

**ISSN 2073-3569**

# **ХЛЕБОПЕЧЕНИЕ РОССИИ**

# **BAKERY OF RUSSIA**

**2023**

**№ 3**

## **Главный редактор журнала**

Битус Евгений Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной механики и инжиниринга технических систем, Российский биотехнологический университет, Москва, Россия.

## **Заместитель главного редактора**

Омельченко Олег Михайлович – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры управления бизнесом и сервисных технологий, Российский биотехнологический университет, Москва, Россия.

## **Выпускающий редактор**

Забайкин Юрий Васильевич – кандидат экономических наук, доцент, аналитик, научно-образовательный центр новых информационно-аналитических технологий, аналитики систем управления и организации, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва, Россия; доцент кафедры управления бизнесом и сервисных технологий, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия; специалист по организации научно-исследовательской работы, отдел проектной деятельности и подготовки кадров высшей квалификации, Московский государственный гуманитарно-экономический университет, Москва, Россия.

## **Редакционная коллегия**

Алехина Надежда Николаевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Белявская Ирина Георгиевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия.

Березина Наталья Александровна – доктор технических наук, доцент, проректор по цифровизации, научной и инновационной деятельности, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, Орел, Россия.

Ильина Ольга Александровна – доктор технических наук, профессор, ректор, Международная промышленная академия, Москва, Россия.

Жаркова Ирина Михайловна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Жиров Михаил Вениаминович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной автоматики, Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского, Москва, Россия.

Казарцев Дмитрий Анатольевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, бродильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского, Москва, Россия.

Краснов Андрей Евгеньевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии», Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского, Москва, Россия.

Краус Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО «Ирекс», вице-президент Российского союза пекарей, председатель правления Союза производителей пищевых ингредиентов, председатель рабочей группы по аграрной и пищевой промышленности при Российско-Германской внешнеторговой палате, Барнаул, Россия.

Магомедов Газибег Омарович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Макаров Сергей Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии пищевых продуктов и биотехнологии, Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия.

Налиухин Алексей Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия.

Никитин Игорь Алексеевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского, Москва, Россия.

Пономарева Елена Ивановна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Росляков Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии, Кубанский государственный технический университет, Краснодар, Россия.

## СОДЕРЖАНИЕ

Артём Сергеевич Ануров, Наталья Васильевна Лабутина, Денис Максимович Колмыков Исследование влияния низкотемпературной обработки на зерно пшеницы	6
Денис Павлович Беляев Не хлебом единым: вопросы продовольственного снабжения арктических экспедиций XVIII – XX вв.	15
Дмитрий Иванович Борисенко Распространение акустического излучения в зерновой массе пшеницы	26

## CONTENTS

Artem S. Anurov, Natalia V. Labutina, Denis M. Kolmykov Study of the effect of low-temperature processing on wheat grain	6
Denis P. Belyaev Not by bread alone: issues of food supply for Arctic expeditions of the 18th – 20th centuries	15
Dmitry I. Borisenko Propagation of acoustic radiation in the grain mass of wheat	26

## Исследование влияния низкотемпературной обработки на зерно пшеницы

### **Артём Сергеевич Ануров**

Российский биотехнологический университет  
Москва, Россия  
anurov.artiom@mail.ru  
ORCID 0009-0007-4147-7453

### **Наталья Васильевна Лабутина**

Доктор технических наук  
Российский биотехнологический университет  
Москва, Россия  
labutinav@mail.ru  
ORCID 0000-0000-0000-0000

### **Денис Максимович Колмыков**

Российский биотехнологический университет  
Москва, Россия  
kolmykowdenis@mail.ru  
ORCID 0009-0002-1565-5387

Поступила в редакцию 12.04.2023

Принята 15.06.2023

Опубликована 15.09.2023

УДК 633.11:662.767

EDN EEBPEL

ВАК 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

### **Аннотация**

Низкотемпературная обработка – перспективное направление в мировой пищевой промышленности. Метод используются для производства хлеба и хлебобулочных изделий, позволяя продлить срок хранения и обеспечить возможность транспортировки продукта в замороженном виде. В России цельнозерновые хлебобулочные изделия всё более востребованы благодаря высокой энергетической ценности, витаминам, минералам и растительным волокнам, содержащимся в зерне. Низкотемпературная обработка способствует сохранению этих качеств при производстве хлебобулочных изделий из цельного зерна. Благодаря процессу низкотемпературной обработки зерна можно получить зерновой полуфабрикат, из которого готовят цельнозерновые хлебобулочные изделия. Однако особенности влияния низкотемпературной обработки на зерно до сих пор не были изучены. С целью их изучения был проведён ряд исследований. Для начала определили оптимальное время замачивания зерна, затем зерна подвергали низкотемпературной обработке со снятием показателей изменения температур в ходе замораживания и размораживания. По результатам исследования было определено, что минимальное время замачивания зерна пшеницы «Орловское 32» составляет 16 часов. Показательные графики, построенные после низкотемпературной обработки зерна, показали, что начиная с 3-го цикла фазовый переход проходит со значительным снижением разницы температуры и скорости замораживания, но при каждом новом цикле скорость начала замораживания увеличивается. По результатам исследования была выдвинута и рассмотрена гипотеза о криогенном разрушении веществ зерна пшеницы при замораживании и размораживании в несколько циклов.

### **Ключевые слова**

зерно, зерновое сырьё, заморозка, дефростация, разрушение.

### **Введение**

Одним из перспективных и развивающихся направлений в мировой пищевой промышленности является низкотемпературная обработка зернового сырья. В настоящее время данное направление широко изучается и используется в технологии производства хлеба и хлебобулочных изделий (Лабутина, 2004). Благодаря методу низкотемпературной обработки стало возможным как продлить срок хранения, так и обеспечить возможность транспортировки хлебопродуктов на удалённые точки реализации в замороженном виде (Герасимова, 2019).

Кроме того, в последние годы в России всё более востребованными становятся цельнозерновые хлебобулочные изделия с включением зёрен с зародышем и семенными оболочками пшеницы. Такой хлеб обладает высокой энергетической ценностью, содержат витамины, минеральные вещества и растительные волокна (Грязина, 2015). При этом экспертиза показала, что, так или иначе, в процессе производства муки, после ряда технологических операций наблюдается снижение энергетической и биологической ценности конечного продукта по сравнению с исходным сырьём (Калмыкова, 2016).

Низкотемпературная обработка цельных зерен также оказывает влияние на качество готового хлеба (Кунашева, 2019) и, в частности, метод криогенного разрушения внутренней структуры зерна, итогом применения которого является зерновой полуфабрикат, необходимый для изготовления цельнозерновых хлебобулочных изделий.

В данной статье рассмотрены особенности влияния низкотемпературной обработки на свойства зерна пшеницы. Проведены детальные исследования в этом направлении, результаты которых в дальнейшем поспособствуют улучшению технологического процесса производства цельнозерновых хлебобулочных изделий, а также помогут разработать более эффективный метод обработки зерна.

### **Материалы и методы исследования**

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: установить оптимальное время замачивания зерна пшеницы, провести низкотемпературную обработку зерна после замачивания со снятием показателей изменения температур в ходе замораживания и размораживания и проанализировать полученные результаты.

В исследовании использовались:

Зерно пшеницы «Орловское 32», озимой, мягкой ГОСТ 9353-2016;

Дистиллированная вода ГОСТ Р 58144-2018

Оборудование:

Влагомер AND ML 50;

Термометр сопротивления RGK СТ-12 прошедшим проверку с термопарами хромель-алюмель;

Ларь шоковой заморозки

Инструменты:

Для математической обработки первичных данных применялась программное обеспечение Loginom;

Для построения графических изображений (графиков) применялся MS Excel.

Для проведения исследования применялись стандартные и специальные методы исследования. К стандартным методикам относится определение влажности ГОСТ 13586.5-2015, к специальным – определение температуры эндосперма зерна при замораживании.

Первым этапом процедуры исследования стало определение влажности зернового сырья.

Для этого зерно предварительно замачивалось в дистиллированной воде в течение разного времени в интервале от 1 до 24 часов при температуре 20-22 °С, после чего избыток влаги на

поверхности зерновой массы удаляли с помощью фильтровальной бумаги и определяли влажность зерна путём его высушивания до постоянной массы при 105 °С.

Для исследования влияния низкотемпературной обработки на зерно пшеницы использовался термометр, оснащённый игольчатой термопарой типа хромель-алюмель. В центр эндосперма зерновки, после замачивания в дистиллированной воде и удаления избытка влаги, вводилась термопара. После этого зерно с термопарой подвергалось процессу замораживания в установке шоковой заморозки (Рощина, 2020). Конечная температура процесса замораживания была принята равной -18 °С, поскольку дальнейшее замораживание считается нецелесообразным для производственной деятельности предприятий по приготовлению хлеба и хлебобулочных изделий. Размораживание происходило при температуре 21 °С, давлении  $98 \cdot 10^3$  Па (735 мм рт.ст.) до момента установления равенства температур окружающей среды и температуры в центре зерновки.

После чего осуществлялась математическая обработка полученных в ходе исследования данных.

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим анализ полученных в ходе исследования данных.

Процесс аппроксимации полученных данных с использованием метода обработки «Вейвлет-сглаживание» был выполнен с применением программы Logipom. Аппроксимированные данные были импортированы в программу MS Excel, на основе которых были построены графики.

По результатам проведённого исследования по замачиванию зерна были получены следующие графические изображения.

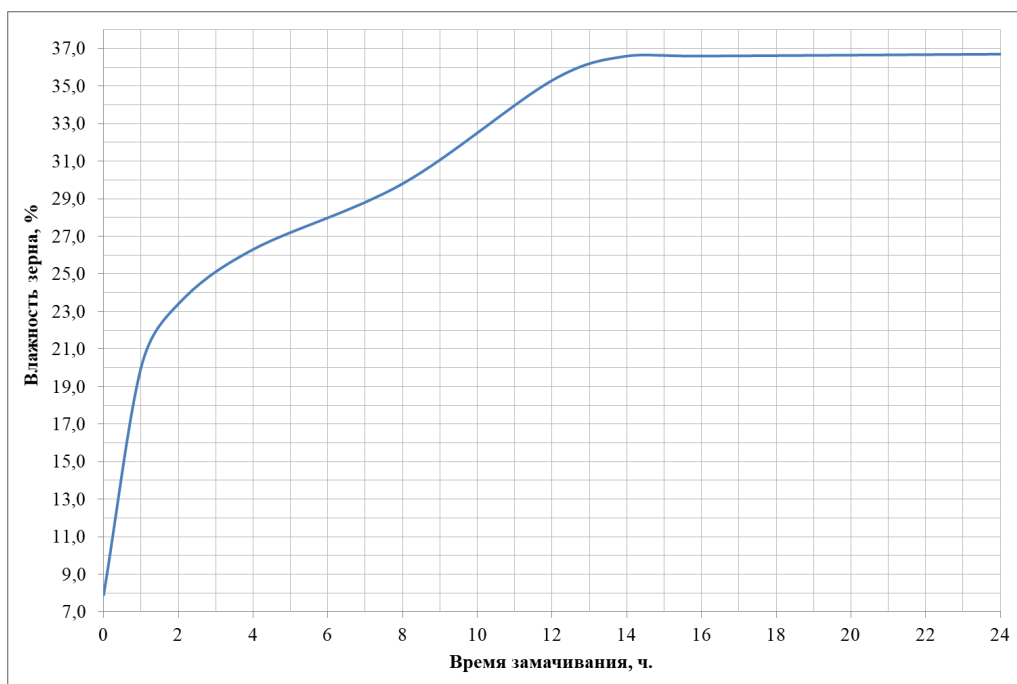


Рисунок 1. График зависимости влажности зерна от времени замачивания.

На рисунке 1 показан алгоритм изменения влажности зерна, где по оси абсцисс отложено время замачивания зерна, выраженное в часах, а по оси ординат отображены показатели влажности зерна в процентах влаги относительно массы навески.



