |
| Пальмитиновая    | C 16:0               | 4,4     | 4,5  | 4,0  | 3,2  | 6,2  | 6,1  | 5,7  | 5,4  |
| Пальмитолеиновая | C 16:1               | 0,1     | —    | —    | —    | 0,1  | —    | 0,1  | 0,1  |
| Стеариновая      | C 18:0               | 2,6     | 2,0  | 2,6  | 1,8  | 2,4  | 2,5  | 2,8  | 3,1  |
| Олеиновая        | C 18:1               | 83,2    | 79,8 | 81,5 | 89,6 | 24,0 | 24,5 | 29,8 | 28,2 |
| Линолевая        | C 18:2               | 7,8     | 13,0 | 11,6 | 4,9  | 66,2 | 65,8 | 61,0 | 62,5 |
| Линоленовая      | C 18:3               | —       | —    | —    | —    | 0,1  | —    | —    | —    |
| Арахидиновая     | C 20:0               | 0,3     | 0,5  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,1  |
| Гондоиновая      | C 20:1               | 0,3     | —    | —    | —    | 0,1  | 0,1  | —    | 0,1  |
| Бегеновая        | C 22:0               | 0,9     | 0,2  | 0,1  | 0,2  | 0,7  | 0,8  | 0,3  | 0,4  |
| Лигноцериновая   | C 24:0               | 0,3     | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |

## Содержание компонентов в подсолнечных маслах

Table 2

## Content of the components in sunflower oils

| Номер образца | Олеиновая кислота, отн. % | Линолевая кислота, отн. % | Токоферол, мг/100 г | Стероиды, мг/100 г | Воска, мг\1000 г |
|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|------------------|
| 11            | 83,2                      | 7,8                       | 48                  | 500                | 26               |
| 12            | 79,8                      | 13,0                      | 56                  | 460                | 30               |
| 13            | 81,6                      | 11,6                      | 52                  | 450                | 32               |
| 14            | 89,6                      | 4,9                       | 50                  | 430                | 36               |
| 21            | 24,0                      | 66,2                      | 82                  | 310                | 32               |
| 22            | 24,5                      | 65,8                      | 80                  | 380                | 40               |
| 23            | 29,8                      | 61,0                      | 57                  | 400                | 35               |
| 24            | 28,2                      | 62,5                      | 57                  | 350                | 28               |

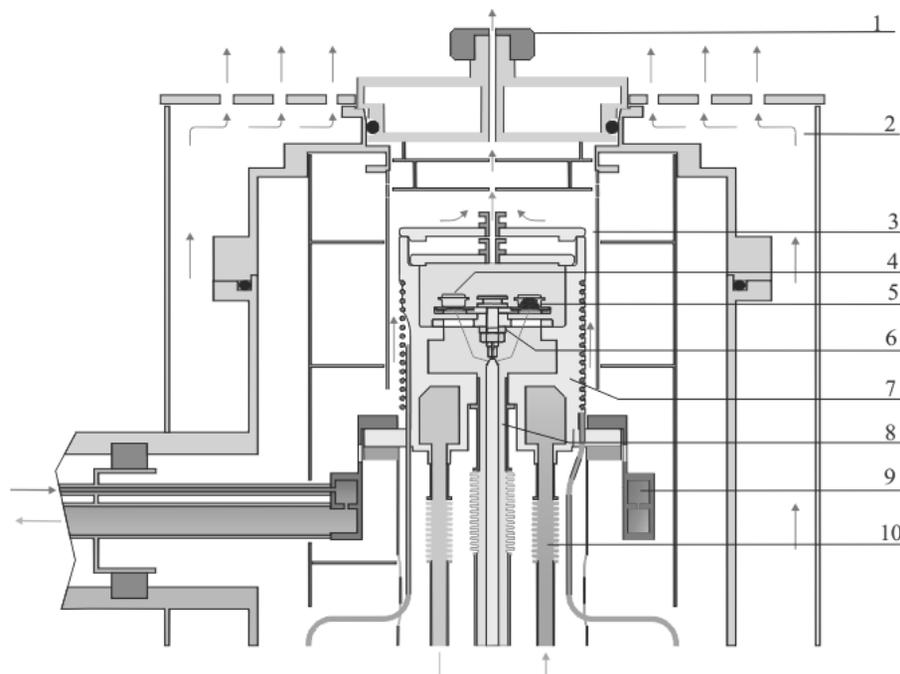


Рис. 1. Схема измерительной камеры DSC 204 Phoenix F1:

1 — выход защитного газа и продувочного газа; 2 — воздушное охлаждение; 3 — защитный газ; 4 — пустой тигель; 5 — тигель для образца или эталона; 6 —  $\tau$ -сенсор теплового потока; 7 — блок печи; 8 — продувочный газ; 9 — механическое охлаждение (Intracooler); 10 — охлаждение жидким/газообразным азотом

Fig. 1. DSC 204 Phoenix F1 measuring chamber:

1 — purge gas and protective gas inlet; 2 — air cooling; 3 — protective gas; 4 — empty crucible; 5 — crucible for a sample; 6 — heat flow  $\tau$ -sensor; 7 — heater; 8 — purge gas; 9 — mechanical cooling (Intracooler); 10 — cooling by liquid/gaseous nitrogen

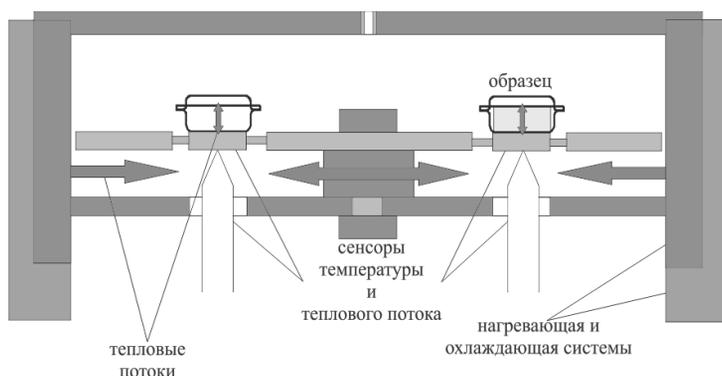


Рис. 2. Ячейки измерительной камеры DSC 204 Phoenix F1  
Fig. 2. The cells of DSC 204 Phoenix F1 measuring chamber

