

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 темпURA, 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 °C [2]. Средняя температура жарки во фритюре составляет 170–190 °C, но бывают и специальные профессиональные масла, выдерживающие нагревание до 220 °C. 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 масловой 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 переэтерификации 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-спектрометрия 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».

Спектрометрия 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-спектрометрии 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, не-прозрачное, использовалось в работе 14 дней. Образец четыре взят в Калининграде, имеет насыщенный желтый оттенок, прозрачный.

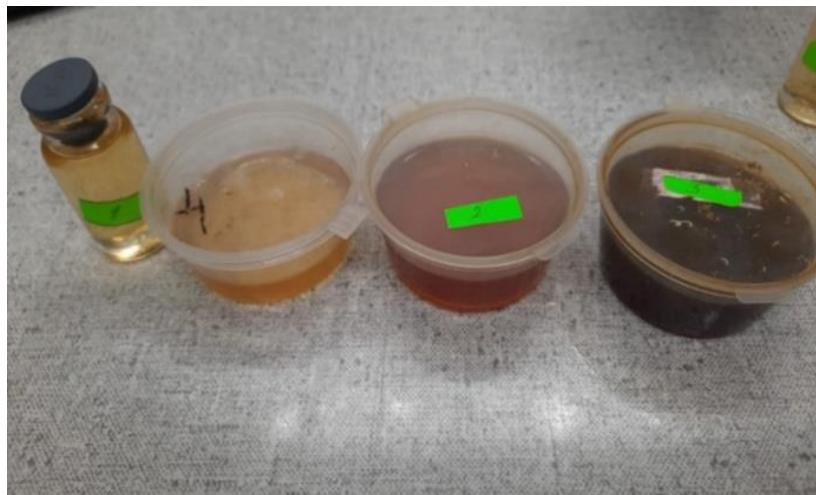


Рисунок 1 – Слева направо образец № 1, образец № 2, образец № 3, образец № 4

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 cm^{-1} до $4\,000\text{ cm}^{-1}$ при разрешении 8 cm^{-1} , число сканирования 36. Опорный спектр фонового воздуха снимался перед каждым сканированием образца. Спектры обработаны в программе ZAIR 3.5.