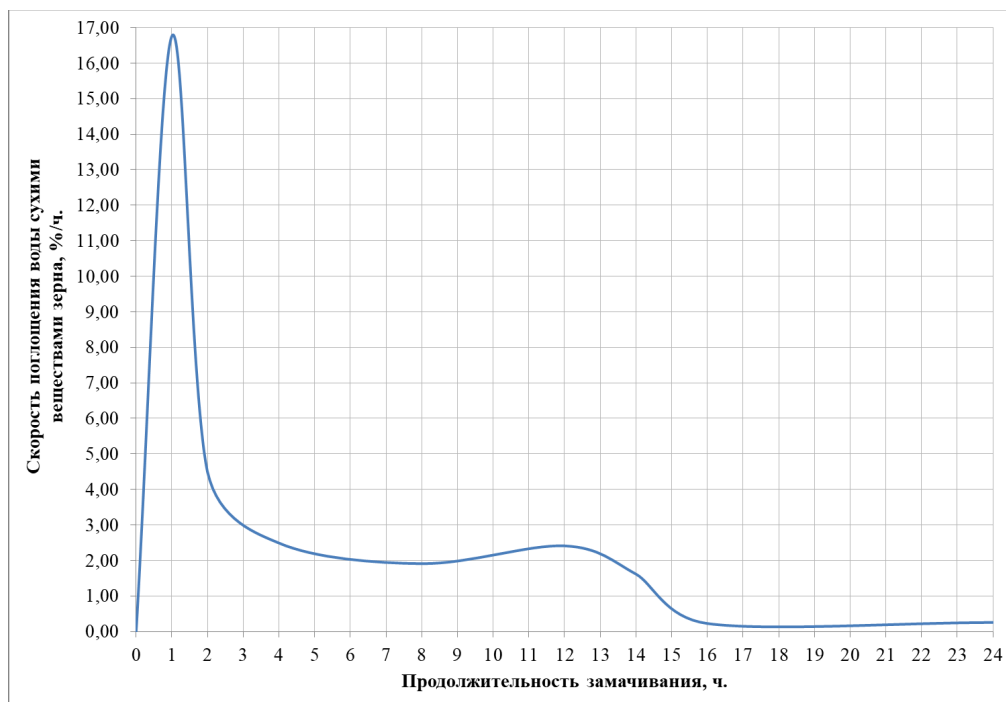


Рисунок 2. График изменения скорости поглощения воды сухими веществами зерна.

На рисунке 2 показано изменение скорости связывания воды различными сухими соединениями зерна пшеницы. По оси абсцисс отмечена продолжительность замачивания зерна в часах, а по оси ординат – скорость поглощения воды сухими веществами зерна в %/ч.

По результатам исследования зерна в процессе его замораживания и размораживания были получены следующие графические изображения.

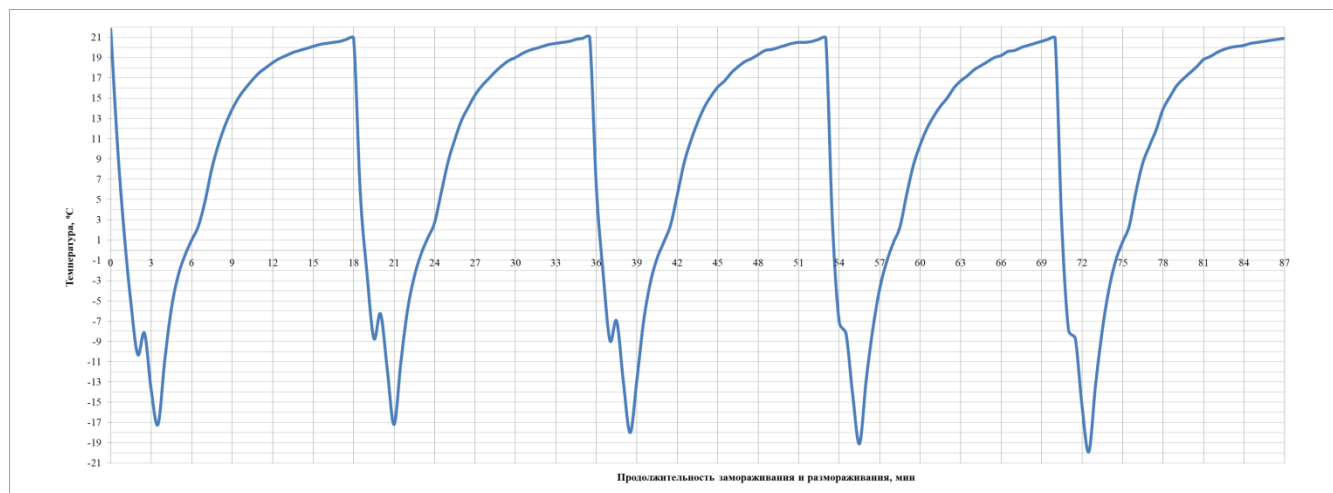


Рисунок 3. График изменения температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания

На рисунке 3 изображена зависимость изменения температуры эндосперма зерна в процессе низкотемпературной обработки. По оси абсцисс отложено время замораживания и размораживания зерна пшеницы, по оси ординат показана температура, выраженная в °C.

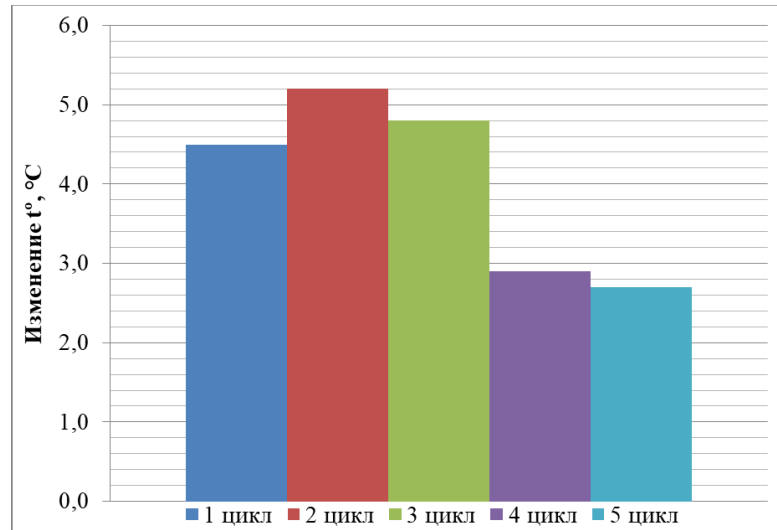


Рисунок 4. Изменение температуры эндосперма зерна в момент фазового перехода процесса замораживания при каждом цикле заморозки.

Рисунок 4 представляет собой столбчатую диаграмму, столбцы которой отображают изменение температуры эндосперма зерна при каждом цикле замораживания, где по оси абсцисс отложена разность минимальной температуры от максимальной, взятой по модулю в момент фазового перехода.

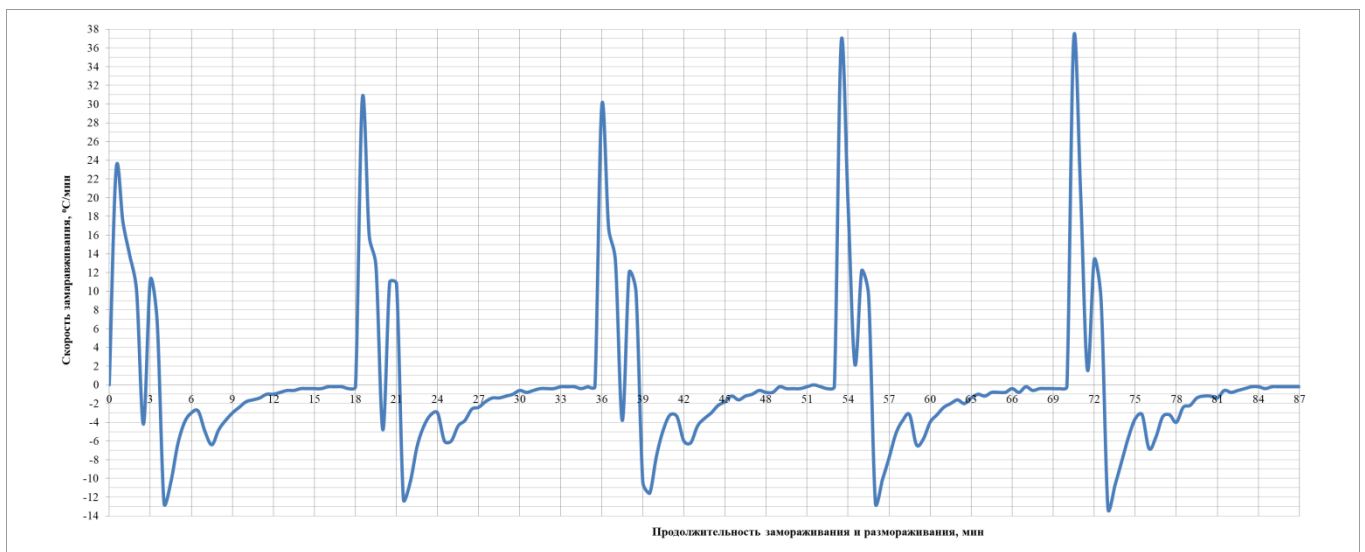


Рисунок 5. График изменения скорости температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания.

Рисунок 5 отображает кривую изменения скорости температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания в течении пяти циклов, где по оси абсцисс отложено время замораживания и размораживания в минутах, а по оси ординат показана скорость замораживания эндосперма зерна в °C /мин.

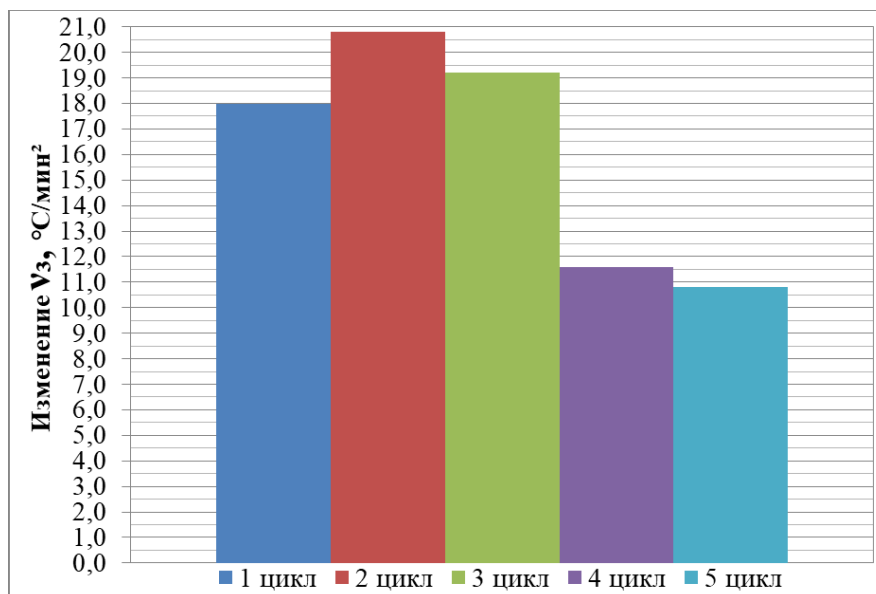


Рисунок 6. Изменение скорости температуры эндосперма зерна в момент фазового перехода процесса замораживания при каждом цикле заморозки.

Рисунок 4 представляет собой столбчатую диаграмму, столбцы которой отображают изменение скорости температуры эндосперма зерна при каждом цикле замораживания в момент фазового перехода.

Обсудим все показанные графические изображения. Для определения минимального времени замачивания зерна был построен график зависимости влажности зерна от времени замачивания (рисунок 1). Для того чтобы однозначно определить конечное время замачивания зерновой массы, обратимся к графику изменения скорости поглощения воды сухими веществами зерна (рисунок 2). На графике в первый час замачивания наблюдается максимальная скорость поглощения воды зерном, после чего происходит уменьшение скорости водопоглощения. В интервале с 8 до 12 часов замачивания скорость незначительно увеличивается, что может быть связано с осмотическим проникновением воды вглубь зерна, что ведёт к дополнительному связыванию влаги белковыми веществами и высокомолекулярными углеводами зерна. С 16 часов увеличение скорости поглощения воды сухими веществами зерна происходит незначительно, поэтому указанное время замачивания будет оптимальным для выбранного в качестве объекта исследования зерна.

В ходе проведения исследования фиксировались значения температуры эндосперма зерновки на протяжении всего процесса низкотемпературной обработки, которая состояла из пяти одинаковых циклов, включающих этапы заморозки и разморозки зерна.

Благодаря полученным данным, был составлен график зависимости температуры эндосперма зерна от времени замораживания и размораживания (рисунок 3), а также график зависимости скорости замораживания и размораживания эндосперма зерна от времени (рисунок 5). На рисунке 3 видно, что с каждым последующим циклом наблюдается изменчивость процесса фазового перехода, в ходе которого вода превращается в лёд. Повышение температуры в этих временных отрезках обуславливается кристаллизацией (Лабутина, 2004).

