

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ПОСЛЕ ФРИТЮРА И МЕТОДЫ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ



Л. М. Демидова, студентка 3-го курса  
E-mail: lideskoko@rambler.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»



А. А. Чернявская, студентка 3-го курса  
E-mail: nastasya.styuart@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

А. Г. Булычев, канд. хим. наук, доцент  
E-mail: aleksandr.bulychev@klgtu.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

В ходе работы было проанализировано четыре образца использованного растительного масла из разных точек общественного питания: часто посещаемых ресторанов и кафе быстрого питания. А также образец подсолнечного масла, подвергнутый тепловой обработке в лабораторных условиях, и образец, не подвергнутый нагреву. В работе предлагаются пути переработки и утилизации использованного масла. Для проведения исследования была использована стандартная методология, включающая несколько этапов, таких как сбор образцов, анализ с помощью органолептического метода, а также химический анализ и анализ методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье.

**Ключевые слова:** ИК-спектрометрия с Фурье-преобразованием, растительное масло, фритюрное масло.

### ВВЕДЕНИЕ

Использование растительного масла для приготовления пищи, особенно для жарки и приготовления во фритюре, является распространенной практикой во всем мире [1]. Оно используется и для приготовления еды в домашнем быту, и в общественных точках питания. В кафе и ресторанах жаркой во фритюре готовят такие блюда, как: кольца кальмаров в панировке, жареный сыр, сухарики чесночные, чипсы, креветки в салате «Цезарь», которые готовят также во фритюре, роллы темпура, куриные крылышки, нагетсы и картофель фри.

После использования, особенно многократного, такое масло обладает высоким содержанием канцерогенов, трансжиров и становится загрязненным остатками пищи. При неправильной утилизации оно может оказывать негативное влияние на человеческое здоровье и окружающую среду.

Растительное масло для приготовления пищи во фритюре может быть различных видов: подсолнечное, рапсовое, пальмовое, кунжутное, оливковое, многие другие рафинированные масла. На предприятиях общественного питания преимущественно используется масло подсолнечника из-за его более низкой стоимости относительно других масел.

Температура для жарки во фритюре должна быть от 150 до 220 °С [2]. Средняя температура жарки во фритюре составляет 170–190 °С, но бывают и специальные профессиональные масла, выдерживающие нагревание до 220 °С. Если вдруг масло начало кипеть, то продукт, готовящийся в нем, становится непригодным для употребления. В реальности многие

кафе и рестораны пренебрегают безопасным приготовлением продуктов, превышая температуру точки дымления.

Точка дымления – это определенная температура, при достижении которой масло начинает разрушаться, высвобождая свободные радикалы [3]. С этого момента в нем запускаются реакции по образованию токсичных и канцерогенных веществ, и оно становится непригодным к использованию. Канцерогены – химические вещества, воздействие которых повышает вероятность возникновения злокачественных образований в организме человека или животного. Так, например, выделяющиеся при жарке канцерогены повышают риск возникновения рака молочной железы [4]. Точка дымления для каждого вида масла разная. Например, у оливкового масла первого отжима (*extra virgin*) – 160 °C, а у рафинированного подсолнечного – 227 °C.

При продолжительной жарке продуктов во фритюре, превышающей ТД, качество масла значительно изменяется: оно начинает темнеть, приобретает резкий неприятный запах и горький привкус. В таком масле накапливаются вторичные термостабильные продукты окисления и сополимеризации, количество которых не должно превышать 1 %. Масло с массовой долей продуктов окисления более 1% считается непригодным для пищевых целей [5].

Сама молекула жира состоит из глицерина и трех остатков жирных кислот. В процессе жарки во фритюре жирные кислоты отделяются от глицериновой основы. Между тем, помимо свободных жирных кислот, вырабатываются различные продукты распада, такие как альдегиды, кетоны, лактоны и другие.

## **ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объект исследования – взятые в точках общественного питания и приобретенные в магазине образцы масла.