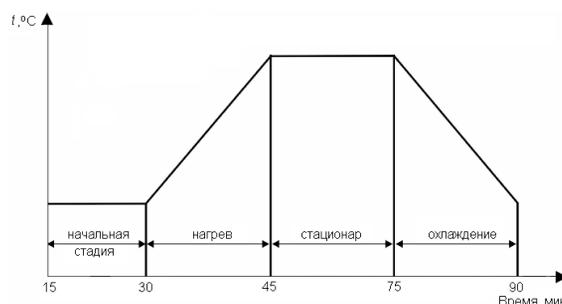


Рис. 3. Температурная программа  
Fig. 3. Temperature program

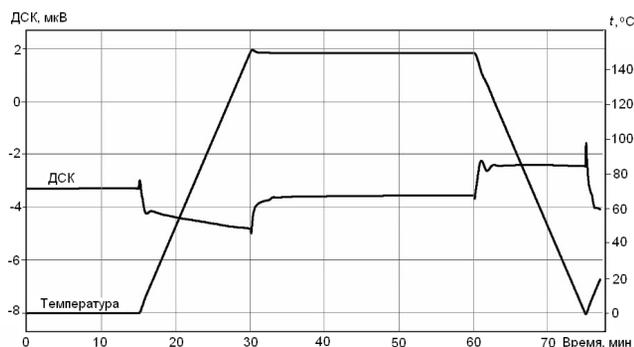


Рис. 4. Зависимость сигналов от времени при измерении базовой линии

Fig. 4. The dependence of signals on time when measuring baseline

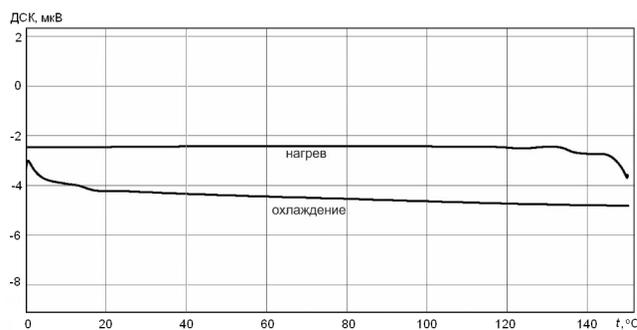


Рис. 5. Зависимость сигнала ДСК от температуры при измерении базовой линии

Fig. 5. The dependence of DSC signals on temperature when measuring baseline

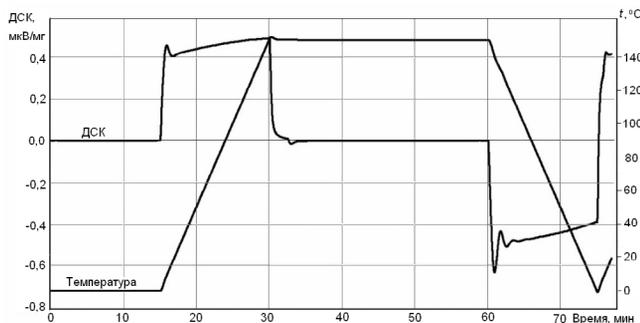


Рис. 6. Зависимость сигналов от времени при измерении эталонного образца

Fig. 6. The dependence of signals on time when measuring reference sample

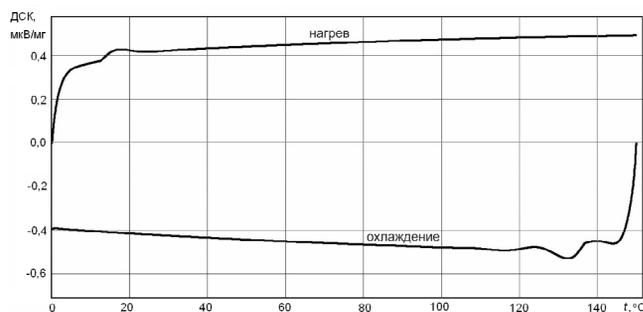


Рис. 7. Зависимость сигнала ДСК от температуры при измерении эталонного образца

Fig. 7. The dependence of DSC signals on temperature when measuring reference sample

Одна ячейка (левая) является ячейкой сравнения и остается пустой. В другую ячейку помещается тигель с исследуемым образцом. В ходе опыта измеряется тепловой поток через тигель с образцом и средняя температура тигля.

Методика определения удельной теплоемкости исследуемых масел включала в себя четыре этапа:

1. *Задание температурной программы.* В соответствии с заданным температурным диапазоном от 0 до 150 °С была составлена температурная программа для исследования удельной теплоемкости масел, показанная на рис. 3.

Скорость нагрева/охлаждения составляет 10 К/мин, время стационарного участка 15 мин, начальная стадия длилась 15 мин. В качестве продувочного и защитного газов использовался газообразный азот с расходом 20 мл/мин и 50 мл/мин, соответственно.

2. *Коррекция.* На обе ячейки помещаются пустые тигли. Измеряется разность тепловых потоков через два пустых тигля ( $DСК = DСК_{баз}$ ) и температура правого тигля. Зависимости этих сигналов от времени и температуры показаны на рис. 4 и 5.

3. *Калибровка.* Тигель ячейки сравнения остается пустым. В тигель для образцов помещается вещество с известной теплоемкостью  $c_{р.эт}$  и массой  $m_{эт}$ . Измеряется разность тепловых потоков через пустой тигель и тигель с эталоном  $DСК_{эт}$  и температура тигля с эталоном. Зависимости сигналов  $DСК = DСК_{эт} - DСК_{баз}$  от времени и температуры показаны на рис. 6 и 7.