Чтобы более детально проанализировать характер протекания процесса замораживания, обратимся к рисунку 4, на котором показаны изменения температуры эндосперма зерна в моменты фазового перехода процесса замораживания для каждого цикла заморозки. Начиная с 4-го цикла, фазовый переход стал проходить со значительным снижением разницы минимальной и максимальной температуры, что может свидетельствовать об уменьшении процента свободной влаги в исследуемом объекте.

Таким образом, можно предположить, что при формировании кристаллов льда в зерне происходит разрушение макромолекул крахмала и белка до низкомолекулярных соединений, которые при размораживании начинают связывать часть свободной влаги, что и может обуславливать понижение разности температур в циклах 4 и 5 по сравнению с циклами 1,2 и 3.

Для того чтобы наиболее точно описать влияние протекания процесса замораживания и размораживания на исследуемый образец, обратимся к графику изменения скорости температуры эндосперма зерна (рисунок 5). Анализируя его, можно сделать вывод об увеличении начальной скорости охлаждения при каждом новом цикле замораживания, что должно говорить об уменьшении времени, затрачиваемого на льдообразование, а значит, количество свободной влаги могло понизиться, а связанной – увеличиться, за счёт присоединения воды к уже разрушенным высокомолекулярным соединениям в эндосперме зерна.

И, наконец, обратимся к рисунку 6, на котором показано изменение скорости температуры эндосперма зерна в момент фазового перехода процесса замораживания при каждом цикле заморозки. Рисунок отображает уменьшение скорости замораживания в момент активного кристаллообразования в эндосперме зерна при увеличении цикла заморозки. Это свидетельствует об уменьшении энергии, затраченной на фазовый переход воды, а, следовательно, о связывании свободной влаги образованными производными веществами крахмала и белков при их криогенном разрушении, о чём упоминалось ранее.

### **Заключение**

Таким образом, проведённые исследования позволили определить минимальное время замачивания для зерна пшеницы «Орловское 32», мягкой, озимой, которое составило 16 часов в дистиллированной воде при температуре 20-22 °С.

В ходе анализа данных, полученных после проведения низкотемпературной обработки зерна пшеницы и снятия показателей температуры во время замораживания и размораживания зерна, были построены показательные графики: изменения температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания и изменения скорости температуры эндосперма зерна в процессе замораживания и размораживания.

По данным графика изменения температуры начиная с 4-го цикла фазовый переход стал проходить со значительным снижением разницы минимальной и максимальной температуры. По данным графика изменения скорости температуры наблюдается увеличение начальной скорости охлаждения при каждом новом цикле замораживания, а также уменьшение скорости замораживания в момент активного кристаллообразования.

По результатам исследования была выдвинута и рассмотрена гипотеза о криогенном разрушении веществ зерна пшеницы при замораживании и размораживании в несколько циклов.

Эти результаты могут быть использованы для разработки более эффективных методов обработки зерна, а также повышения качества производства цельнозерновых хлебобулочных изделий.

### **Список литературы**

1. Герасимова Э.О., Лабутина Н.В. Криогенные технологии в хлебопечении // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № (1). С. 6-9.
2. Грязина Ф.И. Способы использования зерна в технологии хлеба // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2015. № (1). С. 5-8.
3. Калмыкова Е.В., Калмыкова О.В. Цельнозерновые продукты в современных технологиях хлебопекарной промышленности // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2016. № (1). С. 65-70.
4. Кунашева Ж.М., Кодзокова М.Х. Зерновой хлеб // Новые технологии. 2019. № (1). С. 108-116.
5. Лабутина Н.В. Повышение эффективности технологии хлебобулочных изделий из

замороженных полуфабрикатов с использованием ржаной муки // Doctoral dissertation. Кубанский государственный технологический университет. 2004. С. 52.

6. Рощина Е.В., Григорьева Р.З., Баранец С.Ю., Давыденко Н.И., Куракин М.С. Шоковая заморозка булочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья на предприятиях общественного питания // Техника и технология пищевых производств. 2020. № 50(3). С. 439-449.

### **Study of the effect of low-temperature processing on wheat grain**

#### **Artem S. Anurov**

Russian Biotechnological University  
Moscow, Russia  
anurov.artiom@mail.ru  
ORCID 0009-0007-4147-7453

#### **Natalia V. Labutina**

Doctor of Technical Sciences  
Russian Biotechnological University  
Moscow, Russia  
labutinanv@mail.ru  
ORCID 0000-0000-0000-0000

#### **Denis M. Kolmykov**

Russian Biotechnological University  
Moscow, Russia  
kolmykowdenis@mail.ru  
ORCID 0009-0002-1565-5387

Received 12.04.2023

Accepted 15.06.2023

Published 15.09.2023

UDC 633.11:662.767

EDN EEBPEL

VAK 4.3.3. Food systems (engineering sciences)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

#### **Abstract**

Low-temperature processing is a promising direction in the global food industry, used for the production of bread and bakery products. It allows you to extend the shelf life and ensure the possibility of transporting the product frozen. In Russia, whole grain bakery products are increasingly in demand due to the high energy value, vitamins, minerals and plant fibers contained in the grain. Low temperature processing can help maintain these qualities in the production of whole grain baked goods. Thanks to the process of low-temperature processing of grain, it is possible to obtain a semi-finished grain product from which whole grain bakery products can be prepared. However, the features of the influence of low-temperature processing on grain have not yet been studied. Therefore, to begin with, a series of studies were carried out to determine the optimal soaking time for the grain under study. After that, the grain was subjected to low-temperature treatment with measurements of temperature changes during freezing and thawing. Based on the results of the study, it was determined that the minimum soaking time for Orlovskoye 32 wheat grain is 16 hours. Indicative graphs constructed after low-temperature processing of grain showed that starting from the 3rd cycle, the phase transition occurs with a

significant decrease in the difference in temperature and freezing rate, but with each new cycle the rate of freezing begins increases. Based on the results of the study, a hypothesis about the cryogenic destruction of wheat grain substances during freezing and thawing in several cycles was put forward and considered.

**Keywords**

grain, grain raw materials, freezing, defrosting, destruction.

**References**

1. Gerasimova E.O., Labutina N.V. Cryogenic technologies in bakery // Izvestia of higher educational institutions. Food technology. 2019. No. (1). pp. 6-9.
2. Gryazina F.I. Methods of using grain in bread technology // Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences". 2015. No. (1). pp. 5-8.
3. Kalmykova E.V., Kalmykova O.V. Whole grain products in modern technologies of the baking industry // Rational nutrition, food additives and biostimulants. 2016. No. (1). pp. 65-70.
4. Kunasheva J.M., Kodzokova M.H. Grain bread // New technologies. 2019. No. (1). pp. 108-116.
5. Labutina N.V. Improving the efficiency of the technology of bakery products from frozen semi-finished products using rye flour // Doctoral dissertation. Kuban State Technological University. 2004. p. 52.
6. Roshchina E.V., Grigorieva R.Z., Baranets S.Yu., Davydenko N.I., Kurakin M.S. Shock freezing of bakery products using non-traditional vegetable raw materials at public catering enterprises // Technique and technology of food production. 2020. No. 50(3). pp. 439-449.

**Не хлебом единым: вопросы продовольственного снабжения арктических экспедиций XVIII – XX вв.**

**Денис Павлович Беляев**

Кандидат исторических наук  
Российский биотехнологический университет  
Москва, Россия  
belyaev@mgupp.ru  
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 12.04.2023

Принята 12.07.2023

Опубликована 15.09.2023

УДК 91(08):641/642(98)

EDN EOVEWG

ВАК 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

**Аннотация**

В статье рассмотрено решение продовольственной проблемы при организации арктических экспедиций в XVIII-XX веках. На основе анализа нескольких арктических экспедиций сформировано три основных подхода к продовольственному обеспечению арктических экспедиций: большие изначальные запасы наравне с доставкой нового провианта; ограниченные, но разнообразные запасы с дальнейшей ставкой на охоту и промыслы; комплексный научный подход к решению проблемы с учётом достижений пищевой промышленности. Выделены преимущества и недостатки каждого из подходов. Целью данной статьи является обобщение опыта продовольственного снабжения отечественных и иностранных арктических экспедиций XVI-XX веков. Поиск литературы по вопросам решения продовольственного обеспечения при организации и проведении арктических экспедиций проводили в библиографических базах данных РИНЦ, «Scopus», «Web of Science», а также с использованием архивных данных РГА ВМФ, РГИА, ГАРФ. В результате проведённого исследования и сравнения результатов полярных экспедиций пришли к выводу, что в значительной степени успех арктического предприятия зависел от того, насколько грамотно и ответственно руководитель подходил к решению продовольственного вопроса.

**Ключевые слова**

арктические экспедиции, продовольствие, охота, цинга, Арктика, Северный Ледовитый океан.

**Введение**

Любая арктическая экспедиция предполагает длительное и автономное (зачастую свыше одного года) существование людей в экстремальных природно-климатических районах Северного Ледовитого океана. В этих условиях проблема обеспечения полярников высококалорийным и богатым различными витаминами продовольствием являлась актуальной не только с точки зрения поддержания сил, но и как фактор профилактики различных болезней, самой страшной из которых являлась цинга – распространённое в то время в этих широтах заболевание, связанное с нехваткой в организме аскорбиновой кислоты.

В работе А.Н. Шаронова указывается целый перечень факторов, негативно влияющих на человека в Арктике: холодный климат, световой режим, недостаток кислорода, повышенные энергозатраты при выполнении любой работы, обеднённая минеральными веществами вода. Относительно продовольствия к этому традиционно добавлялись как ограниченные возможности его поставок (в зависимости от сезона), так и сложности с его хранением (Шаронов, Лопатин, 2019).

### Материалы и методы исследования

Освоение Арктики начиналось стихийно. По мнению Д.П. Беляева, начало этого процесса, приходится на середину XI века, когда поморы стали колонизировать побережье Северного Ледовитого океана. Вначале «...они вышли на берега Белого, а затем и Баренцева морей, где промышляли охотой на тюленей, моржей, китов, белых медведей, занимались рыболовством» (Беляев, 2019). Спустя несколько столетий жители Русского Севера на кочах и ушкуях отправлялись на промыслы к архипелагам Грумант (Шпицберген), Матке (Новая земля). Посещали поморы и далекий остров Медвежий, которому и дали это название. В XVI-XVII веках поморы поэтапно прошли весь маршрут Северного морского пути.



Рисунок 1. Поморский коч (взято из открытых источников).

Идея о целенаправленном научном изучении Арктики, как представляется, полноценно сформировалась в российском обществе в XVIII веке. Инициатором освоения арктических российских земель был император Петр I, незадолго до смерти организовавший 1-ю Камчатскую под руководством Витуса Беринга.



Рисунок 2. Портрет Петра I, художник Поль Деларош, 1838 г. (Беляев, 2019).





Рисунок 3. Портрет В. Беринга, художник Е.В. Богданов, 1996 г. (Беляев, 2019).

В 1733-1743 годах, уже при императрице Анне Иоанновне, состоялась Великая Северная экспедиция (2-я Камчатская) под предводительством всё того же Витуса Беринга. Оставив в стороне вопросы, связанные с ходом этой кампании и её результатами (Беляев, 2019), отметим, что данная экспедиция оказалась очень плохо снаряженной: моряки испытывали нехватку продовольствия и заболели цингой. Во время зимовок члены экспедиции за неимением запасов провианта вынуждены были полагаться на охоту как на основной источник продовольствия. И это имело трагические последствия – в 1741 году в отряде Беринга во время зимовки умерло 30 человек (Беринг, 2023).

Во второй половине XVIII века благодаря усилиям М.В. Ломоносова была снаряжена ещё одна арктическая экспедиция, теперь к архипелагу Шпицберген. Её возглавил В.Я. Чичагов (1765-1766 гг.).



Рисунок 4. Портрет М.В. Ломоносова. Художник Миропольский, 1787 г.



Рисунок 5. Портрет В.Я. Чичагова, предположительно художника Бажанова, ок. 1762 г.