Предмет исследования – изменение химического состава фритюрного масла после жарки в течение различного времени.

## **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В современном мире, несмотря на активную популяризацию здорового низкокалорийного питания, блюда из фритюра не сдают свои позиции, и большинство предприятий быстрого питания по-прежнему рассматривают жарку во фритюре как одну из базовых технологий приготовления.

Цель исследования – оценка и анализ многократно использованного масла, рассмотрение его безопасности для потребителя, а также поиск возможных путей его утилизации и переработки.

Для достижения данной цели в работе были определены такие задачи, как:

- отбор образцов;
- выбор наиболее подходящего метода исследования;
- проведение реакции серебряного зеркала;
- исследование образцов с помощью ИК-спектрометра;
- проведение перэтерификации и омыления.

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Мы проанализировали следующие методы исследования, позволяющие узнать состав взятых нами образцов масла:

Атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) – метод количественного элементного анализа по атомным спектрам поглощения. Обычно этот метод используется для определения количества металлов в растворе.

Газовая хроматография – физико-химический метод разделения газовой смеси. Неподвижной фазой служит жидкость, нанесенная на инертный носитель, а подвижной – инертный газ.

ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье – метод анализа, основанный на записи инфракрасных спектров поглощения вещества. Поглощение происходит за счет колебания атомов в молекулах. Колебания бывают валентными и колебательными. Спектр излучения/поглощения уникален для определенного вещества, что и позволяет безошибочно определить его в ходе анализа. В нашей лаборатории КГТУ используется модель ФТ-801 фирмы «СИМЕКС».

Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) – особый вид абсорбционной спектроскопии. Суть заключается в том, что прибор регистрирует переходы между магнитными энергетическими уровнями атомных ядер вызываемые радиочастотным излучением. В основном используется для исследования структуры и свойств материалов.

Проанализировав существующие методы исследования, мы остановились на ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье, так как этот метод – наиболее подходящий для наших целей и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими перечисленными выше методами: большое оптическое пропускание, простая пробоподготовка, простота использования.

Основными методами исследования стали эксперимент и последующий анализ.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

### **Объекты исследования**

В ходе работы было проанализировано четыре образца использованного растительного масла из разных точек общественного питания: ресторанов и кафе быстрого питания, а также два образца подсолнечного масла – подвергнутого и не подвергнутого нагреванию в лабораторных условиях.

В ходе эксперимента в разных заведениях Калининграда и Калининградской области было собрано четыре образца растительного масла одного и того же вида. Отбор проб использованного масла производился при температуре масла 20 °С вечером в конце рабочего дня после отключения фритюра. Образцы были взяты пипеткой в разных частях самого прибора. Сроки использования и даты отбора указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Сроки использования и даты отборы исследуемого материала

Номер образца	Место отбора	Дата отбора	Срок использования	Вид масла
1	Ресторан, Зеленоградск	Ноябрь 2023 г.	1 день	Подсолнечное
2	Семейное кафе, Гурьевск	Ноябрь 2023 г.	3 дня	Подсолнечное
3	Банкетный ресторан, Зеленоградск	Декабрь 2023 г.	14 дней	Подсолнечное
4	Точка быстрого приготовления, Калининград	Декабрь 2023 г.	7 дней	Подсолнечное
5	Масло из торговой сети	Март 2024 г.	Нагрев после достижения точки дымления в течение 10 мин	Подсолнечное
6	Масло из торговой сети	Март 2024 г.	Масло не подвергалось нагреву	Подсолнечное

На рисунке 1 представлены образцы исследуемого масла. Слева направо образец № 1, образец № 4, образец № 2, образец № 3. Первый образец представляет собой масло из Зеленоградска. Оно имеет светло-желтый оттенок, прозрачное, подвергалось нагреву один день. Второй образец масла из Гурьевска, гораздо менее прозрачный, цвет красно-оранжевый, использовалось три дня. Третий образец из Зеленоградска, масло темно-коричневого цвета, непрозрачное, использовалось в работе 14 дней. Образец четыре взят в Калининграде, имеет насыщенный желтый оттенок, прозрачный.