4. *Измерение.* Тигель ячейки сравнения остается пустым. В тигель для образца помещается исследуемый образец массой  $m_{обр}$ . Измеряется разность тепловых потоков через пустой тигель и тигель с образцом  $DСК_{обр}$  и температура тигля с образцом. Зависимости сигналов  $DСК = DСК_{обр} - DСК_{баз}$  от времени и температуры показаны на рис. 8 и 9.

Расчет теплоемкости исследуемого образца производится по формуле

$$c_p(T) = \frac{m_{эт}}{m_{обр}} \cdot \frac{DСК_{обр} - DСК_{баз}}{DСК_{эт} - DСК_{баз}} c_{р.эт}(T) \tag{3}$$

Результаты измерения удельной теплоемкости образца № 21 представлены на рис. 10.

Из рис. 10 видно, что значения теплоемкости, измеренные в режимах нагрева и охлаждения, несколько отличаются друг от друга. Это отличие не превышает ±2% в диапазоне температур от 30 до 120 °С

Искажения кривых ДСК и теплоемкостей в начале и конце нагрева и охлаждения связаны с работой системы регулирования и не имеют отношения к теплофизическим свойствам образца. При уменьшении скорости нагрева и охлаждения эти искажения уменьшаются.

Для обеспечения необходимой точности измерений удельной теплоемкости были подобраны тигли и крышки для них, с разбросом масс не более ±1 мг. Масса тигля 37 мг, масса крышки 25 мг. Масса исследуемых образцов

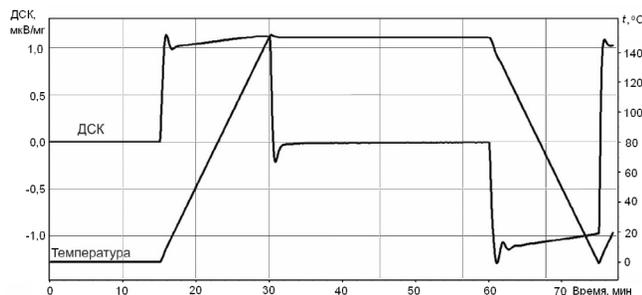


Рис. 8. Зависимость сигналов от времени при измерении исследуемого образца

Fig. 8. The dependence of signals on time when measuring the sample under investigation

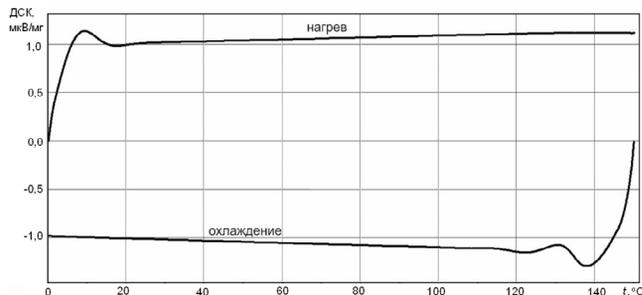


Рис. 9. Зависимость сигнала ДСК от температуры при измерении исследуемого образца

Fig. 9. The dependence of DSC signals on temperature when measuring the sample under investigation

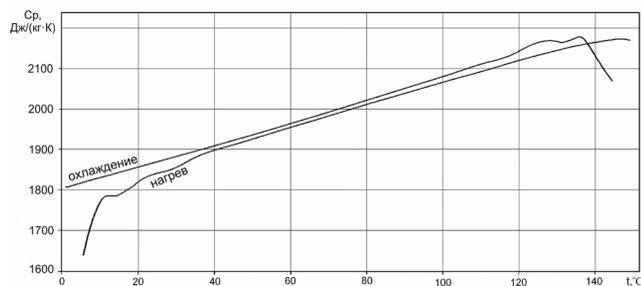


Рис. 10. Зависимость удельной теплоемкости образца № 21 от температуры в режимах нагрева и охлаждения

Fig. 10. The dependence of specific heat capacity for the sample No 21 on temperature in heating and cooling modes

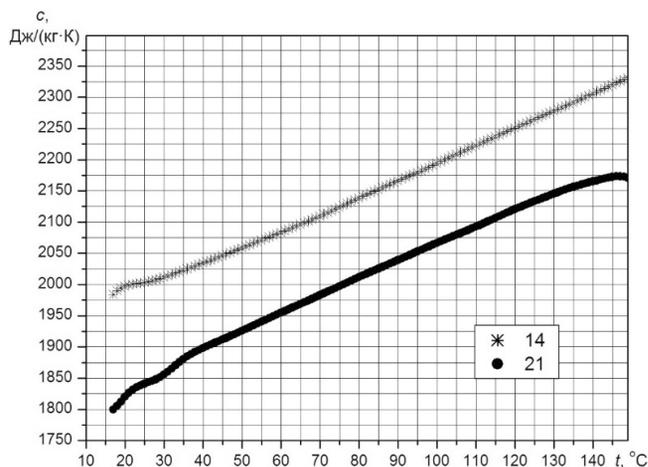


Рис. 11. Зависимость удельной теплоемкости от температуры для образцов № 14 и 21 в режиме нагрева

Fig. 11. The dependence of specific heat capacity for the samples No 14 and 21 on temperature in heating mode

