

Научная статья
 УДК 534.6.08
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2025-1/175-180>

Предварительные результаты исследования зависимостей от температуры скорости и затухания звука в пищевых растительных маслах

Сергей Владимирович Горовой^{1, 2, ✉}, Владимир Иванович Короченцев¹, Евгения Николаевна Сальникова¹, Людмила Владимировна Губко¹, Татьяна Акрямовна Кузнецова¹

¹ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация

✉ gorovoy.sv@dvfu.ru

Аннотация. Описаны предварительные результаты исследования зависимости скорости и затухания звука от температуры в диапазоне 10–80 °С на частоте 2,5 МГц в в соевом и подсолнечном пищевых растительных маслах. Приведено описание использованной лабораторной установки. Данная установка может быть использована также для исследования зависимости скорости и затухания звука от температуры в жидкостях, моторных топливах, кормовых, моторных и промышленных маслах, пластических смазках и эмульсиях, в том числе в более широком диапазоне температур и на других частотах. В исследованных растительных маслах при изменении температуры от 10 до 80 °С скорость и затухание звука уменьшаются. После нагревания до 250 °С, выдержки и последующего охлаждения затухание звука в них увеличивается на 20 дБ и более. Увеличение затухания может быть использовано в качестве признака перегрева растительных масел и служить основанием для проверки качества, запрета применения в ряде кулинарных технологий и выбраковки.

Ключевые слова: скорость и затухание звука, лабораторная установка, растительные масла, контроль качества

Для цитирования: Горовой С.В., Короченцев В.И., Сальникова Е.Н., Губко Л.В., Кузнецова Т.А. Предварительные результаты исследования зависимостей от температуры скорости и затухания звука в пищевых растительных маслах // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2025. № 1(62). С. 175–180.

Original article

Preliminary results of the study of dependence of sound velocity and attenuation on temperature in edible vegetable oils

Sergey V. Gorovoy^{1, 2, ✉}, Vladimir I. Korochentsev¹, Evgeniya N. Salnikova¹, Ludmila V. Gubko¹, Tatyana A. Kusnetsova¹

¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

² V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

✉ gorovoy.sv@dvfu.ru

Abstract. Preliminary results of the study of the dependence of sound velocity and attenuation on temperature in the range of 10–80 °C at a frequency of 2.5 MHz in soybean and sunflower edible vegetable oils are descri-

bed. A description of the laboratory installation used is given. This device can also be used to study the dependence of sound velocity and attenuation on temperature in liquids, motor fuels, feed, engine and industrial oils, plastic lubricants and emulsions, including in a wider range of temperatures and at other frequencies. In the studied vegetable oils, when the temperature changes from 10 to 80 °C, the speed and attenuation of the sound decrease. After heating up to 250 °C, exposure and subsequent cooling, the attenuation of sound in them increases by 20 dB or more. An increase in attenuation can be used as a sign of overheating of vegetable oils and serve as a basis for quality control, prohibition of use in a number of culinary technologies and rejection.

Keywords: sound velocity and attenuation, laboratory setup, vegetable oils, quality control

For citation: Gorovoy S.V., Korochchentsev V.I., Salnikova E.N., Gubko L.V., Kusnetsova T.A. Preliminary results of the study of dependence of sound velocity and attenuation on temperature in edible vegetable oils. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2025, no. 1(62), pp. 175–180. (In Russ.).

Введение

Использование ультразвуковых методов позволяет оценивать, в том числе в производственных и полевых условиях, ряд характеристик пищевых, моторных и промышленных масел, эмульсий, топлив и др., не прибегая к тонким и дорогостоящим микроскопическим исследованиям. Наиболее предпочтительными методами ультразвуковых исследований (как с точки зрения простоты реализации, так и с точки зрения важности получаемых результатов) являются исследования зависимостей скорости и поглощения плоских звуковых волн от частоты, температуры и давления [1, 2].

В [2] описан ряд соотношений, устанавливающих связи между экспериментально измеряемыми макроскопическими величинами – скоростью звука и поглощением звука, определяющими их молекулярными свойствами и процессами. Эти соотношения позволяют проверять правильность молекулярных представлений об исследуемых веществах.

Скорость звука c , м/с, в однородных газообразных и жидких средах определяется соотношением

$$c = \sqrt{\frac{1}{\beta_a \rho}} = \sqrt{\frac{1}{\beta_T \rho} \frac{C_p}{C_V}} \quad (1)$$

где ρ – плотность, β_a – адиабатическая сжимаемость, β_T – изотермическая сжимаемость, C_p и C_V – теплоёмкости при постоянном давлении и постоянной температуре [2].