При этом, учитывая опыт Великой Северной экспедиции, значительное внимание было уделено вопросу обеспечения моряков разнообразным провиантом. В частности, чтобы пресечь появление цинги у матросов в их рацион были включены: «...лук, толокно, пшеничная мука, морошка, винный уксус, мёд, хрен, водка на сосновых бруньках, горчичный хмель. Специально заготовили проверенные средства от цинги: 150 ведер водки сосновой, мёда 10 пудов, хрена 46 фунтов, горчицы 10 фунтов, хмеля 3,5 пуда, лука 6 четвертей, морошки 46 ушатов» (Аликин, 2019). Использование этих продуктов дало определённый эффект – цинга хоть и была, но не так свирепствовала. Недостатком такого подхода был ограниченный срок годности продуктов и отсутствие возможности их сохранения в условиях плавания. Но экспедиция Чичагова не оставалась на зимовку на Шпицбергене и с наступлением холодов, возвращалась в Колу.

Вторая половина XVIII – первая половина XIX веков – это «золотой» век в истории российских арктических экспедиций. В это время наша страна по праву занимала лидирующие позиции в области изучения и исследования Северного Ледовитого океана. Военные моряки, такие как Ф.Т. Розмыслов, Ф.П. Литке, П.К. Пахтусов, А.И. Циволька, Ф.П. Врангель и многие другие, золотыми буквами вписали свои имена в историю освоения Арктики.

### **Результаты и обсуждение**

Посмотрим, что с собой брали в многомесячные походы в Арктику российские мореплаватели XIX века. Перечень продуктов был стандартным. Рассмотрим его по книге Ф.П. Литке «Четырёхкратное путешествие в Северный Ледовитый океан», которая по сути является отчётом о его экспедициях на архипелаг Новая Земля в 1821-1824 годах.

Итак, с собой путешественники брали следующий запас продуктов: «...чай чёрный, сахар, ром, сбитень (варится из мёда и воды с примесью уксуса, хлебного вина и некоторых пряностей), патока, капуста квашенная, картофель, лук репчатый, клюква, чеснок в уксусе, хрен, табак листовой, мыло. Для больных запасено: вино tenerифское, лимонный сок, бульон сухой, перец стручковый и горошком, муки крупчатой» (Литке, 1948). Помимо традиционной солонины «...запасались сушёной телятиной, сушёным картофелем, сушёной корюшкой, морковью, которая хранилась в ящиках с песком, хреном, солодовым квасом и кислым творогом. Заболевших цингой лечили винной порцией с экстрактом из сосновых шишек и трилистника (лихорадочник, или чахоточная трава) и особой диетой, состоящей из сухого бульона,

сушёной баранины, сушёной корюшки и сушёного картофеля, а также чеснока, хрена и кислого творога. Также давали пить чай из грудной травы с мёдом или настоем шалфея» (Никифоров, Чикин, 2021).

Как показывали отчёты руководителей арктических экспедиций, данные меры хоть и не приводили к окончательному избавлению от цинги, но имели следствием уменьшение смертности среди полярников от этой болезни по сравнению с ранними периодами.

С конца XIX – начала XX века успехи в развитии пищевой промышленности нашли своё отражение в продовольственном снаряжении арктических экспедиций. В это время для снабжения полярников широко используют пеммикан и различные консервы, что в конечном счёте позволило продлить срок хранения продуктов и разнообразить рацион. Зачастую полярники отказывались от использования галет, беря с собой запас муки – хлеб выпекался во время экспедиции.

Можно говорить о том, что понимание и возможность составления разнообразного рациона окончательно сформировались к концу XIX века, яркий пример – успешная экспедиция Ф. Нансена. Но есть и отрицательный пример – экспедиция Г.Я. Седова к Северному полюсу.



Рисунок 6. Портрет Ф. Нансена, художник В.М. Пасецкий, автор книги «Фритъоф Нансен» 1987 г. (взято из открытых источников).



Рисунок 7. Ф. Нансен и Я. Йохансен покидают «Фрам» перед броском к Северному полюсу. С собой берут максимальный запас продовольствия, но и его не хватит (Беляев, 2019).

Организатор первой отечественной экспедиции к Северному полюсу не уделил должного внимания проблеме комплексного рациона питания и профилактики цинги. Провизии было заготовлено на несколько лет, но она состояла в основном из солонины, солёной рыбы и сухарей (Алиев, 2020). Из



всего экипажа «Святого мученика Фоки» не заболели цингой только 7 человек. Причина – они «...ели свежее мясо моржей и белых медведей, даже собак, пили горячую кровь белых медведей (кстати, ненцы пьют горячую кровь при забое оленей). Г.Я. Седов брезговал есть мясо собак, заболел цингой и умер. Очень важен был прием горячей пищи два раза в день, содержащий 8 тысяч килокалорий, 2 тысячи килокалорий сгорают за ночь» (Попов, 2021).



Рисунок 8. Портрет Г.Я. Седова. Художник – скульптор В.А. Михалёв, 1955 г. (Беляев, 2019).



Рисунок 9. Шхуна «Святой мученик Фока» во время зимовки в бухте Тихая, 1913. Художник – Н.В. Пинегин, 1912-1914 гг. (Беляев, 2019).

В целом, как мы видим, вплоть до начала хозяйственного освоения Арктики с конца 1920-х – 1930-х годов цинга была достаточно распространена среди полярников, особенно в периоды арктических зимовок (Попов, 2021). Проблему могли решить не только разнообразные запасы, но и добытый на охоте в Арктике жир животных, который содержал витамины, необходимые, чтобы не допустить цингу. Охота и промысел являлись источниками пищи для полярников: медвежатина, оленина и китовый жир составляли значительную часть рациона российских полярных экспедиций (Аликин, 2019).

При этом добыча провизии посредством охоты не была свойственна исключительно российским полярникам. Как отмечает канадский исследователь Вильямур Стефанссон (участник экспедиций 1913-

1918 г.), во время путешествия они также планировали полагаться на охоту, при этом привезённый с собой провиант экономить не собирались: «ели вдоволь, пока он у нас был» (Стефанссон, 2015).

Логика заключалась в том, что если речь шла о пеших экспедициях, то провиант становился дополнительным грузом. Если в экспедициях участвовали не только люди, но и собаки – вес увеличивался ещё значительно. Если до точки экспедиции не удавалось организовать стабильный подвоз продовольствия, то охота и промысел оставались ключевым способом решения продовольственной проблемы. К тому же, как отмечает тот же В. Стефанссон: «если рассчитывать исключительно на запас провианта, находящийся в саях, то каждый съеденный кусок вызывает угрызения совести» (Стефанссон, 2015). В целом, умозаключения В. Стефанссона основывались на опыте предыдущих экспедиций: в большинстве из них – рано или поздно – полярники вынуждены были рассчитывать лишь на результаты собственной охоты или рыбалки.

С другой стороны, он же перечисляет случаи из других экспедиций, когда запас провианта строго нормировался, а его превышение вызывало ссоры и склоки среди полярников. В целом, среди зарубежных исследователей именно В. Стефанссон был сторонником самообеспечения полярных экспедиций провиантом. Хотя сам он провёл несколько удачных экспедиций, руководствуясь таким принципом, снаряжённая им экспедиция Кроуфорда на остров Врангеля (1921-1923 гг.) имела запас продовольствия только на полгода. В итоге спустя два года в живых из экспедиции осталась лишь одна эскимоска (Стефанссон, 2015).

Таким образом, можно говорить о трёх способах решения продовольственного вопроса в ходе арктических экспедиций:

1. Существенные изначальные запасы в совокупности с регулярными поставками провианта.
2. Не столь значительные, но разнообразные запасы и регулярная охота с промыслами уже на месте и во время проведения экспедиции.
3. Комплексный научный подход к решению проблемы с учетом достижений пищевой промышленности.



Рисунок 10. Пеммикан (взято из открытых источников).

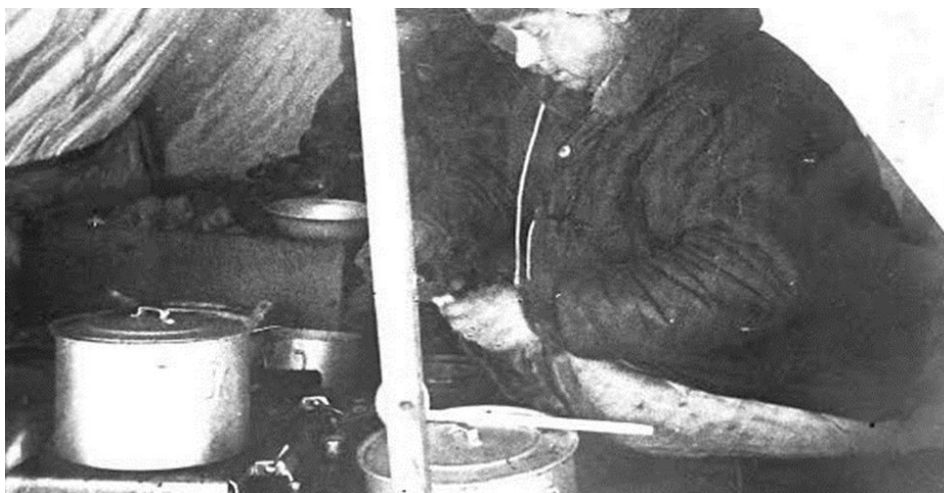


Рисунок 11. Приготовление обеда во время зимовки (взято из открытых источников).

Для сравнения в таблице ниже представлена информация о провианте, взятом в экспедиции Ф. Нансена, Г.Я. Седова и И.Д.Папанина.

Таблица 1. Продовольственный подход и перечень провианта в экспедициях Ф. Нансена, Г.Я. Седова и И.Д. Папанина

Экспедиция (года)	Особенности подхода к подбору провизии	Перечень провианта
Ф. Нансена (1893-1896 гг.)	«Полное высушивание и стерилизация продукции с помощью высокой температуры. Питательная, разнообразная и, по возможности, свежая пища. Повышенное внимание к упаковке: провиант запаивался в жестяные коробки, чтобы не допустить попадания влаги. Рассчитываемые запасы: 5 лет» (Нансен, 2022).	«Мясные и рыбные консервы, сушёная рыба, картофель (в консервах и сушёный). Консервированные и сушёные овощи и фрукты, варенье и мармелад, сгущённое молоко. Стерилизованное сливочное масло, прессованные бульоны в кубиках. Хлеб: ржаные и пшеничные сухари, галеты, мука. Напитки: шоколад, кофе, чай, молоко, лимонный сок, пиво. Мясо с охоты на животных (медведей)» (Нансен, 2022).
Г.Я. Седова (1912-1914 гг.) (Пинегин, 2019)	Преимущественно легкая по весу провизия, расчёт по задумке: 12 кг провизии на месяц пропитания одного человека. Хотя позднее суточная доза вместе с керосином весила 950 г, в которой большая часть приходилась на сухари (300 г), мясной порошок/сушенное мясо, масло и сало (ещё 250 г) Рассчитываемые запасы: 3 года.	Галеты, пеммикан, мясной порошок, сухое молоко, сухари, масло, сало. Сушёный картофель, сушёная зелень (чеснок, лук, перец). Крупы, мука, макаронные изделия, мясные консервы. Консервированные фрукты, конфеты, сахар, печенье, шоколад. Какао, чай и клюквенный экстракт, спирт. Мясо с охоты на животных (медведей).
И.Д. Папанина (1937-1938 гг.) (Папанин, 1972)	Комплексный подход к составлению рациона: баланс белков, жиров и углеводов; минеральных солей и воды, витаминов.	46 наименований продуктов, в их числе: Рис, мука, крахмал, сухари. Концентраты супов, мясных котлет, мясной и яичный порошки.



	Минимальный вес и размер провианта, простота в приготовлении. Ставка на концентраты: продукты, вес которых уменьшен за счёт удаления влаги.	Плавленый сыр, сало, корейка, охотничьи сосиски, паюсная икра. Сливочное масло, лимонная кислота, специи. Компот, ягодный кисель, кофе.
--	--	---



Рисунок 12. Банка консервов из продуктового склада русской полярной экспедиции Э.В. Толля, начало XX века (взято из открытых источников).

### Заключение

Таким образом, можно выделить три ключевых подхода к решению продовольственной проблемы в ходе арктических экспедиций. Первый заключался как в формировании значительных запасов, так и в организации продовольственного снабжения. Проблема этого подхода заключалась в том, что было трудно обеспечить разнообразие рациона в связи с тем, что продукты портились. Галеты, солонина и т. п. продукты не обеспечивали организм человека всеми необходимыми элементами. В результате распространённым заболеванием полярных путешественников становилась цинга.

