

УДК 664.123.4.001.573

UDC 664.123.4.001.573

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИЩЕВОЙ ИНДУСТРИИ ТЕХНОЛОГИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ**

**PROSPECTS OF USING TECHNOLOGIES WITH APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF EXTREMELY LOW FREQUENCY IN THE FOOD INDUSTRY**

Важенин Евгений Игоревич  
аспирант каф. органической химии

Vazhenin Evgeniy Igorevich  
postgraduate student of the Organic Chemistry department

Касьянов Геннадий Иванович  
д.т.н., профессор, Заведующий кафедрой технологии мясных и рыбных продуктов

Kasyanov Gennady Ivanovich  
Dr.Sci.Tech., professor, Head of the Meat and Fish Products Technology department

Грачев Александр Васильевич  
научный сотрудник кафедры технологии мясных и рыбных продуктов  
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия*

Grachev Alexander Vasilievich  
research scientist of the Meat and Fish Products Technology department  
*FSBEA HPE "Kuban State Technological University", Krasnodar, Russia*

В статье описаны области применения электромагнитного поля низкой частоты для увеличения сроков хранения сельскохозяйственной продукции. Описаны преимущества применения электромагнитных полей крайне низкой частоты для повышения всхожести семян сельскохозяйственных культур, сушки и снижения микробной обсемененности сырья, при подготовке сырья перед тепловой или иной обработкой в процессе производства пищевых продуктов. Представлены режимы воздействия электромагнитных полей крайне низкой частоты на различные процессы, используемые в пищевой промышленности

The article describes the application fields of a low frequency electromagnetic field for the increase the storage period of agricultural products. It also describes the advantages of the use of electromagnetic fields of the extremely low frequency to enhance the seed germination of crops, drying and reducing the microbization of raw materials in the preparation of it prior to cooking or other processing in the production of food. The article presents the modes of influence of electromagnetic fields of extremely low frequencies at the various processes used in the food industry

Ключевые слова: МИКРОБНАЯ ОБСЕМЕНЕННОСТЬ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СЫРЬЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ, СРОКИ ХРАНЕНИЯ, ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННАЯ ВОДА, КИСЛОТНОСТЬ

Keywords: MICROBIZATION, AGRICULTURAL RAW MATERIALS, ELECTROMAGNETIC FIELD OF EXTREMELY LOW FREQUENCY, STORAGE PERIOD, ELECTROACTIVATED WATER, ACIDITY

Агропромышленный комплекс Краснодарского края и пищевая промышленность в целом в России в настоящее время уступает по своим объемам производительности и качеству готовой продукции по сравнению с зарубежными производителями. Выходом из сложившейся ситуации может быть использование во всех отраслях пищевой индустрии большого количества различных инновационных технологий, связанных с интенсификацией технологических процессов производства различных видов пи-

щевых продуктов. К таким технологиям относится применение электромагнитного поля крайне низкой частоты, с помощью которой можно добиться повышения качества, увеличения сроков хранения, а также снижения себестоимости готовой продукции.

С учетом того обстоятельства, что в данной работе используются методы новейших физических теорий, без которых трудно представить современную биофизику и системное моделирование биофизических процессов, авторы сочли возможным и необходимым расширить введение и рассмотреть основные физические аспекты воздействия ЭМП НЧ на молекулярном уровне.

Низкоинтенсивные электромагнитные излучения способны вызывать реакцию биосистем, которую неспособны вызвать излучения относительно высокой (тепловой) мощности. Существуют следующие гипотезы взаимодействия биосистем с низкоинтенсивными магнитными полями: изменение свойств свободной и связанной воды, поляризация биомолекул и клеток; стохастический резонанс; изменение вероятности взаимных соударений молекул химических реагентов; резонансные взаимодействия.