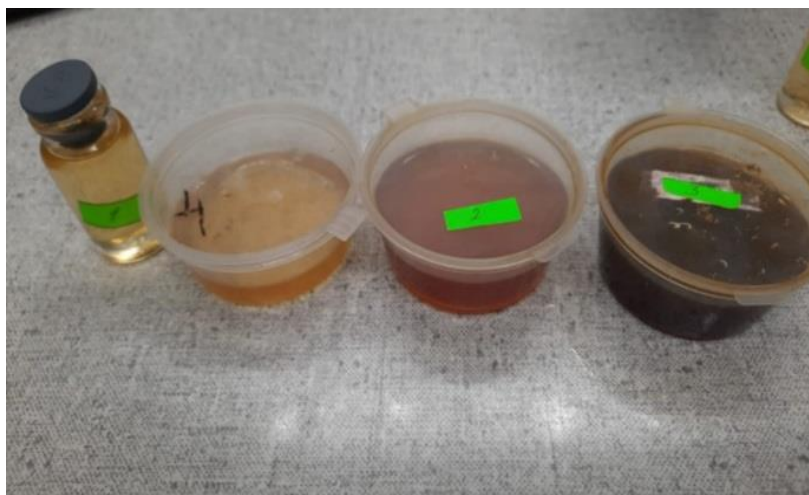


Рисунок 1 – Слева направо образец № 1, образец № 2, образец № 3, образец № 4

Также в ходе исследования было приобретено подсолнечное масло в торговой сети. Один образец (№ 5) этого масла подвергся нагреву после достижения точки дымления в течение 10 мин, второй образец этого масла (№ 6) не подвергался нагреву.

### **Исследование образцов химическими методами**

Одним из многих продуктов распада молекулы жира являются альдегиды. Чтобы выяснить, есть ли они во взятых образцах масла, мы провели реакцию серебряного зеркала – качественную реакцию на альдегидную группу. Суть реакции заключается во взаимодействии альдегидов с аммиачным раствором оксида серебра (реактивом Толленса) с образованием зеркального налета на стенках колбы.

Опыт проводился в лабораторных условиях. Мы взяли аммиачный раствор оксида серебра, соединили его с образцом масла № 3. После этого пробирку, в которой смешивались реагенты, поместили на водяную баню. Результата не последовало. Далее аналогичные опыты были проведены с остальными образцами с тем же результатом.

Таким образом, можно сделать вывод, что альдегидов ни в одном исследуемом образце масла нет.

### **Исследование образцов методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье**

Регистрация инфракрасных спектров образцов проводилась на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (производитель прибора научно-производственная фирма «СИМЕКС», г. Новосибирск).

Для снятия спектров применяли метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с использованием универсальной приставки НПВО. Образцы наносили непосредственно на кристалл приставки с помощью стеклянного шпателя. В качестве образцов были выбраны подсолнечное масло из сетей общественного питания (образцы № 1–4) и подсолнечное масло, нагреваемое до точки задымления в течение 10 мин (образец № 5). Спектры регистрировались при комнатной температуре. Диапазон сканирования составлял от  $500\text{ см}^{-1}$  до  $4\,000\text{ см}^{-1}$  при разрешении  $8\text{ см}^{-1}$ , число сканирования 36. Опорный спектр фонового воздуха снимался перед каждым сканированием образца. Спектры обработаны в программе ZaiR 3.5.