Второй способ во многом решал эту проблему. Он заключался в формировании разнообразных запасов на начало экспедиции, но рассчитанных на непродолжительный срок. После того как припасы заканчивались, полярники должны были самостоятельно обеспечивать себя провиантом за счёт охоты и рыболовства. Метод помогал избегать цинги – достаточно минеральных элементов содержалось в мясе и жире животных и рыбы. Однако метод подходил не для всех условий – не все арктические территории богаты на животные ресурсы.

Наконец, третий способ заключался в комплексном внедрении новых способов обработки пищи. Он стал возможным в XX веке – по мере развития пищевой промышленности. Именно изобретение, внедрение и распространение концентратов, консервов, а также методов и иных способов обеспечить длительное хранение продуктов позволило решить продовольственную проблему в ходе арктических экспедиций.

### Список литературы

1. Алиев Р.А. Изнанка белого. Арктика от викингов до папанинцев. М.: Paulsen, 2020. 408 с.
2. Аликин А.С., Федоренко А.Р. Медицинское обеспечения арктических экспедиций // Бюллетень северного государственного медицинского университета. 2019. № 1. С. 232-234.
3. Беляев Д.П. История открытия и освоения Арктики. М.: Паулсен, 2019. 290 с.
4. Витус Беринг и его северные экспедиции // Primamedia. 2023. URL: <https://primamedia.ru/news/1538870/>
5. Горбатов Б.Л. Обыкновенная Арктика. М.: Советский писатель, 1952. 316 с.
6. Громов А.Б. Арктика в Великой Отечественной Войне. М: Паулсен 2020. 316 с.

7. Лебедев Н.К. Арктика. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство, 1932. 152 с.
8. Нансен Ф. «Фрам» в полярном море. М.: Эксмо, 2022. 640 с.
9. Папанин И.Д. Жизнь на льдине. М.: Мысль, 1972. 345 с.
10. Пинегин Н.В. В ледяных просторах. Экспедиция Г.Я. Седова к Северному полюсу (1912-1914). М.: Объединенное гуманитарное издательство, 2019. 304 с.
11. Полярное питание. Рацион Ф. Кука в походе к Северному полюсу // URL: <https://leopard-fil.ru/polyarnoe-pitanie-ratsion-f-kuка-v-pohode-k-severnomu-polyusu/>
12. Попов М.В. Исторический аспект роли медиков в экспедициях по освоению Арктики // II Пахтусовские чтения: арктические горизонты: сборник материалов научно-практической конференции. Архангельск, 2021. С. 113-121.
13. Санин В.М. Не говори ты Арктике – прощай. М.: Вече, 2014. 384 с.
14. Стефанссон В. Гостеприимная Арктика. М.: Амфора, 2015. 479 с.
15. Шаронов А.Н., Лопатин С.А., Шаронов Е.А. О сбалансированности рационов питания для Арктики // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. 2019. № 1(11). С. 204-213.
16. Экспедиция Г.Я. Седова на Северный полюс // Наука и жизнь. 1937. № 4. С. 64-69. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/37800/>

### **Not by bread alone: issues of food supply for Arctic expeditions of the 18th – 20th centuries**

**Denis P. Belyaev**

Candidate of Historical Sciences  
Russian University of Biotechnology  
Moscow, Russia  
belyaev@mgupp.ru  
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 12.04.2023

Accepted 12.07.2023

Published 15.09.2023

UDC 91(08):641/642(98)

EDN EOVEWG

VAK 4.3.3. Food systems (engineering sciences)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

#### **Abstract**

Introduction. The article discusses the solution to the food problem when organizing Arctic expeditions in the 18th-20th centuries. Based on the analysis of several Arctic expeditions, three main approaches to food supply for Arctic expeditions have been formed: large initial reserves along with the delivery of new provisions; limited but varied reserves with further reliance on hunting and subsistence; a comprehensive scientific approach to solving the problem, taking into account the achievements of the food industry. The advantages and disadvantages of each approach are highlighted. The purpose of this article is to summarize the experience of food supply of domestic and foreign Arctic expeditions of the 16th – 20th centuries. Materials and methods. A literature search on the issues of food supply solutions when organizing and conducting Arctic expeditions was carried out in the bibliographic databases of the Russian Science Citation Index, Scopus, Web of Science, as well as using archival data from the Russian State Administration of the Navy, the Russian State Historical Archive, and the State Archive of the Russian Federation. As a result of the research and comparison of the



results of polar expeditions, we came to the conclusion that, to a large extent, the success of the Arctic enterprise depended on how competently and responsibly the leader approached solving the food issue.

### Keywords

Arctic expeditions, food, hunting, scurvy, Arctic, Arctic Ocean.

### References

1. Aliyev R.A. The wrong side of white. The Arctic from the Vikings to the Papanins. M.: Paulsen, 2020. 408 p.
2. Alikin A.S., Fedorenko A.R. Medical support for Arctic expeditions // Bulletin of the Northern State Medical University. 2019. No. 1. pp. 232-234.
3. Belyaev D.P. History of the discovery and development of the Arctic. M.: Paulsen, 2019. 290 p.
4. Vitus Bering and his northern expeditions // Primamedia. 2023. URL: <https://primamedia.ru/news/1538870/>
5. Gorbatov B.L. Ordinary Arctic. M.: Soviet writer, 1952. 316 p.
6. Gromov A.B. The Arctic in the Great Patriotic War. M: Paulsen 2020. 316 p.
7. Lebedev N.K. Arktika. M.: State educational and Pedagogical Publishing House, 1932. 152 p.
8. Nansen F. "Fram" in the Polar Sea. Moscow: Eksmo, 2022. 640 p
9. Papanin I.D. Life on an ice floe. Moscow: Mysl, 1972. 345 p.
9. Pinegin N.V. In the icy expanses. G.Ya. Sedov's expedition to the North Pole (1912-1914). Moscow: United Humanitarian Publishing House, 2019. 304 p.
10. Polar power supply. F. Cook's diet on a hike to the North Pole // URL: <https://leopard-fil.ru/polyarnoe-pitanie-ratsion-f-kuka-v-pohode-k-severnomu-polyusu/>
11. Popov M.V. The historical aspect of the role of physicians in Arctic exploration expeditions // II Pakhtusov readings: Arctic horizons: a collection of materials of a scientific and practical conference. Arkhangelsk, 2021. pp. 113-121.
12. Sanin V.M. Don't tell the Arctic – goodbye. Moscow: Veche, 2014. 384 p.
13. Stefansson V. Hospitable Arctic. M.: Amphora, 2015. 479 p.
14. Sharonov A.N., Lopatin S.A., Sharonov E.A. On the balance of food rations for the Arctic // Scientific problems of material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation. 2019. No. 1(11). pp. 204-213.
15. G.Ya. Sedov's expedition to the North Pole // Nauka i zhizn. 1937. No. 4. pp. 64-69. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/37800/>

## Распространение акустического излучения в зерновой массе пшеницы

**Дмитрий Иванович Борисенко**

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник  
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»  
Московский политехнический университет  
Москва, Россия  
dima-luxinzhi@mail.ru  
ORCID 0000-0002-1636-9510

Поступила в редакцию 01.03.2023

Принята 21.04.2023

Опубликована 15.05.2023

УДК 631.363.043:534.321.9

EDN SNLLGG

БАК 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

### Аннотация

В целях сохранения урожая для разработки новых технологий мониторинга качества зерна, находящегося в хранилище, нужны дополнительные сведения о свойствах зерновой массы. Одним из перспективных направлений представляется использование акустического излучения. Работа посвящена исследованию расстояния прохождения акустического излучения в зерновой массе пшеницы, на котором оно доступно инструментальному контролю. Разработана методика исследования распространения акустического излучения в зерновой массе, создан экспериментальный стенд, получены экспериментальные данные. Показано, что регистрируемые в работе сигналы являются акустическим излучением динамика, а не результатом наводок в аппаратуре, вызванных электрическими эффектами. Установлено, что коэффициент затухания акустического излучения в зерновой массе пшеницы в диапазоне частот от 300 Гц до 5500 Гц изменяется кратно (в разы) и имеет минимальное значение при частотах 1-1,5 Гц. Установлено, что распространяющееся через зерновую массу пшеницы акустическое излучение мощностью менее 100 мВт инструментально регистрируется на расстоянии до 3,5 м и более.

### Ключевые слова

зерновая масса, пшеница, акустическое излучение, длина распространения, затухание.

### Введение

Одной из важнейших задач мониторинга качества зерна является своевременная диагностика его характеристик. Для разработки новых технологий мониторинга качества зерна, находящегося в хранилище, нужны дополнительные сведения о свойствах зерновой массы, значимых для её сохранности.

Прежде всего интерес представляет передача информации через толщу зерновой массы. Температурные съёмки при диагностике самосогревания, например, в силу низкой теплопроводности зерновой массы могут помочь, только если измерения проводятся в самом очаге самосогревания или непосредственно вблизи него [1, стр.54]. Можно использовать просвечивание электромагнитным, рентгеновским, радиоактивным излучениями. Но с учётом абсолютных размеров скоплений зерновой массы в стандартных банках (ёмкостях) в хранилищах и трюмах мощности этих излучений потребуются такие, что это навредит зерну.

На протяжении всей человеческой истории – сколько хранится зерно – на него оказывается акустическое воздействие: рядом с зерном издаются различные звуки. Это и человеческая речь, и результат работы различных приспособлений. Непосредственно внутри самой зерновой массы постоянно генерируются звуки, сопровождающие жизнедеятельность членистоногих (насекомых и клещей). Поэтому представляется логичным рассмотреть именно акустическое излучение для передачи информации о качественных характеристиках зерновой массы.

Имеющийся опыт акустической диагностики зерновой массы в промышленных условиях позволяет судить о концентрации насекомых в различных частях бункера при установке датчиков через 15 см [2], что для распространённых в РФ зернохранилищ [3] неудобно. Акустическое излучение, генерируемое насекомыми, обитающими в зерновой массе на территории постсоветского пространства, характеризуется частотами 0,5–3,0 кГц [4, стр.69]. Специальные исследования звукопоглощения различных типов зерна, проведенные как раз для акустической диагностики насекомых в зерновой массе [5], к сожалению также ограничиваются толщиной прозвучиваемого слоя зерна в несколько сантиметров (максимум 8 см). Нет данных о распространении звуков в зерне на расстояния в единицы метров и в обзоре работ по акустической диагностике насекомых в различных средах, анализирующем более ста исследований, проведенных с начала 20-го века [6].

Данные о распространении акустического излучения в зерновой массе на более длинные расстояния (метры) автору найти не удалось. Однако, для среды с похожими характеристиками акустическое излучение может быть инструментально зарегистрировано на расстоянии в 2,5–9 м [7, стр.172], т.е. метры (порядок: единицы метров). В [7] подразумеваются горные породы, поэтому для правомочности применения указанных цифр к зерновой массе необходимо экспериментальное исследование затухания акустического излучения в ней.

Целями настоящей работы являются экспериментальное получение зависимости затухания акустического излучения в пшенице от частоты и пройденного пути, а также проверка возможности его инструментальной регистрации на расстоянии в несколько метров.

### Материалы и методы исследования

Рассмотрим внешний вид и принципиальную схему экспериментальной установки. Ее внешний вид с указанием основных элементов представлены на рисунке 1.