Скорость звука в идеальных многокомпонентных смесях определяется соотношением

$$1/c^2 = \left(\sum_{i=1}^N \varphi_i \rho_i \right) \left(\sum_{i=1}^N \varphi_i \beta_{Ti} \right), \quad (2)$$

где φ_i – объёмная доля i -й компоненты, N – кол-во компонент [1].

Пищевые растительные масла являются сложной смесью триглицеридов, фосфолипидов, свободных жирных кислот, восков, стеролов, витаминов и пр. Часть триглицеридов и др. веществ, входящих в растительные масла, находится в жидком состоянии, другие – образуют линейные и объёмные цепочки, поверхностные, объёмные и кристаллические структуры, которые могут обратимо или необратимо изменяться и перестраиваться, а также разрушаться при изменениях температуры и давления [1]. Поэтому соотношения (1) и (2) могут использоваться для оценивания скорости звука в пищевых растительных маслах только как ориентировочные. Некоторые результаты измерения скорости звука в растительных маслах приведены в [3–5].

Затухание звука в растительных маслах обусловлено рядом одновременно действующих и не полностью изученных физико-химических механизмов в высокомолекулярных соединениях, а также спецификой молекулярных эффектов, наблюдаемых у триглицеридов. Его количественное описание затруднено. Результаты построения физических моделей, описывающих затухание звука в вязких жидкостях (обобщения модели Стокса) к растительным маслам неприменимы даже в качестве ориентировочных [2, 4]. В нормативных документах, устанавливающих показатели качества растительных масел (ГОСТ 18848-73 Масла растительные.

Показатели качества. Термины и определения; ГОСТ 21314-2020 Масла растительные. Производство. Термины и определения) акустическим методам исследования качества должного внимания не уделяется.

В высококачественных технических жидкостях, моторных и промышленных маслах, имеющих контролируемую однородную структуру, присутствуют специальные добавки, уменьшающие зависимость их свойств от температуры и давления в нормальных условиях эксплуатации. Отдельные результаты измерений скорости и затухания звука в технических жидкостях и промышленных маслах приведены в [6].

Лабораторная установка

Использованная в данной работе лабораторная установка представляет собой закреплённый вертикально в лабораторном штативе отрезок металлической толстостенной трубы высотой 100 мм и внутренним диаметром 42 мм. Внутренняя полость трубы заполняется исследуемым маслом. Для возбуждения и приёма плоских ультразвуковых волн в исследуемом масле используется устанавливаемый в верхней части трубы круглый плоский поршневой пьезоэлектрический преобразователь. Нижняя граница заполненной маслом области – плоская и абсолютно мягкая с точки зрения акустики (граница масло – воздух). Она реализована с помощью плёнки толщиной 0,05 мм из фторопласта-4 ГОСТ 10007-80, герметично закрывающей нижнее отверстие трубы. Для измерения скорости звука в масле используется импульсный метод и ударное возбуждение пьезопреобразователя с резонансной частотой 2,5 МГц. Скорость звука в масле оценивается путём деления удвоенного расстояния между поверхностью пьезопреобразователя и акустически мягкой границей на время прихода первого отражённого от неё импульса. Затухание звука в масле оценивается по отношениям амплитуд, многократно отражённых от поверхности пьезопреобразователя и абсолютно мягкой границы импульсов. Для изменения температуры вся установка помещается в лабораторный термостат. Среднеквадратическая погрешность установки и поддержания температуры составляет ± 1 °С, неравномерность распределения температуры в масле не превышает ± 1 °С. Основными источниками погрешностей являются неравномерность распределения температуры в масле, неоднородность и неизвестная зависимость макро- и микроструктуры масла от скорости изменения температуры, растворённого в масле воздуха и влаги. Для уменьшения погрешностей желательно понижать скорость изменения температуры, но при этом в исследуемом масле будут наблюдаться дополнительные трудно учитываемые молекулярные эффекты, приводящие к увеличению разброса результатов при многократных измерениях. Оценённая с использованием дистиллированной воды [7] среднеквадратическая погрешность измерения скорости звука составляет ± 10 м/с.

Результаты исследований

На рисунке 1 показаны усреднённые по трём измерениям зависимости скорости звука от температуры: сплошная линия – масло соевое рафинированное «Маслава» (ТУ 9141-901-48847668-2015), пунктирная линия – этот же образец масла соевого «Маслава» после нагревания и выдержки в течении 5 минут при температуре 300 °С (имитация перегрева при жарке в масле), штрих-пунктирная линия – масло подсолнечное рафинированное «Золотое зёрнышко» (ГОСТ 1129-2013).