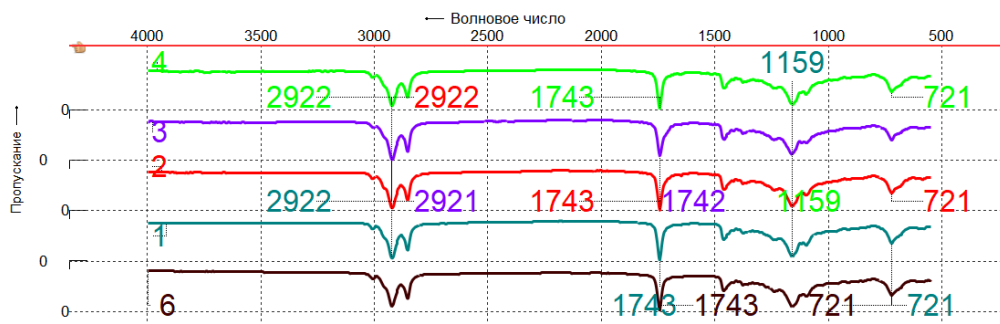


Рисунок 2 – Общий вид ИК спектров образцов № 1–4 и 6

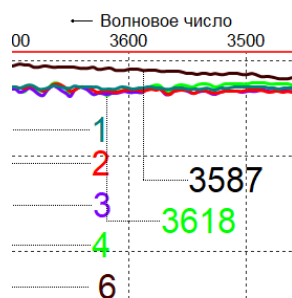


Рисунок 3 – Фрагмент спектров образцов № 1–4 и 6 в области 3610  $\text{cm}^{-1}$

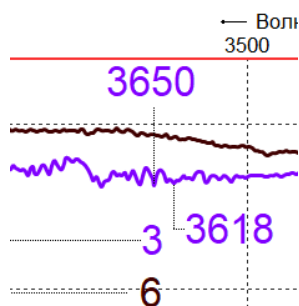


Рисунок 4 – Фрагмент спектров образцов № 3 и 6 в области 3610  $\text{cm}^{-1}$

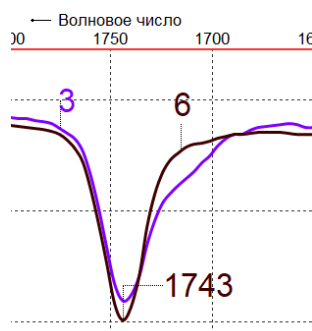


Рисунок 5 – Фрагмент спектров образцов № 3 и 6 в области 1743  $\text{cm}^{-1}$

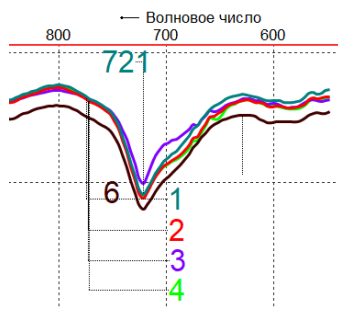


Рисунок 6 – Фрагменты спектров образцов № 1–4 и 6 в области 721  $\text{cm}^{-1}$

### Проведение переэтерификации

Переэтерификация (рандомизация) – химическая реакция обмена структурных элементов сложных эфиров и гидроксильных групп спиртов. Используется в пищевой промышленности для снижения температуры плавления жиров, повышения их пластичности и стабильности к окислению кислородом воздуха [6, 7].

Реакцию переэтерификации проводили в круглодонной колбе объемом 300 мл, оснащенной магнитной мешалкой и обратным холодильником. Нагрев реакционной смеси осуществляли с помощью электроплитки с регулируемой температурой, установленной под водяной баней.

Перед началом синтеза отработанное подсолнечное масло предварительно нагревали до температуры  $70 \pm 2$  °С для снижения его вязкости и улучшения гомогенизации с реагентом.

В нагретое масло при постоянном перемешивании (~500 об/мин) добавляли абсолютный этанол (массовая доля воды < 0,1 %) в мольном отношении масла к этанолу 1:8. Затем в реакционную смесь вносили катализатор – оксид кальция (CaO), предварительно прокаленный при 500 °С в течение 2 ч для удаления влаги и карбонатов. Катализатор добавляли в количестве, составляющем 5,0 % от массы масла. Реакцию переэтерификации проводили при температуре  $70 \pm 2$  °С в течение 60 мин при непрерывном перемешивании на тех же оборотах.