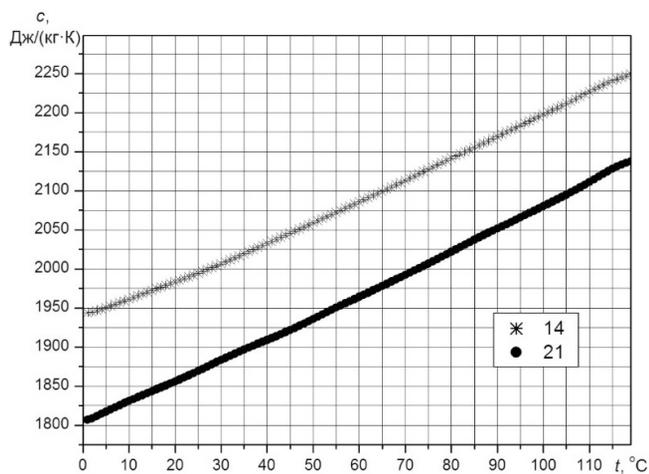


Рис. 12. Зависимость удельной теплоемкости от температуры для образцов № 14 и 21 в режиме охлаждения

Fig. 12. The dependence of specific heat capacity for the samples No 14 and 21 on temperature in cooling mode

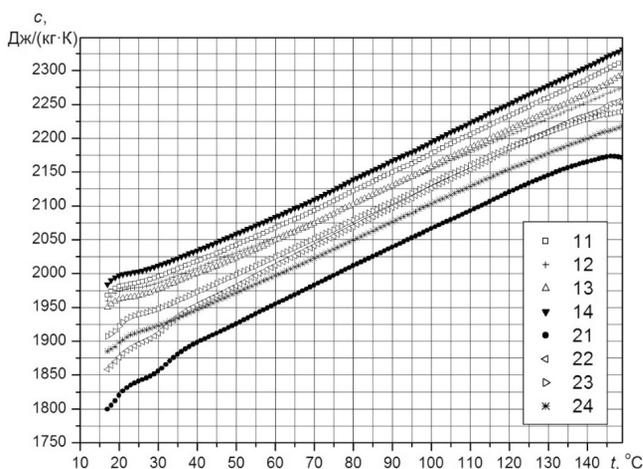


Рис. 13. Зависимость удельной теплоемкости от температуры для каждого образца табл. 1 в режиме нагревания

Fig. 13. The dependence of specific heat capacity for the samples from Table 1 on temperature in heating mode

(масла) была в пределах от 22 до 40 мг. В качестве термически инертного вещества (эталоны) использовался сапфир массой 50 мг. Удельная теплоемкость сапфира в диапазоне температур от 0 до 150 °С изменяется от 720 до 910 Дж/(кг·К).

Для каждого образца исследуемого подсолнечного масла отбирались три пробы масла, которые последовательно друг за другом подвергался нагреванию и охлаждению. По результатам измерений трех проб каждого из образцов рассчитывали их среднее значение удельной

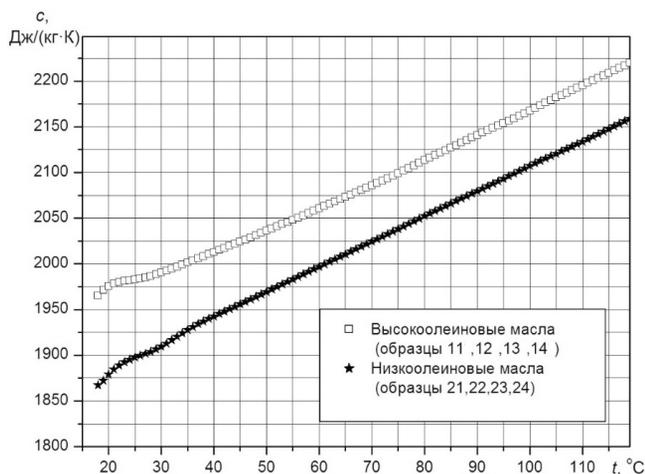


Рис. 14. Зависимость средней арифметической удельной теплоемкости от температуры для высокоолеинового и низкоолеинового типов растительных масел

Fig. 14. The dependence of arithmetic mean of specific heat capacity for low and high oleic sunflower oils on temperature

теплоемкости для одной температуры (далее принимаемой в качестве удельной теплоемкости образца)

Экспериментальные данные, иллюстрирующие характер изменения удельной теплоемкости от температуры в режимах нагрева и охлаждения для образца 14 с наибольшим содержанием олеиновой кислоты и для образца 21 с наименьшим содержанием олеиновой кислоты, представлены на рис. 11 и 12, соответственно.

Расчетные данные зависимости удельной теплоемкости от температуры для образцов подсолнечного масла из табл. 1 в режиме нагрева приведены на рис. 13, а те же расчетные данные в режиме охлаждения приведены на рис. 14.

### Обсуждение результатов

При изучении представленных на рис. 11 данных зависимости удельной теплоемкости от температуры, полученных для различных проб образцов 14 и 21 в режиме нагревания, видно, что численные значения средней удельной теплоемкости образца 14 при температурах от 30 до 120 °C больше численных значений средней удельной теплоемкости образца 21 приблизительно на 3%. Практически такой же результат имеет место и в случае измерений удельных теплоемкостей тех же образцов в том же температурном интервале, но проведенных в режиме охлаждения, данные для которого представлены на рис. 12.

Согласно данным табл. 1, наибольшая относительная концентрация олеиновой кислоты из всех взятых для исследований образцов рафинированного подсолнечного масла наблюдается в образце высокоолеинового подсолнечного масла 14, достигая 89,6 отн.%, а наименьшая — в образце подсолнечного масла линолевого типа 21, достигая 24 отн.%. При этом в тех же образцах 14 и 21 концентрация линолевой кислоты составляет 4,9 отн.% и 66,2 отн.%, соответственно.

Таким образом, из данных рис. 11 и 12 было установлено, что образец высокоолеинового подсолнечного масла 14 имеет удельную теплоемкость в интервале от 20

до 140 °C приблизительно на 3% больше, чем образец подсолнечного масла линолевого типа 21, при том, что концентрация олеиновой кислоты в составе образца 14 выше почти на 64 отн.%.

На рис. 13 представлены зависимости удельной теплоемкости от температуры для исследованных образцов подсолнечного масла.