Приведённые результаты следует рассматривать как предварительные, предназначенные для оценивания возможностей выполнения измерений с использованием данной установки. Использованные образцы масла не были подвергнуты предварительной подготовке: перед проведением измерений процеживание, центрифугирование, обезвоживание, вакуумирование, контроль кислотности масла и др. обычно применяемые операции не производились. Исследуемые масла приобретались в торговой сети и заливались в установку так, чтобы избежать образования заметных глазу пузырьков воздуха, после чего аккуратно перемешивались в течении 30 с.

Тем не менее видно, что в диапазоне температур от 20 до 70 °С результаты измерений группируются вокруг прямой линии с отрицательным наклоном порядка 3 м/с на 1 °С, что в целом соответствует известным представлениям о температурной зависимости скорости звука в маслах [2].

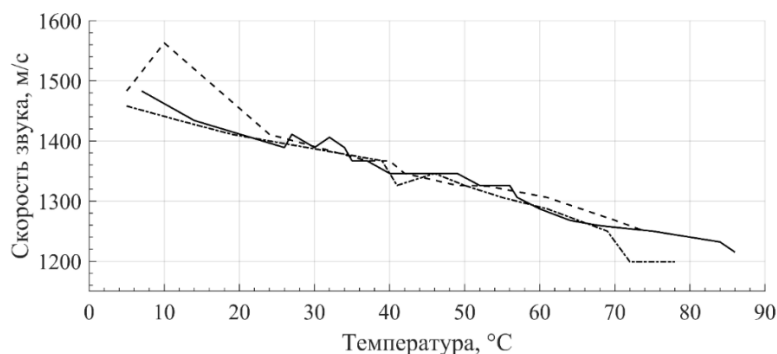


Рис. 1. Зависимости скорости звука от температуры: сплошная линия – масло соевое «Маслава», пунктирная линия – масло соевое «Маслава» после нагревания и выдержки в течение 5 минут при температуре 300 °С, штрих-пунктирная линия – масло подсолнечное «Золотое зёрнышко»

Fig. 1. Dependence of the speed of sound on temperature: solid line – soybean oil “Maslava”, dotted line – soybean oil “Maslava” after heating and aging in for 5 minutes at a temperature of 300°C, dash-dotted line – sunflower oil “Golden Seed”

Затухание звука в исследованном образце подсолнечного масла больше, чем в образце соевого масла, что обусловлено другим составом содержащихся в нём триглицеридов и высокомолекулярных соединений. После нагревания до температуры 300 °С выдержки в течение 5 минут (имитация перегрева масла) и последующего охлаждения затухание звука в исследуемых маслах возросло более чем на 20 дБ, что свидетельствует о произошедших в них необратимых изменениях молекулярной структуры. Столь значительное увеличение затухания может быть использовано в качестве доказательства факта перегрева растительных масел, запрета их применения в ряде кулинарных технологий и выбраковки. Для уточнения количественных показателей затухания звука и методики их измерений, которые могут быть использованы в качестве контрольных показателей, свидетельствующих о перегреве масла, необходимы дополнительные исследования.

Заключение

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Используемая в данной работе установка, несмотря на свою простоту, позволяет выполнять измерения скорости и затухания звука в пищевых и кормовых растительных маслах как с целью формирования дополнительных контрольных показателей и критериев их применимости, так и проверки соответствия этим критериям в процессе приготовления пищи и корма для животных, не заменяя требований государственных стандартов и санитарных норм.
2. В диапазоне температур от 20 до 80 °С результаты измерений скорости звука в исследованных маслах группируются вокруг прямой линии с отрицательным наклоном порядка 3 м/с на 1 °С, что в целом соответствует известным представлениям о температурной зависимости скорости звука в маслах.
3. Увеличение затухания может быть использовано в качестве признака перегрева растительных масел и служить основанием для проверки качества, оценки пригодности для дальнейшего использования, запрета применения в ряде кулинарных технологий и выбраковки.
4. Для уменьшения разброса результатов измерения скорости и затухания звука в образцах растительных масел представляется целесообразным перед выполнением измерений выполнять их отстаивание, удаление осадка, центрифугирование, обезвоживание и вакуумирование.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

С.В. Горовой – разработка экспериментальной установки, участие в проведении экспериментов, анализ результатов экспериментов; В.И. Короченцев – разработка теоретических вопросов, анализ результатов экспериментов; Е.Н. Сальникова – участие в проведении экспериментов, оценивание погрешностей измерений, обработка результатов экспериментов, анализ результатов экспериментов; Л.В. Губко – участие в проведении экспериментов, обработка результатов экспериментов, анализ результатов экспериментов; Т.А. Кузнецова – участие в проведении экспериментов, обработка результатов экспериментов.