По окончании реакции смесь охлаждали до 40–50 °С и подвергали простой перегонке на водяной бане при атмосферном давлении для отгонки и рекуперации непрореагировавшего этанола.

Для очистки продукта к реакционной смеси добавляли 50 мл дистиллированной воды, тщательно перемешивали в течение 10–15 мин, а затем переносили в делительную воронку для разделения фаз. Масляный слой (верхний), содержащий целевые сложные эфиры, отделяли от водного слоя. При необходимости промывку водой повторяли до нейтральной реакции промывных вод.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам ИК-спектроскопии была определена принадлежность некоторых полос поглощения в пробах масла (таблица 2).

Таблица 2 – Полосы поглощения на ИК-спектрах проб масла

Волновое число, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$	Тип колебаний связей и/или группы атомов
724	Колебания группы $-\text{CH}_2-$
856	Полосы поглощения деформации транс-связи
1026	Полосы поглощения деформации цис-связи
1457–1096	Различные полосы поглощения алкильных цепей (симметричные и асимметричные угловые деформационные колебания $-\text{CH}_2-$ и $-\text{CH}_3$ )
1653	Валентные колебания связи $\text{C}=\text{C}$
1742	Валентные колебания $\text{C}=\text{O}$ в карбонильной группе сложных эфиров
3008–2857	Симметричные и асимметричные валентные колебания $\text{C}-\text{H}$ , $\text{H}-\text{C}-\text{H}$ и $-\text{CH}_3$
3610	Абсорбция $-\text{OH}$ -групп
3472	Валентные колебания связи $\text{C}-\text{H}$ в алкенах

Сравнение спектров обработанного масла со спектром свежего масла позволило сделать некоторые выводы.

Так, на рисунках 2–4 представлена полоса поглощения при  $3610 \text{ см}^{-1}$  для всех термически обработанных образцов. Такая полоса не была обнаружена в образце № 6. Эти различия могут указывать на гидролиз триглицеридов: разрыв сложноэфирных связей и высвобождение глицерина, моно/диацилглицерина и жирных кислот. Именно глицерин, моно/диацилглицерин содержат свободные  $\text{OH}$ -группы и способны поглощать около  $3610 \text{ см}^{-1}$ .

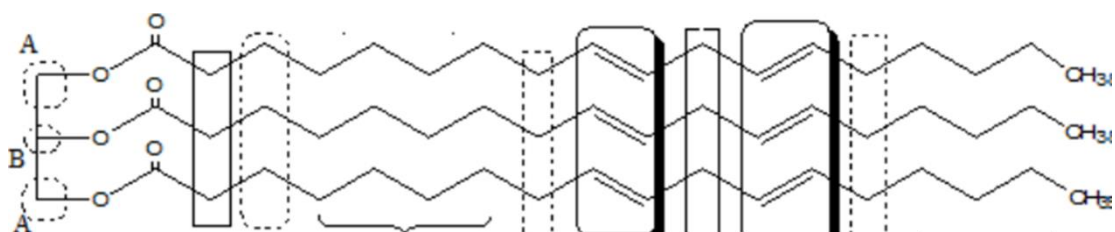


Рисунок 7 – Триглицерид линолевой кислоты

Также на рисунках 5 и 6 отмечается уменьшение интенсивности поглощения в области  $1743$  и  $721\text{ см}^{-1}$  для образцов, подвергнутых перегреву по сравнению со свежим маслом. Таким образом, анализ полос поглощения при  $3610$ ,  $1743$  и  $721\text{ см}^{-1}$  позволяет идентифицировать использованное масло или смеси использованного масла со свежим, от свежего масла.