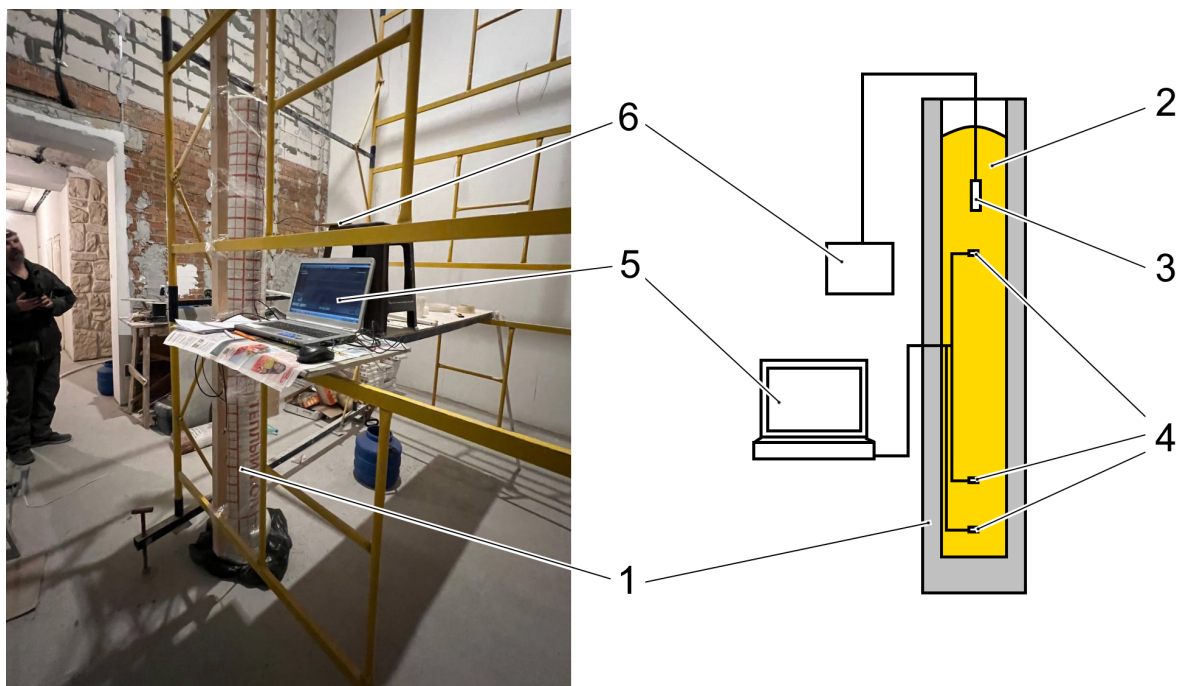


Рисунок 1. Внешний вид и принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – тубус; 2 – зерновая масса (пшеница); 3 – излучатель; 4 – датчики; 5 – компьютер; 6 – генератор

В вертикально ориентированном тубусе из вспененного полиэтилена (1) в толще зерновой массы (2) на различном расстоянии от источника звука (3) располагались пьезоакселерометры ДН-3-М1 (4), подключенные к персональному компьютеру Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 1.70 GHz 1.72 ГГц, 256 МБ ОЗУ (5) со звуковой картой Avance AC97 Audio, где происходила регистрация и обработка сигналов программой Adobe Audition 1.5. Источником звука являлся расположенный в толще зерновой массы динамик диаметром 15 мм, ориентированный рабочей поверхностью вниз, с приделанной латунной трубкой длиной 50 мм, внешним диаметром 15 мм и толщиной 0,3 мм. Мощность динамика составляет менее 100 мВт. Сигнал создавался и регулировался генератором (6). Вспененный полиэтилен выбирался из условий звукоизоляции – чтобы исключить распространение возникающего в толще зерновой массы акустического излучения по стенкам емкости.

Чтобы соответствовать значениям, приведенным в работах по теме исследования (Закладной, 1970; Min, 2005), в эксперименте настоящей работы акустическое излучение осуществлялось на частоте 0,3-5,5 кГц. Значение интенсивности акустического сигнала, измеренное в непосредственной близости от источника, принималось за опорное, и остальные значения делились на него.

В процессе эксперимента прозвучиваемый слой зерновой массы, расположенный между источником и дальним приёмником акустического излучения, увеличивался путём досыпания зерна в тубус. При этом тубус наращивался по высоте, в процессе эксперимента его высота составляла от 1,2 м до 4,8 м. Расположенные в нижней части тубуса датчики оставались на одном месте в процессе всего эксперимента, а верхний датчик переставлялся вместе с источником звука по мере увеличения толщины слоя зерна.

### Результаты и обсуждение

Чтобы удостовериться в том, что регистрируемые сигналы имеют акустическую природу, а не связаны с электромагнитными эффектами, наряду с динамиком, приводимым в действие электрическим током, в качестве источника звука использовался камертон, активируемый механическим воздействием (рис. 2).

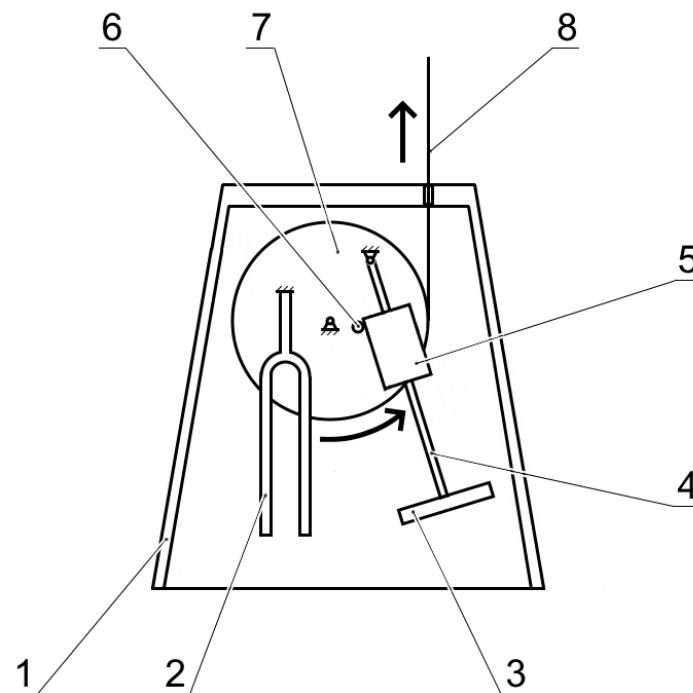


Рисунок 2. Принципиальная схема механического источника акустического излучения: 1 – корпус; 2 – камертон; 3 – боёк; 4 – стержень; 5 – утолщение; 6 – штырь; 7 – диск; 8 – нить

В корпусе (1), выполняющем роль раструба, размещён камертон (2), являющийся источником акустического излучения. Колебания камертона возбуждаются ударом бойка (3), расположенного на свободно подвешенном стержне (4), имеющем утолщение (5). Стержень с бойком образуют било, выводимое из положения равновесия за счёт взаимодействия со штырём (6), закрепленным на диске (7), приводимом во вращение нитью (8). Это устройство размещалось в зерновой массе вместо описанного выше динамика с латунной трубкой в тех же пространственных координатах (на таком же расстоянии от акустических датчиков). Частота камертона выбиралась из соображений попадания в интервал 0,5–3,0 кГц, соответствующий звукам, издаваемым насекомыми (Закладной, 1970). При этом для пшеницы при 630-900 Гц находятся частоты максимального поглощения звука (Min, 2005). Таким образом, частота механического воздействия бралась равной 1024 Гц, чему соответствует медицинский камертон С3, который и использовался в эксперименте.

Необходимо также отметить, что в толще зерновой массы зачастую расположены продолговатые объекты с отличающимися от зерна акустическими свойствами – термоподвески с металлической оплёткой. Для проверки влияния наличия в зерновой массе металлических объектов на регистрацию интенсивности распространяющегося в ней акустического сигнала был проведен следующий эксперимент. В толще зерновой массы был вертикально размещён стальной стержень в виде трубы длиной 2 м, наружным диаметром 22 мм и толщиной стенки 2,5 мм. Стержень пересекал горизонтальные плоскости расположения источника звука и улавливающего звук датчика.

### Результаты и обсуждение

Для акустического сигнала, прошедшего через слой зерновой массы пшеницы толщиной 2 см, на рисунке 3 представлены полученные значения амплитуды, нормированные на максимальное значение, то есть  $\bar{A} = A/A_{max}$ .

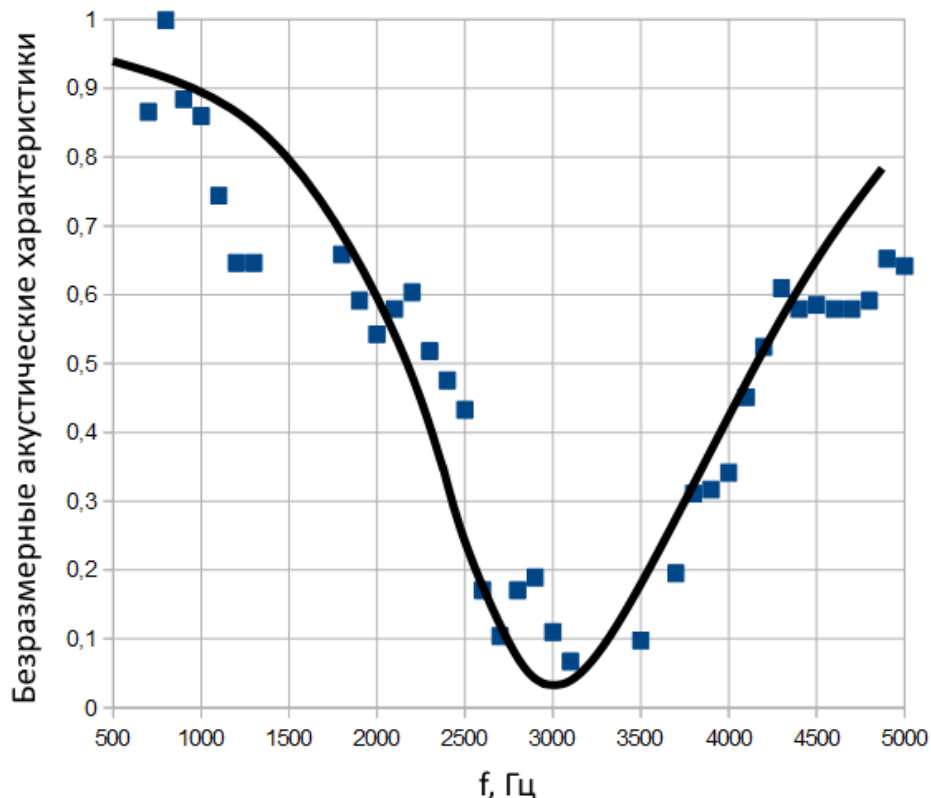


Рисунок 3. Зависимость акустических характеристик для распространения звуковых колебаний через слой пшеницы толщиной 2 см: точки – нормированная на максимальное значение амплитуда прошедшего сигнала (экспериментальные данные настоящей работы); линия – сумма единицы и величины, противоположной коэффициенту звукопоглощения (Min, 2005)

Как видно из рисунка 3, для насыпного слоя пшеницы толщиной в 2 см распределение амплитуды прошедшего сигнала по частоте неравномерно, причём, минимум приходится на интервал от 2500 Гц до 3500 Гц. Это согласуется с имеющимися в литературе данными, где приводится зависимость коэффициента звукопоглощения  $\alpha$  от частоты для того же диапазона значений (Min, 2005). Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  определяется как поглощенная звуковая энергия, деленная на энергию падающего звука. Соответственно, оставшаяся энергия состоит из двух частей: прошедшей и отражённой. Сумма единицы и величины, противоположной коэффициенту звукопоглощения, как следует из рисунка в работе (Min, 2005), то есть  $1 - \alpha$ , нанесена на рисунок 3.

Кроме того, на рисунке 4 представлены некоторые значения из полученных данных по ослаблению интенсивности акустического сигнала, прошедшего через зерновую массу, в зависимости от расстояния для частот 800 Гц, 1400 Гц и 2000 Гц.