Известно, что переменное магнитное поле создает вихревое электрическое поле, что создает вращательный механический момент, ускоряющий или тормозящий случайные тепловые вращения молекулы. Когда молекула вещества закреплена парой ковалентных связей в белковой матрице, а пространства вокруг достаточно для свободных вращательных осцилляций, то тепловые колебания не создают вращательного момента относительно оси вращения ротатора. Вращательная динамика молекулы когерентна в больших интервалах времени и низкочастотное магнитное поле эффективно управляет вращением молекулы посредством индуцированного электрического поля.

Изменяя сочетания частот и амплитуд магнитного поля можно добиться режима неоднородного вращения молекулы, которая сравнительно быстро поворачивается на полный угол. При таком режиме увеличивается вероятность реакции боковых групп молекулярного гироскопа с окружением.

Благодаря интерференции магнитные поля могут менять константу равновесия реакции. Результаты экспериментов при обработке агрокультур [1], в экстракционном производстве [2], виноделии [3,4], свеклосахарном производстве [5], и расчеты в рамках данной теории [6-9], хорошо согласуются друг с другом. В последние годы предложены теории ионного циклотронного резонанса и ядерного параметрического резонанса для объяснения биологического действия слабых (менее 1 мТ), крайне низкочастотных (от 0,01 до 100 Гц) магнитных полей, согласно которым физиологические изменения в клетках могут быть обусловлены резонансным влиянием комбинированного магнитного поля (КМП), являющегося суперпозицией коллинеарных - постоянного и переменного магнитных полей на движение катионов, в первую очередь  $\text{Ca}^{2+}$ , по ионным каналам или на связывание  $\text{Ca}^{2+}$  такими внутриклеточными регуляторами, как кальмодулин или протеинкиназа С [6].

На кафедре технологии мясных и рыбных продуктов Кубанского государственного технологического университета разработана и изготовлена лабораторная установка для интенсификации процесса экстракции (рисунок 1), использующая разработанный авторами прецизионный генератор низкочастотного синусоидального сигнала.

Установка включает в себя: прецизионный генератор низкой частоты (ПГНЧ), генератор высокой частоты (О, модулятор (М)), усилитель мощности (УМ), катушку индуктивности (КИ), выступающую в роли излучателя низкочастотных электромагнитных колебаний. Синусоидальный сигнал с генератора мо-

дулируется низкочастотным сигналом (амплитудная или частотная модуляция) и преобразуется КИ через УМ в электромагнитные колебания.

Для разработки ПГНЧ использован принцип цифрового формирования синусоидального сигнала низкой частоты: период синусоидального сигнала разбивается на дискретное число квантов времени, в каждый из которых формируется соответствующее данному кванту цифровое значение амплитуды сигнала. ПГНЧ включает: однокристалльную микроЭВМ (ОМЭВМ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), согласующий усилитель (СУ). ОМЭВМ осуществляет формирование в ОЗУ синусоидального сигнала, который затем передается на ЦАП, где формируется аналоговый сигнал. СУ осуществляет буферизацию ЦАП и фильтрацию помех, связанных с дискретностью амплитуды сигнала ЦАП. В состав ПГНЧ включен также АЦП, что позволяет подключать аналоговые датчики давления, температуры и др. для экспресс-анализа параметров процесса экстрагирования. Также ОМЭВМ оснащена последовательным интерфейсом связи RS-232 с персональным компьютером.

Разработанная установка обеспечивает режимы обработки низкочастотными амплитудно- или частотно-модулированными электромагнитными колебаниями в диапазоне от 1 до 100 Гц  $\pm$  0,01 Гц.