Для решения проблемы утилизации масла его можно подвергать вторичной переработке, например производить биодизельное топливо или мыло.

### Биодизельное топливо

На рисунке 8 представлено сравнение ИК-спектров образца № 3 использованного масла, а также образца использованного масла, подвергнутого переэтерификации («биодизель»).

Сравнение спектров показывает, что произошло существенное изменение спектров в диапазоне  $1300\text{--}1000\text{ см}^{-1}$  колебания связей  $\text{C--O--C}$  в сложных эфирах. Также в образце «биодизеля» наблюдается появление широкой полосы поглощения в области  $3320\text{ см}^{-1}$ , характерной для спектра глицерина.

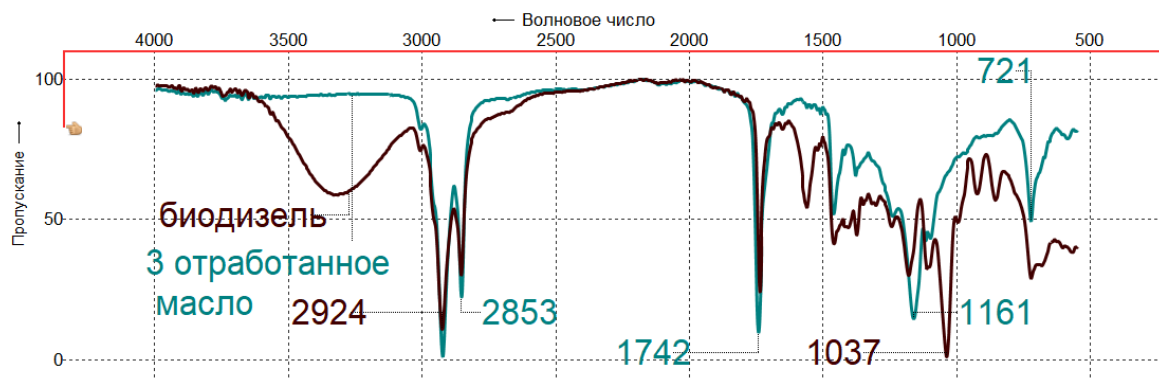


Рисунок 8 – Сравнение ИК-спектров образца № 3 и образца использованного масла, подвергнутого переэтерификации

Таким образом, можно заключить, что процесс переэтерификации в ходе описанной выше процедуры происходит, и образуются этиловые эфиры жирных кислот, которые можно использовать в качестве топлива.

### Мыловарение

Омыление – процесс превращения сложных эфиров жирных кислот в мыла и спирты под действием растворов щелочей (например, раствора гидроксида натрия). Мыла представляют собой соли жирных кислот, которые, в свою очередь, являются карбоновыми кислотами с длинными углеродными цепями [8].

Варили мыло по следующей технологии. Мы отфильтровали  $1\,000\text{ г}$  использованного подсолнечного масла от остатков пищи. Взяли гидроксид натрия массой  $150\text{ г}$  и воду в количестве  $380\text{ г}$ . Постепенно добавляли едкий натр в воду, аккуратно помешивая раствор до полного растворения соды. Далее раствор соды вливали в масло и снова помешивали.

Получившуюся смесь варили на электроплитке под вытяжкой в течение 60 мин, постоянно помешивая: постепенно получившаяся масса начала густеть и менять цвет. После этого продолжили варить еще на протяжении 20 мин до ее полного загустения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования установлено, что при чрезмерном нагреве масло подвергается термолизу, в результате чего разлагается на глицерин, карбоновые кислоты и другие побочные продукты, включая алкены, алкины и сложные эфиры. Эти компоненты оказывают токсическое воздействие на центральную нервную систему человека и могут негативно влиять на окружающую среду.

Кафе и рестораны зачастую продолжают использовать масло даже после того, как оно приходит в негодность, а также нередко неправильно утилизируют. Основная проблема заключается в недостаточном внимании к вопросам безопасной утилизации отходов использованного фритюрного масла, что приводит к загрязнению сточных вод и засорам в канализационных системах.