Поскольку концентрации олеиновой кислоты в образцах высокоолеинового масла, с 11 по 14 как и в образцах подсолнечного масла линолевого типа 8, с 21 по 24 достаточно близки, то экспериментальные данные зависимости удельной теплоемкости от температуры в реальном режиме времени для обоих типов подсолнечных масел частично перекрывались из-за не большой разницы численных значений их средних арифметических. Анализ этих данных для образцов высокоолеинового подсолнечного показывает, что среднеарифметическое значение удельной теплоемкости образца 12, в котором согласно табл. 1 содержится 79,8 отн.% олеиновой кислоты, располагается выше среднеарифметического значения удельной теплоемкости образца 13, в котором олеиновой кислоты содержится 81,6 отн.%. Изучение аналогичных данных для образцов подсолнечного масла линолевого типа показывает, что среднеарифметическое значение удельной теплоемкости образца 22, в котором согласно табл. 1 содержится 24,5 отн.% олеиновой кислоты, располагается выше среднеарифметического значения удельной теплоемкости образца 24, в котором олеиновой кислоты содержится 28,2 отн.%. Эти факты указывают на то, что закономерность внутритиповых изменений численных значений удельной теплоемкости от изменения жирнокислотного состава как для образцов высокоолеинового подсолнечного масла, так и для образцов низкоолеинового подсолнечного масла линолевого типа точно установить не удается. Это происходит потому, что при наличии максимальной разницы концентраций олеиновой кислоты между образцами подсолнечного масла высокоолеинового и низкоолеинового типов около 64 отн.% разница между удельными теплоемкостями тех же образцов составляет всего 3%, что сопоставимо с инструментальной погрешностью прибора. В то время как изменение концентраций олеиновой кислоты как между образцами высокоолеинового типа подсолнечного масла, так и между образцами низкоолеинового типа подсолнечного масла составляет всего 10–5 отн.%. Это должно вызывать изменения удельной теплоемкости между образцами каждого из типов подсолнечного масла гораздо меньшую, чем 3%, которая не может быть обнаружена при измерениях с погрешностью в 2,5%.

Таким образом, полученные экспериментальные данные для образцов как высокоолеинового масла с концентрацией олеиновой кислоты от 79 до 89%, так и низкоолеинового масла с концентрацией олеиновой кислоты от 20 до 30% в интервале температур от 20 до 140 °C позволяют определить средние арифметические значения удельной теплоемкости отдельно для типа высокоолеиновых подсолнечных масел и для типа низкоолеиновых подсолнечных масел. Очевидно, что для типа среднеолеиновых подсолнечных масел, в которых концентрация олеиновой кислоты изменяется в интервале приблизительно от 40% и приблизительно до 70%, численное зна-

чение удельной теплоемкости может быть рассчитано с использованием предложенного нами подхода, а именно рассчитывать эту величину как среднее арифметическое значений удельных теплоемкостей типа высокоолеиновых подсолнечных масел и типа низкоолеиновых подсолнечных масел. Расчетные данные средней арифметической удельной теплоемкости для высокоолеинового и низкоолеинового типов подсолнечных масел представлены на рис. 14. Выявлено, что разница между удельной теплоемкостью высокоолеинового и низкоолеинового типов подсолнечных масел так же приблизительно равна 3%. Для температурных зависимостей этих удельных теплоемкостей каждого из типов подсолнечных масел были рассчитаны аппроксимирующей функции, по которым была рассчитана аппроксимирующая функция для типа среднеолеиновых подсолнечных масел.

Расчетные данные аппроксимирующей функции зависимости удельной теплоемкости для высокоолеиновых подсолнечных масел, среднеолеиновых подсолнечных масел и низкоолеиновых подсолнечных масел, полученные на основании данных рис. 13, представлены на рис. 15.

Аппроксимирующая функция зависимости удельной теплоемкости от температуры для высокоолеинового (4), низкоолеинового (5) и среднеолеинового (6) типов подсолнечного масла может быть выражена уравнениями типа:

$$c_p = 1913,01 + 2,54t \quad (4)$$

$$c_p = 1828,43 + 2,79t \quad (5)$$

$$c_p = 1870,72 + 2,66t \quad (6)$$

С учетом результатов исследований [14] о характере влияния суммарного содержания МНЖК и ПНЖК на динамическую вязкость можно было бы предположить, что небольшое различие теплоемкости класса высокоолеиновых подсолнечных масел и класса низкоолеиновых подсолнечных масел обусловлено только

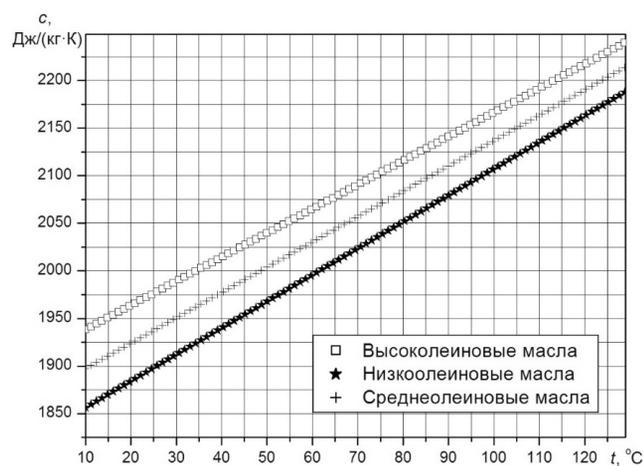


Рис. 15. Аппроксимирующая функция зависимости средних арифметических удельной теплоемкости для высокоолеиновых, среднеолеиновых и низкоолеиновых типов подсолнечных масел

Fig. 15. Approximating the dependence of arithmetic mean of specific heat capacity for low and high oleic sunflower oils on temperature