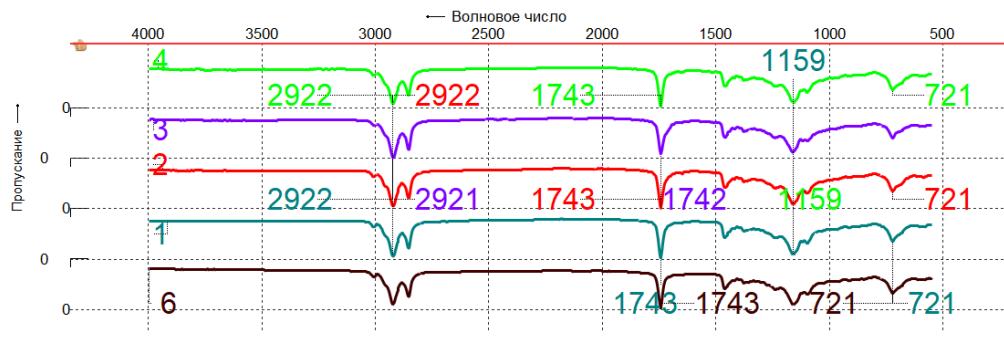


Рисунок 2 – Общий вид ИК спектров образцов № 1–4 и 6

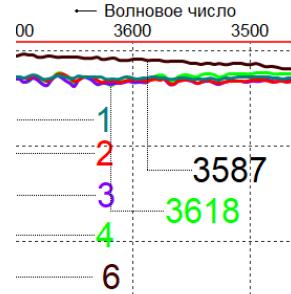


Рисунок 3 – Фрагмент спектров образцов № 1–4 и 6 в области 3610 см^{-1}

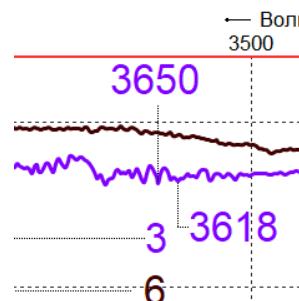


Рисунок 4 – Фрагмент спектров образцов № 3 и 6 в области 3610 см^{-1}

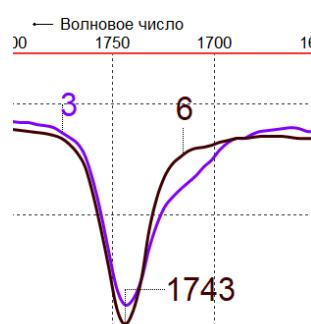


Рисунок 5 – Фрагмент спектров образцов № 3 и 6 в области 1743 см^{-1}

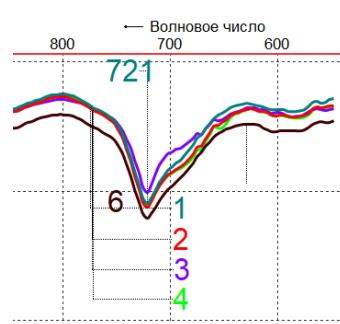


Рисунок 6 – Фрагменты спектров образцов № 1–4 и 6 в области 721 см^{-1}

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 ± 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 ± 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, ν , 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 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,mono/диацилглицерина и жирных кислот. Именно глицерин, mono/диацилглицерин содержат свободные OH-группы и способны поглощать около 3610 см^{-1} .

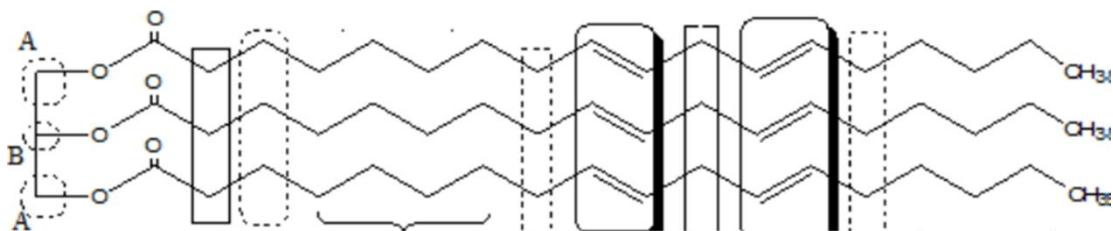


Рисунок 7 – Триглицерид линолевой кислоты

Также на рисунках 5 и 6 отмечается уменьшение интенсивности поглощения в области 1743 и 721 cm^{-1} для образцов, подвергнутых перегреву по сравнению со свежим маслом. Таким образом, анализ полос поглощения при 3610, 1743 и 721 cm^{-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 1300–1000 cm^{-1} колебания связей C–O–C в сложных эфирах. Также в образце «биодизеля» наблюдается появление широкой полосы поглощения в области 3320 cm^{-1} , характерной для спектра глицерина.

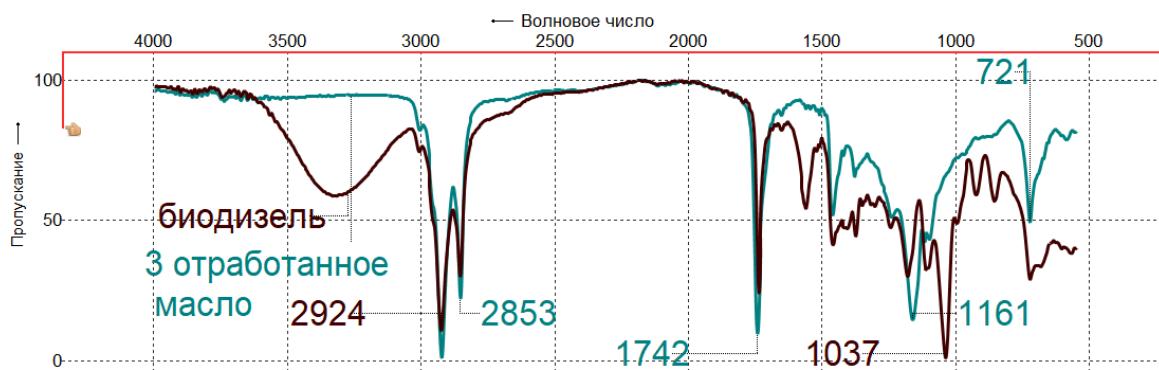


Рисунок 8 – Сравнение ИК-спектров образца № 3 и образца использованного масла, подвергнутого переэтерификации

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 г использованного подсолнечного масла от остатков пищи. Взяли гидроксид натрия массой 150 г и воду в количестве 380 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/ (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.*