Для минимизации негативного воздействия масла на организм рекомендуется контролировать процесс нагрева и поддерживать температуру ниже точки дымления. В целях охраны окружающей среды необходимо обеспечить надлежащую переработку использованного масла, исключив его сброс в канализацию и предотвращая загрязнение водных ресурсов.

Перспективные направления дальнейших исследований включают разработку инновационных катализаторов для процесса переэтерификации, в частности, наногетерогенных систем на основе металлических оксидов и мезопористых материалов. Такие катализаторы способны повысить селективность реакции и упростить выделение целевых продуктов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saguy, I. S. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects / I. S. Saguy, D. Dana // *Journal of Food Engineering*. – 2003. – Vol. 56, № 2–3. – P. 143–152.
2. Султанович, Ю. А. Высокоолеиновое подсолнечное масло – основа для фритюрных масел и жиров / Ю. А. Султанович, Т. А. Духу // *Пищевая промышленность*. – 2012. – № 3. – С. 22–24.
3. Abrante-Pascual, S. Vegetable Oils and Their Use for Frying: A Review of Their Compositional Differences and Degradation / S. Abrante-Pascual, B. Nieva-Echevarría, E. Goicoechea-Oses // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, № 24.
4. Ganesan, K. Deep frying cooking oils promote the high risk of metastases in the breast-A critical review / K. Ganesan, B. Xu // *Food and Chemical Toxicology*. – 2020. – Vol. 144. – P. 111648.
5. Контроль качества фритюрного жира / Методические указания по лабораторному контролю качества продукции общественного питания (одобрены Минздравом СССР 23.10.1991 № 122-5/72, рекомендованы Минторгом СССР от 11.11.1991 № 1-40/3805) – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_94303/507ffb912f8d7bde2c59f2a62a3422e89b847717/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94303/507ffb912f8d7bde2c59f2a62a3422e89b847717/) (дата обращения: 05.10.2025).
6. Rehmanji, M. / M. Rehmanji, S. Suresh, A.A. Nesamma [et al.] / Chapter 26 – Microalgal cell factories, a platform for high-value-added biorenewables to improve the economics of the biorefinery / ed. by S. Das, H. R. Dash // *Microbial and Natural Macromolecules*. – 2021. – P. 689–731.
7. Переэтерификация как альтернативный способ модификации жиров, свободных от трансизомеров / О. А. Ивашина, Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова, М. А. Тарлюн // *Техника и технология пищевых производств*. – 2015. – № 3 (38). – С. 18–23.
8. Alum, B. N. Saponification Process and Soap Chemistry / B. N. Alum // *INOSR APPLIED SCIENCES*. – 2024. – Vol. 12, № 2. – P. 51–56.



## STUDY OF USED VEGETABLE OIL AFTER FRYING AND METHODS OF ITS PROCESSING

L. M. Demidova, 3st year student  
E-mail: lideskoko@rambler.ru  
Kaliningrad State Technical University

A. A. Chernyavskaya, 3st year student  
E-mail: nastasya.styuart@mail.ru  
Kaliningrad State Technical University

A. G. Bulichev, Candidate of Chemistry  
E-mail: aleksandr.bulychev@klgtu.ru  
Kaliningrad State Technical University

During the study, four samples of used vegetable oil from various public catering establishments (frequently visited restaurants and fast food cafés) have been analysed. A sample of sunflower oil that had been heat-treated in laboratory conditions and a sample that had not been heated have also been analysed. The study proposes ways to process and dispose of used oil. A standard methodology has been used to conduct the study, including several stages, such as sample collection, organoleptic analysis, chemical analysis, and Fourier transform infrared spectroscopy analysis.

**Keywords:** *Fourier transform infrared spectrometry, vegetable oil, frying oil.*