изменением концентрации фактически олеиновой и линолевой жирных кислот триглицеридов подсолнечных масел. Однако, как показано в той же работе [14] не исключено влияние на физические величины, связанные со структурой жидкой фазы ПРМ, и других компонентов ПРМ. Именно на этом основании было проведено определение токоферолов, стероидов и восков в подсолнечных маслах, результаты которого представлены в табл. 2. При сравнении данных табл. 2 и рис. 13 видно, что изменение содержания токоферолов стероидов и восков в образцах каждого из типов подсолнечных масел не приводит к закономерным изменениям их удельных теплоемкостей. То есть, изменение концентраций токоферолов в интервале от 48 до 56 мг/100г, изменение концентраций стероидов в интервале от 430 до 500 мг/100 г, а так же изменение концентраций восков в интервале от 2,6 до 3,6 мг/100 г, если и изменяет удельную теплоемкость образцов высокоолеинового подсолнечного масла, то не более погрешности измерений. Точно так же изменение концентраций токоферолов в интервале от 57 до 82 мг/100 г, изменение концентраций стероидов в интервале от 310 до 400 мг/100 г, а так же изменение концентраций восков в интервале от 2,8 до 4,0 мг/100 г не приводит к заметным изменениям теплоемкости образцов низкоолеинового подсолнечного масла, превышающим погрешность измерений.

В действительности содержание токоферолов, стероидов и восков, а также разница между их численными значениями в подсолнечных маслах обоих типов достаточно близки и поэтому не могут причиной уменьшения удельной теплоемкости низкоолеинового типа подсолнечных масел по сравнению с удельной теплоемкостью высокоолеинового типа подсолнечного масла на 3%.

Содержание токоферолов, стеролов и восков в подсолнечных маслах обоих классов достаточно близки по своим значениям, для того чтобы установить их вклад в снижение или увеличение численного значения теплоемкости подсолнечных масел на удельную теплоемкость. Поэтому для решения этой задачи требуются дальнейшие исследования температурных зависимостей удельных теплоемкостей от состава ПРМ других видов.

Как видно из табл. 2 при увеличении содержание олеиновой кислоты в подсолнечных маслах, как и в ПРМ других видов содержание линолевой кислоты одновременно уменьшается. То есть при исследовании влияния изменений концентрации олеиновой кислоты на удельную теплоемкость, одновременно устанавливается характер влияния линолевой кислоты на эту же физическую величину. Так как структура жидкого состояния высокоолеиновых подсолнечных масел формируется преимущественно триглицеридами олеиновой кислоты, содержащей только одну двойную связь, а структура жидкого состояния низкоолеиновых подсолнечных масел формируется преимущественно триглицеридами линолевой кислоты, содержащей две двойные связи, то очевидны существенные структурные различия жидкой фазы каждого из этих типов подсолнечных масел.

Таким образом, снижение удельной теплоемкости низкоолеиновых подсолнечных масел примерно на 3% по сравнению с высокоолеиновыми подсолнечными маслами может быть связано только со взаимным измене-

нием концентраций олеиновой и линолевой кислот в жирнокислотном составе подсолнечных масел обоих типов.

Кажущийся тривиальным результат моделирования влияния токоферолов стероидов и восков на удельную теплоемкость рафинированных подсолнечных масел является на самом деле основой для определения роли этих компонентов при условии сравнения полученных в данном исследовании результатов с аналогичными результатами последующих исследований ПРМ других видов. Поэтому для решения этой задачи требуются дальнейшие исследования температурных зависимостей удельных теплоемкостей от состава рафинированных ПРМ других видов, имеющих существенно большие отличия значимых компонентов по сравнению с составом исследованных нами рафинированных подсолнечных масел.

Сравнительный анализ численных значений удельной теплоемкости класса низкоолеиновых рафинированных подсолнечных масел линолевого типа, представленных на рис. 15, с аналогичными данными работ [10, 12, 13] показывает, что при одних и тех же температурах данные работы [12] отличаются приблизительно на 1–2%, данные работы [10] превышают полученные в эксперименте значения приблизительно на 3–4%, а данные работы [13] превышают полученные результаты приблизительно на 7%. Причем в работах [12, 13] специально не оговаривается технология получения исследованных образцов подсолнечного масла, а также не представлены данные о содержании значимых для моделирования жидкого состояния ПРМ компонентов — фосфатидов, токоферолов стеролов и восков.

Таким образом, данные табл. 1 и 2, а также результаты исследований температурной зависимости удельной теплоемкости для рафинированных подсолнечных масел (см. рис. 11–15) являются основой для дальнейших исследований и моделирования влияния состава ПРМ различных видов на характер температурной зависимости их удельной теплоемкости, а также для моделирования структуры жидкого состояния ПРМ.

### Выводы

1. Получены численные значения удельной теплоемкости рафинированных высокоолеиновых подсолнечных масел в температурном интервале от 20 до 140 °С, на основе которых рассчитано среднее значение удельной теплоемкости высокоолеиновых типов подсолнечных масел, а также аппроксимирующее уравнение линейной

зависимости удельной теплоемкости от температуры для рафинированных высокоолеиновых подсолнечных масел.

2. Получены численные значения удельной теплоемкости рафинированных низкоолеиновых подсолнечных масел в температурном интервале от 30 до 120 °С, на основе которых рассчитано среднее значение удельной теплоемкости низкоолеиновых типов подсолнечных масел, а также получено аппроксимирующее уравнение линейной зависимости удельной теплоемкости от температуры для рафинированных низкоолеиновых подсолнечных масел.

3. На основе данных для высокоолеинового и низкоолеинового типов подсолнечных масел было получено аппроксимирующее уравнение линейной зависимости удельной теплоемкости от температуры для рафинированных среднеолеиновых типов подсолнечных масел.

4. Показано, что численные значения удельной теплоемкости рафинированных низкоолеиновых подсолнечных масел в температурном интервале от 30 до 120 °С располагаются примерно на 3% ниже аналогичных результатов измерений для рафинированных высокоолеиновых подсолнечных масел.