S.V. Gorovoy – development of the experimental setup, participation in experiments, analysis of experimental results; V.I. Korochentsev – development of theoretical issues, analysis of experimental results; E.N. Salnikova – participation in experiments, evaluation of measurement errors, processing of experimental results, analysis of experimental results; L.V. Gubko – participation in experiments, processing of experimental results, analysis of experimental results; T.A. Kuznetsova – participation in experiments, processing of experimental results.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. McClements D.J., Povey M. Ultrasonic analysis of edible fats and oils // *Ultrasonics*. 1992. № 30(6). P. 383.
2. Михайлов И.Г., Соловьев В.А., Сырников Ю.П. Основные проблемы современной молекулярной акустики // *Акустический журнал*. 1958. Т. IV, № 3. С. 211–222.
3. Javanaud C., Rahalkar R.R. Velocity of sound in vegetable oils // *Lipid/Fett*. 1988. Vol. 90, № 2. P. 73–75. DOI: <https://doi.org/10.1002/lipi.19880900208>
4. Rekha E., Jeevakumar R. Variation of ultrasonic velocity and a few acoustic parameters as a function frequency in some commonly used edible oils // *International Journal For Multidisciplinary Research*. 2024. Vol 6. Iss. 3. DOI: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i03.20438>
5. Ali S.K.M., Ali B. Velocity of ultrasounds in commonly used vegetable oils at low frequencies // *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2014. Vol. 3, № 5. P. 1803–1809.
6. Михайлов И.Г., Полуниин В.М. Скорость ультразвука в некоторых жидкостях в зависимости от различных параметров состояния // *Акустический журнал*. 1974. № 2. С. 68–73.
7. Таблица стандартных справочных данных. Госстандарт России. ГСССД190-2000. М.: Изд-во стандартов, 2000.

REFERENCES

1. McClements D.J., Povey M. Ultrasonic analysis of edible fats and oils. *Ultrasonics*, 1992, no. 30(6), p. 383.
2. Mikhailov I.G., Soloviev V.A., Syrnikov Yu.P. Main problems of modern molecular acoustics. *Acoustical Physics*, 1958, vol. IV, no. 3, pp. 211–222. (In Russ.).
3. Javanaud C., Rahalkar R.R. Velocity of sound in vegetable oils. *Lipid/Fett*, 1988, vol. 90, no. 2, pp. 73–75. DOI: <https://doi.org/10.1002/lipi.19880900208>
4. Rekha E., Jeevakumar R. Variation of ultrasonic velocity and a few acoustic parameters as a function frequency in some commonly used edible oils. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 2024, vol 6, iss. 3. DOI: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i03.20438>
5. Ali S.K.M., Ali B. Velocity of ultrasounds in commonly used vegetable oils at low frequencies. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 2014, vol. 3, no. 5, pp. 1803–1809.
6. Mikhailov I.G., Polunin V.M. Ultrasonic velocity in some liquids depending on various state parameters. *Acoustical Physics*, 1974, no. 2, pp. 68–73. (In Russ.).
7. The Table of standard reference data. Gosstandart of Russia. GSSSD190-2000. Moscow: Standards Publishing House, 2000. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Горовой Сергей Владимирович – доцент департамента электроники, телекоммуникаций и приборостроения, Дальневосточный федеральный университет; старший инженер, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН (Владивосток, Российская Федерация).

✉ gorovoy.sv@dvfu.ru

Sergey V. Gorovoy, Associate Professor, Department of Electronics, Telecommunications and Instrument Engineering, Far Eastern Federal University; Senior Engineer, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS (Vladivostok, Russian Federation).

Короченцев Владимир Иванович – доктор физико-математических наук, профессор департамента электроники, телекоммуникаций и приборостроения, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация).

✉ vcoroch@mail.ru

Vladimir I. Korochchentsev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Electronics, Telecommunications and Instrument Engineering, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Сальникова Евгения Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент департамента электроники, телекоммуникаций и приборостроения, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация).

✉ salnikova.en@dvfu.ru

Evgeniya N. Salnikova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Electronics, Telecommunications and Instrument Engineering, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Губко Людмила Владимировна – ассистент департамента электроники, телекоммуникаций и приборостроения, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация).

✉ gubko.lv@dvfu.ru

Ludmila V. Gubko, Assistant, Department of Electronics, Telecommunications and Instrument Engineering, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Кузнецова Татьяна Акрямовна – магистрант 1 года, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация).

✉ kuznetcova.tak@dvfu.ru

Tatyana A. Kusnetsova, Master's Student, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Статья поступила в редакцию / Received: 20.02.2025.

Доработана после рецензирования / Revised: 12.03.2025.

Принята к публикации / Accepted: 18.03.2025.