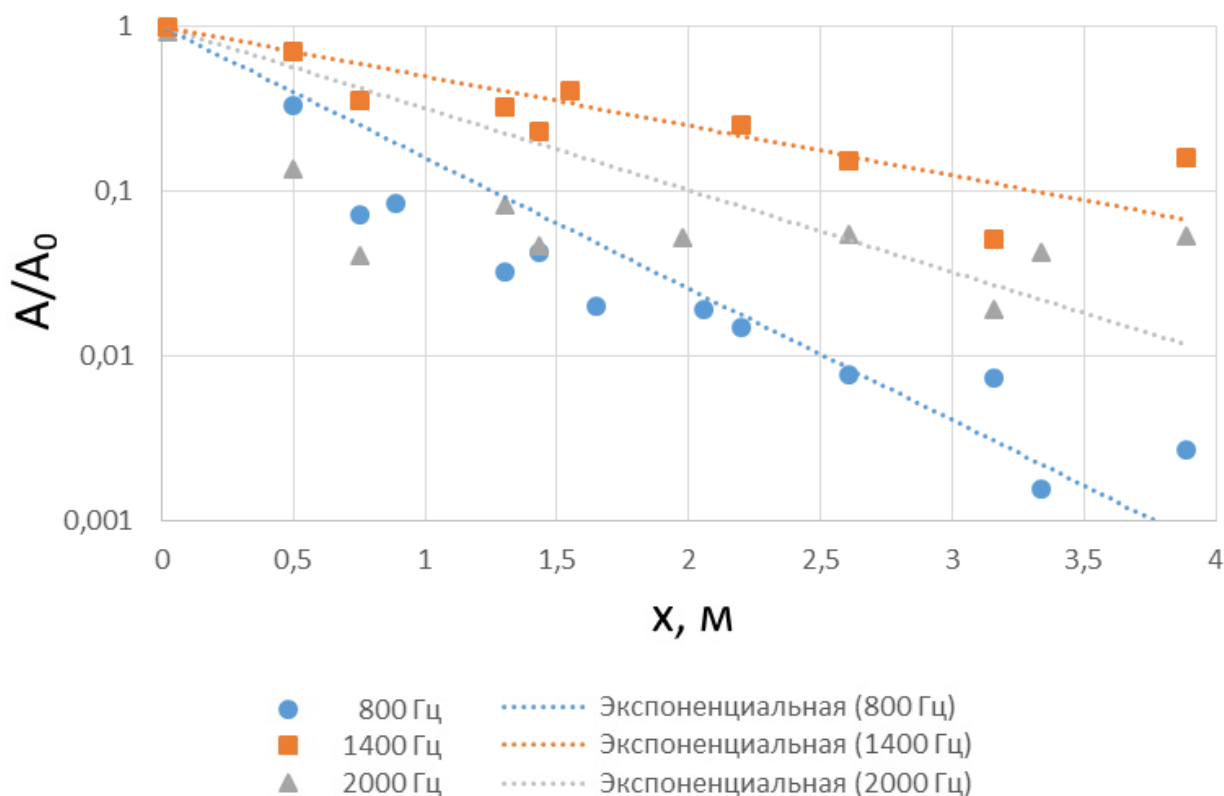


Рисунок 4. Зависимость безразмерной амплитуды от расстояния

Как видно из рисунка, с увеличением расстояния от источника звука его интенсивность ожидаемо уменьшается для всех частот. Однако, снижение амплитуды акустического сигнала с расстоянием для разных частот различно. Так, для 2000 Гц снижение амплитуды с расстоянием меньше, чем для 800 Гц, а для 1400 Гц – ещё меньше. При этом на расстоянии, превышающем 3,5 м, сигнал чётко инструментально измеряется, а значения ослабления интенсивности для указанных частот различаются между собой на порядок.

#### Коэффициент затухания

Для каждого значения частоты строились зависимости безразмерной амплитуды от расстояния (аналог рис. 4). Для полученных массивов точек строились экспоненциальные линии тренда, проходящие через точку с координатами ( $x=0$ ;  $A/A_0=1$ ). Коэффициенты при  $x$  в показателе степени экспоненты принимались за значения коэффициента затухания  $\kappa$ . Зависимость  $\kappa$  от частоты для указанного выше диапазона 500 Гц...3000 Гц представлена на рисунке 5.

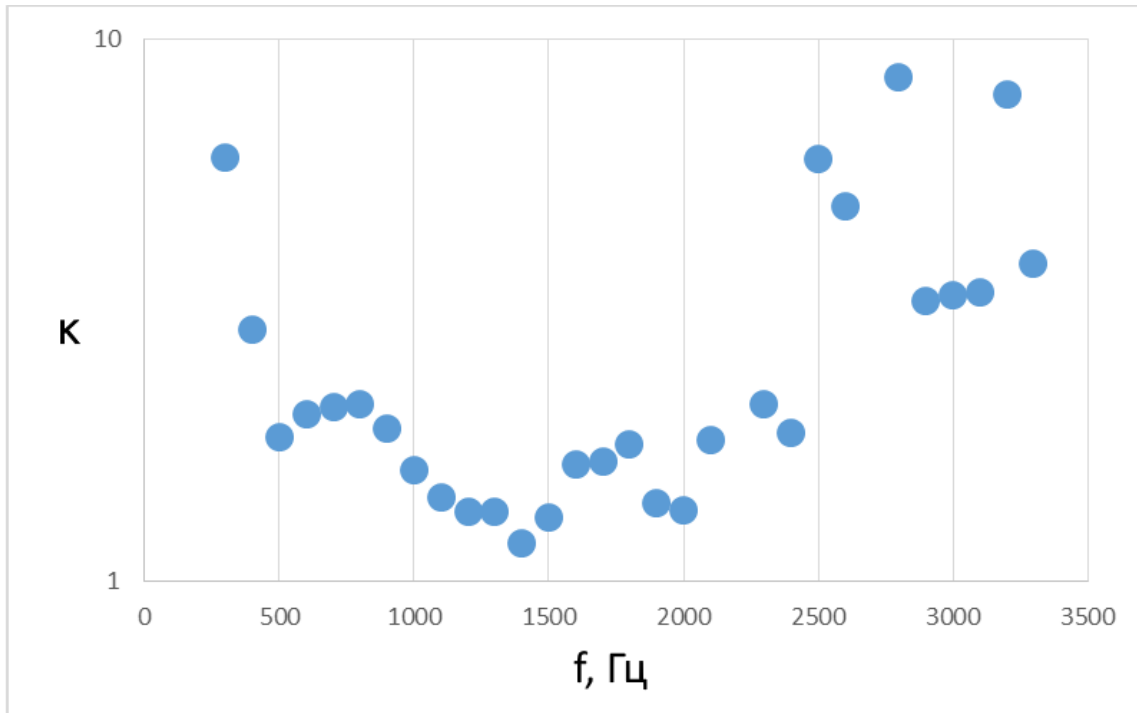


Рисунок 5. Зависимость коэффициента затухания акустического излучения в зерновой массе пшеницы от частоты

Как видно из рисунка 5, при частотах, лежащих ниже 500 Гц, и в интервале от 2500 Гц до 3500 Гц наблюдаются высокие значения коэффициента затухания, что соответствует низким значениям амплитуды. Это согласуется с рисунком 3.

На рисунке 6 приведены значения относительной амплитуды акустического сигнала, прошедшего через зерновую массу пшеницы толщиной 50 см (0,5 м) в зависимости от частоты.

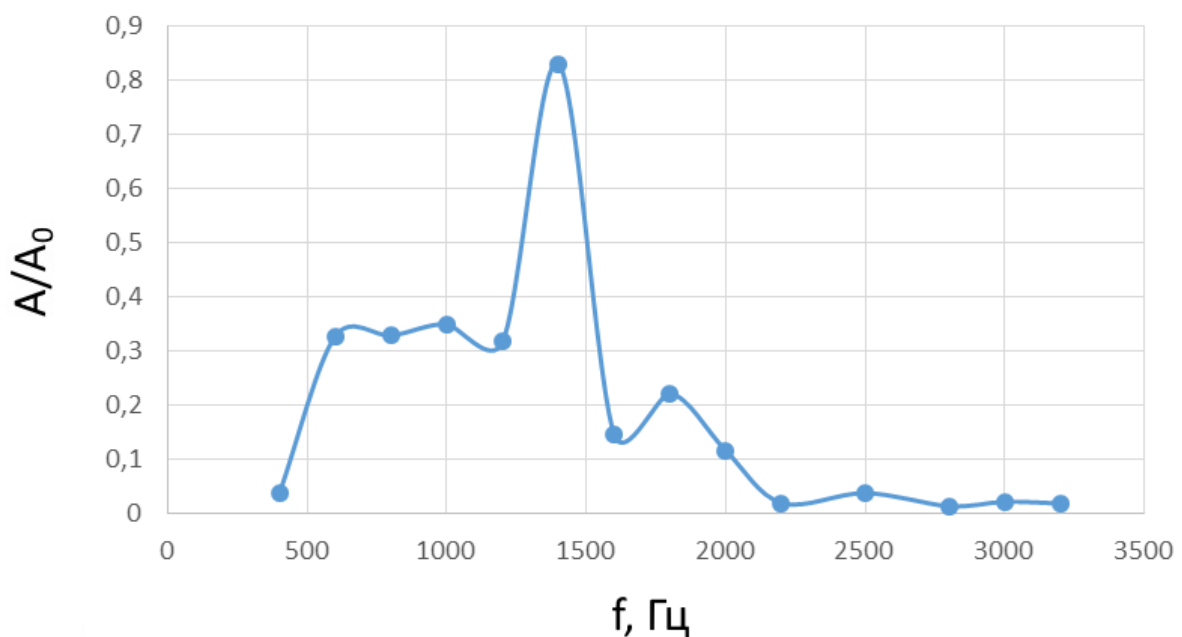


Рисунок 6. Зависимость значений относительной амплитуды акустического сигнала от частоты для слоя пшеницы толщиной 0,5 м: точки – экспериментальные данные; линия – интерполяция сплайном

Как видно из рисунка 6, интенсивность сигнала, проходящего через зерновую массу толщиной 0,5 м, ощутимо зависит от частоты, причём на 1400 Гц приходится максимум. Также заметно, что наибольшие значения сигналов (менее ослабленные) находятся в диапазоне от 500 Гц до 2000 Гц.

При кратном увеличении толщины зерна – в 3 и 8 раз – получаем значения, представленные на рисунках 7 и 8 соответственно.

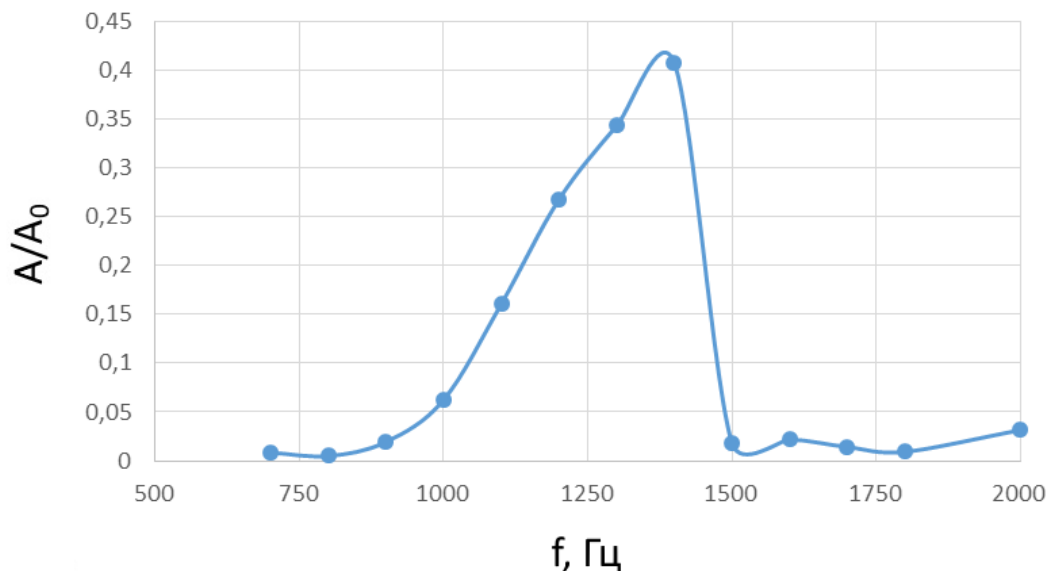


Рисунок 7. Зависимость значений относительной амплитуды акустического сигнала от частоты для слоя пшеницы толщиной 1,55 м: точки – экспериментальные данные; линия – интерполяция сплайном

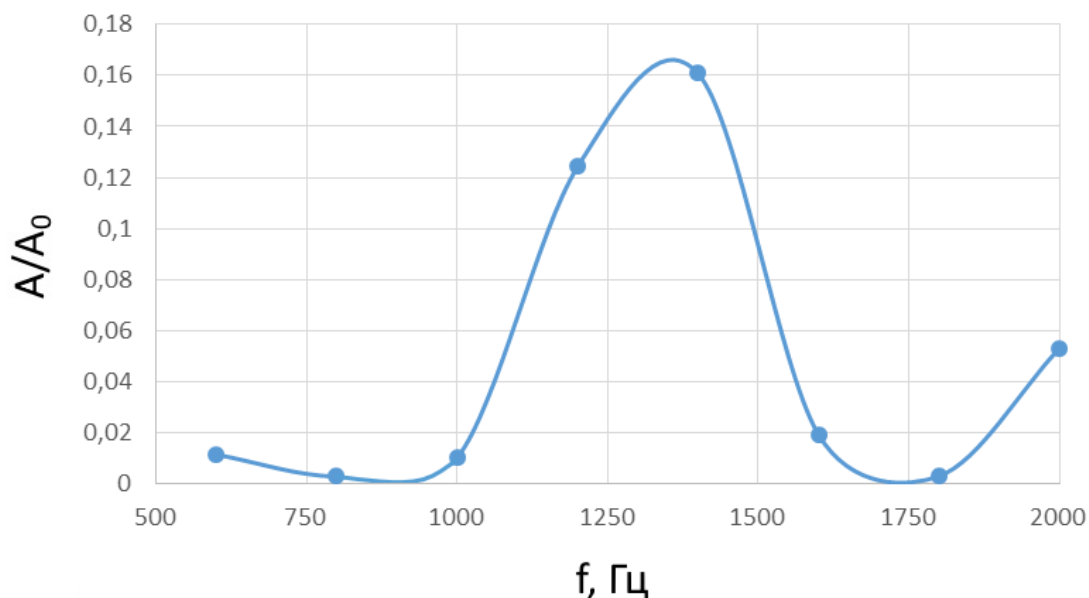


Рисунок 8. Зависимость значений относительной амплитуды акустического сигнала от частоты для слоя пшеницы толщиной 3,89 м: точки – экспериментальные данные; линия – интерполяция сплайном

Как видно из рисунков 6, 7 и 8, в интервале частот от 500 Гц до 2000 Гц значения относительной амплитуды в зависимости от частоты различаются более, чем на порядок (примерно в 50 раз), причём,



максимальные значения лежат в районе 1400 Гц. При этом сигнал частотой 1400 Гц на расстоянии 1,5 м ослабляется кратно (для полученных в настоящей работе данных – менее чем в три раза). А такое расстояние соответствует половине горизонтального характерного размера наиболее распространённых зерновых емкостей элеваторов (Волошин, 2019).