5. В исследованных образцах подсолнечного масла было определено содержание токоферолов, стеролов («неомыляемых») и восков, представленное в табл. 1, а также подтверждено отсутствие фосфатидов.

6. Установлено, что снижение приблизительно на 3% численных значений удельной теплоемкости рафинированных низкоолеиновых подсолнечных масел по сравнению с теми же данными для рафинированных высокоолеиновых подсолнечных масел в температурном интервале от 30 до 120 °С обусловлено ростом содержания линолевой кислоты. Это может происходить из-за того, что структура жидкого состояния в высокоолеиновых маслах определяется преимущественным содержанием в их жирнокислотном составе олеиновой кислоты с одной  $\pi$ -связью, а в низкоолеиновых подсолнечных маслах определяется преимущественным содержанием в их жирнокислотном составе линолевой кислоты с двумя  $\pi$ -связями.

7. Полученные численные значения удельной теплоемкости рафинированных низкоолеиновых подсолнечных масел хорошо согласуются с литературными данными и поэтому результаты проведенных исследований могут являться основой для продолжения намеченной системной программы изучения влияния состава ПРМ на температурные зависимости их удельных теплоемкостей.

### Литература

1. Руководство по методам исследования, технологическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / Под ред Ржехина В. П., Сергеева А. Г. Кн. 1, 2. Т. 1. Ленинград, 1967. 1051 с.
2. О, Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение. СПб.: Профессия, 2007. С. 752.
3. Рудаков О. Б., Пономарев А. Н., Полянский К. К., Любарь А. В. Жиры. Химический состав и экспертиза качества. М.: ДеЛи Принт. 2005. 311 с.
4. ГОСТ 30623–98. Масла растительные и маргариновая продукция. Методы обнаружения фальсификации. Дата введения

### References

1. Guide to research methods, process control and production accounting in the oil industry / edited by Rzekhina V. P., Sergeeva A. G., book 1,2, vol. 1. Leningrad, 1967. 1051 p. (in Russian)
2. O'Brien R. Fats and oils. Production, composition and properties, application. Saint-Petersburg, Profession, 2007. P. 752. (in Russian)
3. Rudakov O. B., Ponomarev A. N., Polyanskiy K. K., Lubar A. V. Fats. Chemical composition and quality expertise. Moscow, Delhi Print. 2005. 311 P. (in Russian)
4. State standard 30623–98. Vegetable oils and margarine products. Methods for the detection of fraud. Date of introduction:

- дения: 01.01.2000. Переиздание: декабрь 2009. М.: Стандартиформ, 2010.
5. Michael Eskin, N. A., List, G. R. Food applications of lipids (Book Chapter). *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*, Fourth Edition. 2017. p. 421–451.
  6. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Т. 2. М.: Химия, 1981. 811 с.
  7. Гавриленко И. В. Оборудование для производства растительных масел: учебник для техникумов пищевой промышленности. 2-е переработанное и дополненное издание. М.: Пищепромиздат, 1959. 312 с.
  8. Юсупов Ш. Т. Теплофизические и термодинамические свойства растительных масел и некоторых растворов в широком интервале температур: автореферат дис. ... доктора технических наук. Казань. 2011. 38 с.
  9. Нагорнов С. А., Дворецкий Д. С., Романцова С. В., Таров В. П. Техника и технология производства и переработки растительных масел: учебное пособие. Тамбов: ТГТУ, 2010. 96 с.
  10. Гинсбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И., Уколов В. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов. Справочное пособие. М.: Пищевая промышленность, 1975. 224 с.
  11. Noor Azian Morad, A. A. Mustafa Kamal, F. Panau, and T. W. Yew. Liquid Specific Heat Capacity Estimation for Fatty Acids, Triacylglycerols, and Vegetable Oils Based on Their Fatty Acid Composition. // *JAOCS*. 2000. Vol. 77. no. 9. 1001–1005 p.
  12. Santos J. C. O., Santos M. G. O., Dantas J. P., Conceicao Marta M., Athaide-Filho P. F. and Souza A. G. Comparative study of specific heat capacities of some vegetable oils obtained by dsc and microwave oven. // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005. Vol. 79. 283–287 p.
  13. Santos J. C. O., Santos I. M. G., Souza A. G. Effect of heating and cooling on rheological parameters of edible vegetable oils // *Journal of Food Engineering*. 2005. Vol. 67. p. 401–405.
  14. Никогда В. О. Разработка комплексной технологии получения растительных масел и белково-липидного концентрата из вторичного сырья переработки зерна риса. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Краснодар. 2012. 23 с.
  15. Hidalgo-Ruiz, J. L., Romero-González, R., Martínez Vidal, J. L., Garrido Frenich, A. A rapid method for the determination of mycotoxins in edible vegetable oils by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 288. P. 22–28.
  16. Дифференциальная сканирующая калориметрия: Метод, техника, применение. DSC 204 Phoenix F1. Netzsch-Gerätebau GmbH, Германия. 2012.
  - 01.01.2000. Reissue: December 2009. Moscow, Standartinform, 2010. (in Russian)
  5. Michael Eskin, N. A., List, G. R. Food applications of lipids (Book Chapter). *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*, Fourth Edition. 2017. p. 421–451.
  6. Gelperin N. I. Basic processes and apparatus of chemical technology. Vol. 2. Moscow, Chemistry, 1981. 811 P. (in Russian)
  7. Gavrilenko I. V. Equipment for the production of vegetable oils: textbook for technical schools of the food industry. 2<sup>nd</sup> revised and expanded edition. Moscow, Pishchepromizdat, 1959. 312 P. (in Russian)
  8. Yusupov Sh. T. Thermophysical and thermodynamic properties of vegetable oils and some solutions in a wide temperature range: abstract D. Sc., Kazan, 2011. 38 P. (in Russian)
  9. Nagornov S. A., Dvoretzky D. S., Romantsova S. V., Tarov V. P. Technique and technology of production and processing of vegetable oils: textbook. Tambov, TSTU, 2010. 96 P. (in Russian)
  10. Ginsburg A. S., Gromov M. A., Krasovskaya G. I., Ukolov V. S. Thermophysical characteristics of food products and materials. Reference book. Moscow, Food industry, 1975. 224 p. (in Russian)
  11. Noor Azian Morad, A. A. Mustafa Kamal, F. Panau, and T. W. Yew. Liquid Specific Heat Capacity Estimation for Fatty Acids, Triacylglycerols, and Vegetable Oils Based on Their Fatty Acid Composition. *JAOCS*. 2000. Vol. 77. no. 9. 1001–1005 p.
  12. Santos J. C. O., Santos M. G. O., Dantas J. P., Conceicao Marta M., Athaide-Filho P. F. and Souza A. G. Comparative study of specific heat capacities of some vegetable oils obtained by dsc and microwave oven. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005. Vol. 79. 283–287 p.
  13. Santos J. C. O., Santos I. M. G., Souza A. G. Effect of heating and cooling on rheological parameters of edible vegetable oils. *Journal of Food Engineering*. 2005. Vol. 67. p. 401–405.
  14. Nikogda V. O. Development of complex technology of production of vegetable oils and protein-lipid concentrate from secondary raw materials of processing of grain of rice. The author's abstract PhD. Krasnodar. 2012. 23 P. (in Russian)
  15. Hidalgo-Ruiz, J. L., Romero-González, R., Martínez Vidal, J. L., Garrido Frenich, A. A rapid method for the determination of mycotoxins in edible vegetable oils by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*. 2019. vol. 288, p. 22–28.
  16. Differential scanning calorimetry: Method, technique, application. DSC 204 Phoenix F1. Netzsch-Gerätebau GmbH, Germany. 2012. (in Russian)

### Сведения об авторах

#### Федоров Александр Валентинович

д. т. н., доцент факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, afedorov@corp.ifmo.ru

#### Баранов Игорь Владимирович

д. т. н., профессор, директор мегафакультета биотехнологий низкотемпературных систем Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ivbaranov@corp.ifmo.ru

### Information about authors

#### Fedorov Aleksandr Valentinovich

D. Sc., Associate professor of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, afedorov@corp.ifmo.ru

#### Baranov Igor Vladimirovich

D. Sc., Professor, Director of School of Biotechnology and Cryogenic Systems of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, ivbaranov@corp.ifmo.ru

**Тамбулатова Екатерина Викторовна**

к. т. н., заместитель директора мегафакультета биотехнологий низкотемпературных систем Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, [evtambulatova@corp.ifmo.ru](mailto:evtambulatova@corp.ifmo.ru)

**Волков Сергей Михайлович**

к. х. н., старший научный сотрудник отдела исследования жиров ВНИИЖиров, 191119, Санкт-Петербург, ул. Черныховского, 10, [volkovsm@vniig.org](mailto:volkovsm@vniig.org)

**Прохорова Лидия Тимофеевна**

к. т. н., старший научный сотрудник отдела исследования жиров ВНИИЖиров; 191119, Санкт-Петербург, ул. Черныховского, 10, [volkovsm@vniig.org](mailto:volkovsm@vniig.org)

**Крылов Василий Александрович**

инженер 2 кат., межфакультетская лаборатория «Трансляционные технологии в образовании» Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, [vakrylov@corp.ifmo.ru](mailto:vakrylov@corp.ifmo.ru)

**Tambulatova Ekaterina Viktorovna**

Ph. D., Associate Director of School of Biotechnology and Cryogenic Systems of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, [evtambulatova@corp.ifmo.ru](mailto:evtambulatova@corp.ifmo.ru)

**Volkov Sergey Mikhailovich**

Ph. D., Senior researcher of the Department of Fat Research of All-Russian Research Institute of Fats, 191119, Russia, St. Petersburg, 10, Chernyakhovskogo str., [volkovsm@vniig.org](mailto:volkovsm@vniig.org)

**Prokhorova Lydia Timofeevna**

Ph. D., Senior researcher of the Department of Fat Research of All-Russian Research Institute of Fats, 191119, Russia, St. Petersburg, 10, Chernyakhovskogo str., [volkovsm@vniig.org](mailto:volkovsm@vniig.org)

**Krylov Vasily Aleksandrovich**

Engineer of Interfaculty laboratory "Translational technologies in education" of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, [vakrylov@corp.ifmo.ru](mailto:vakrylov@corp.ifmo.ru)

**Выставка продуктов питания и напитков****InterFood St.Petersburg****17–19 апреля 2019 г.**

**InterFood St. Petersburg** – эффективная бизнес-площадка для прямого контакта производителей и поставщиков с представителями предприятий оптовой торговли, независимой и сетевой розничной торговли, а также предприятий общественного питания Северо-Западного региона России.

**РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:**

- ✓ Кондитерские и хлебобулочные изделия;
- ✓ Мясные и колбасные изделия;
- ✓ Молочная продукция;
- ✓ Рыба и морепродукты;
- ✓ Овощи и фрукты;
- ✓ Бакалея;
- ✓ Масложировая продукция;
- ✓ Консервация;
- ✓ Мороженое;
- ✓ Спортивное питание;
- ✓ Детское питание;
- ✓ Здоровое питание;
- ✓ Снеки, орехи, сухофрукты;
- ✓ Специи и соусы;
- ✓ Чай и кофе;
- ✓ Безалкогольные напитки;
- ✓ Полуфабрикаты и замороженные продукты.

**Организатор выставки:**

Компания MVK | Офис в Санкт-Петербурге  
+7 (812) 380 6000  
190000, Россия, Санкт-Петербург,  
Конногвардейский бул., д. 4, лит. А

**Место проведения:**

Санкт-Петербург, Петербургское шоссе, 64/1, КВЦ  
"ЭКСПОФОРУМ", павильон F

<http://www.interfood-expo.ru/>