Показания измерительной системы, регистрирующей сигнал, возникающий в результате возбуждения камертона, полностью соответствуют экспериментальным данным, получаемым при работе источника излучения, использовавшегося для возбуждения акустических волн как при 1 кГц, так и на других частотах. К таким показаниям относятся регистрируемая частота и ослабление интенсивности с расстоянием. При тарировочных измерениях на одинаковом расстоянии от источника звука интенсивность регистрируемого сигнала составила примерно одинаковые значения: 25 и 21% от исходного сигнала для динамика и камертона соответственно.

Таким образом, получаемые применяющейся в работе измерительной системой данные соответствуют характеристикам возникающего в зерновой массе акустического поля, а не вызваны электромагнитными эффектами.

Влияние стального стержня оценивалось по сопоставлению интенсивности регистрируемого акустического сигнала, распространяющегося через зерновую массу, при наличии и при отсутствии стержня. Расстояние между источником звука и улавливающим его датчиком составляло примерно 170 см. Отношение значений амплитуды сигнала в присутствии стержня и без него представлены на рисунке 9.

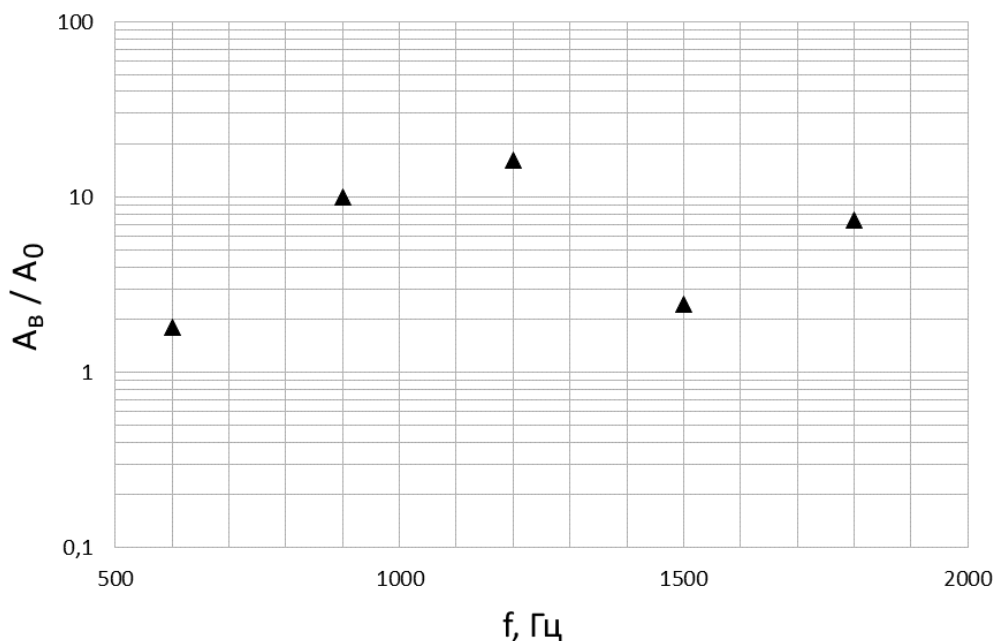


Рисунок 9. Отношение значений амплитуды сигнала, распространяющегося по зерновой массе в присутствии стержня, и без него

Как видно из рисунка 9, наличие объекта с более высокой акустической проводимостью в зерновой массе способствует кратному (иногда на порядок) увеличению интенсивности регистрируемого акустического сигнала, распространяющегося вдоль такого объекта.

### Заключение

В рамках проведенной работы разработана методика экспериментального исследования распространения акустического излучения через зерновую массу на расстоянии в несколько метров; создан экспериментальный стенд для осуществления исследований по этой методике; проведены серии

опытов для пшеницы в диапазоне частот от 300 Гц до 5500 Гц и получены экспериментальные данные, в результате чего установлено, что:

- распространяющееся в зерновой массе пшеницы акустическое излучение инструментально регистрируемо на расстоянии нескольких метров (сигнал частотой 1400 Гц на расстоянии 3,5 м ослабевает на порядок);
- ослабление акустических сигналов в зерновой массе пшеницы в зависимости от частоты различается более, чем на порядок (в 50 раз);
- минимальное ослабление акустического излучения в зерновой массе пшеницы на расстоянии нескольких метров наблюдается в районе 1400 Гц;
- наличие в зерновой массе продолговатых объектов (стержней) из материалов с более высокой звукопроводностью, чем у зерновой массы, способствует кратному (для частот в районе 1000 Гц – на порядок) повышению интенсивности регистрируемого акустического сигнала, распространяющегося вдоль таких объектов;
- регистрируемые в работе сигналы являются акустическим излучением, а не результатом наводок в аппаратуре, вызванных электрическими эффектами.

#### **Список литературы**

1. Вознесенский А.С. Средства передачи и обработки информации: учеб. М.: ИД НИТУ «МИСиС», 2019. 210 с.
2. Волошин Е.В. Элеваторы и склады: уч. пос. в 2 ч. Ч. 2. Оренбург: ОГУ, 2019. 97 с.
3. Закладной Г.А., Ратанова В.Ф., Гаврилов Л.Р., Сиротюк М.Г., Рябухин В.В. Спектральные характеристики акустического шума вредителей хлебных запасов и прибор для определения зерна // Труды ВНИИЗ. 1970. № 71. С.64-71.
4. Уколов В.С. Тепловой режим зерновой насыпи с очагами повышенного тепловыделения // Сб. науч. тр. ФГБНУ «ВНИИ зерна и продуктов его переработки». 1980. № 93. С.49-55.
5. Min Guo, Zhiyuan Shang, Huanwen Shi. Sound absorption measurements of various types of grain // Acta acustica united with acustica. 2005. Vol. 91. pp. 915-919.
6. Mankin R.W., Hagstrum D.W., Smith M.T., Roda A.L., Kairo M.T.K. Perspective and promise: a century of insect acoustic detection and monitoring // American entomologist. 2011. № 57(1). pp. 30-44.
7. Hagstrum D.W., Flinn P.W. Comparison of acoustical detection of several species of stored grain beetles (Coleoptera: Curculionidae, Tenebrionidae, Bostrichidae, Cucujidae) over a range of temperatures // Journal of economic entomology. 1993. Vol. 86. pp. 1271-1278.

#### **Propagation of acoustic radiation in the grain mass of wheat**

**Dmitry I. Borisenko**

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher

National Research Center «Kurchatov Institute»

Moscow Polytechnic University

Moscow, Russia

dima-luxinzh@mail.ru

ORCID 0000-0002-1636-9510

Received 01.03.2023

Accepted 21.04.2023

Published 15.05.2023

UDC 631.363.043:534.321.9

EDN SNLLGG

VAK 4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

OECD 02.11.JY FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

### **Abstract**

In order to preserve the harvest, additional information about the properties of the grain mass is needed to develop new technologies for monitoring the quality of grain in storage. One of the promising directions is the use of acoustic radiation. The work is devoted to the study of the transmission distance of acoustic radiation in the grain mass of wheat, at which it is available for instrumental control. A method for studying the propagation of acoustic radiation in the grain mass has been developed, an experimental stand has been created, and experimental data have been obtained. It is shown that the signals recorded in the work are acoustic radiation from the speaker, and not the result of interference in the equipment caused by electrical effects. It has been found that the attenuation coefficient of acoustic radiation in the wheat grain mass in the frequency range from 300 Hz to 5500 Hz varies multiple times (at times) and has a minimum value at frequencies of 1-1.5 Hz. It has been established that acoustic radiation with a power of less than 100 MW propagating through the grain mass of wheat is instrumentally recorded at a distance of up to 3.5 m or more.

### **Keywords**

grain mass, wheat, acoustic radiation, propagation length, attenuation.

### **References**

1. Voznesensky A.S. Means of transmitting and processing information: textbook. M.: NUST MISIS Publishing House, 2019. 210 p.
2. Voloshin E.V. Elevators and warehouses: uch. pos. at 2 p.m. 2. Orenburg: OSU, 2019. 97 p.
3. Mortgage G.A., Ratanova V.F., Gavrilov L.R., Sirotiyuk M.G., Ryabukhin V.V. Spectral characteristics of acoustic noise of pests of grain stocks and a device for grain determination // Works of VNIIZ. 1970. № 71. pp.64-71.
4. Ukolov V.S. Thermal regime of a grain embankment with foci of increased heat release // Sb. nauch. tr. FGBNU «Research Institute of grain and products of its processing». 1980. № 93. pp.49-55.
5. Min Guo, Zhiyuan Shang, Huanwen Shi. Sound absorption measurements of various types of grain // Acta acustica united with acustica. 2005. Vol. 91. pp. 915-919.
6. Mankin R.W., Hagstrum D.W., Smith M.T., Roda A.L., Kairo M.T.K. Perspective and promise: a century of insect acoustic detection and monitoring // American entomologist. 2011. № 57(1). pp. 30-44.
7. Hagstrum D.W., Flinn P.W. Comparison of acoustical detection of several species of stored grain beetles (Coleoptera: Curculionidae, Tenebrionidae, Bostrichidae, Cucujidae) over a range of temperatures // Journal of economic entomology. 1993. Vol. 86. pp. 1271-1278.

Печатное издание «Хлебопечение России»  
Том 67 (2023). № 3

ISSN 2073-3569

Реестровая запись о регистрации 014330 от 10.01.1996г.  
Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и  
массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК и Российский  
индекс научного цитирования

Рукописи подвергаются редакционной обработке. Точки зрения авторов и редакционной коллегии могут  
не совпадать. Авторы публикуемых материалов несут ответственность за их научную достоверность

Адрес редакции: 109028, г. Москва, а/я 50, Российский Союз пекарей  
e-mail: xleb-vak@mail.ru, <https://hbreview.ru>

Подписано к размещению 15.09.2023.  
Отпечатано в типографии ООО «Российский союз пекарей», 109028, г. Москва, а/я 50.  
Подписано в печать 15.09.2023. Тираж 300 экз. Формат А4. Свободная цена.

Учредитель ООО «Российский союз пекарей», 2023

---

Printed edition «Bakery of Russia»  
Volume 67 (2023). Issue 3

ISSN 2073-3569

Registry record of registration 014330 dated 10.01.1996г.  
Registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass  
Communications (Roskomnadzor)

The edition is included into The List of The Reviewed Scientific Publications recommended by The Highest  
Certifying Commission and The Russian Index of Scientific Citing

Manuscripts are exposed to editorial processing. The points of view of authors and an editorial board can not  
coincide. Authors of the published materials bear responsibility for their scientific reliability

Address of the editorial office: 109028, Moscow, a/ya 50, Russian Union of Bakers  
e-mail: xleb-vak@mail.ru, <https://hbreview.ru>

Signed for placement on 15.09.2023.  
Printed at the printing house of the NGO «Russian Bakers Union», 109028, Moscow, P.O. Box 50.  
Signed for printing on 15.09.2023. Print run of 300 copies. A4 format. Free price.

© Founder NGO «Russian Bakers Union», 2023