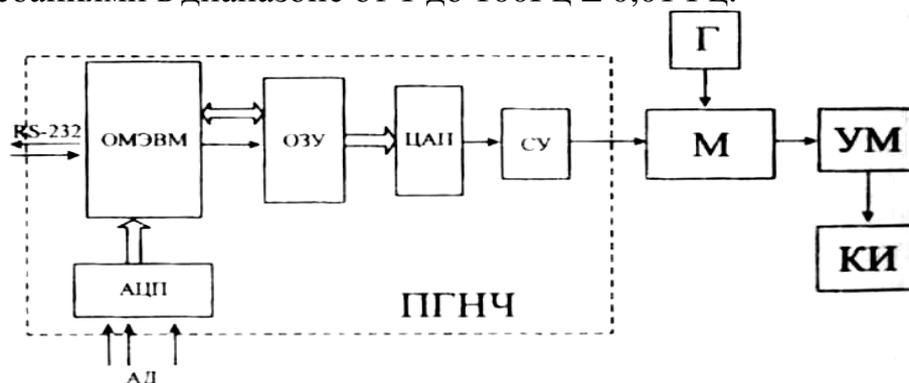


Рисунок 1 Схема лабораторной установки для обработки сырья ЭМП НЧ

Установлено, что переменное электромагнитное поле с частотой  $10^2$ - $10^3$  Гц существенно влияет на скорость прорастания семян пшеницы, сахарной свеклы, укропа, томата и др.[1]. Величина эффекта зависит не

только от напряженности поля и частоты, но и от формы генерирующего сигнала (пила, синусоида и др.).

В частности, использование электромагнитных полей низкой частоты (ЭМП НЧ), создаваемых генератором сигналов низких частот, с помощью электронного программного устройства, регулирующего частоту, амплитуду электромагнитных колебаний и длительность воздействия на различные среды. На рисунке 2 показана принципиальная схема обработки жидких пищевых сред ЭМП НЧ.

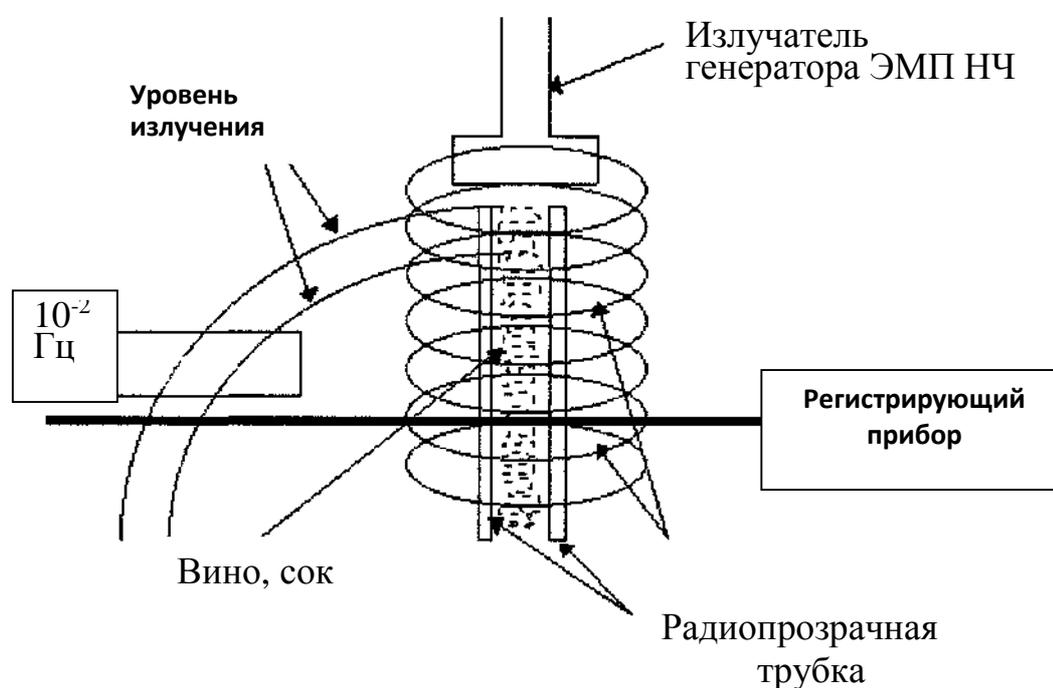


Рисунок 2- Принципиальная схема обработки жидких пищевых сред ЭМП НЧ.

На рисунке 3 представлены эффекты воздействия ЭМП НЧ на клеточном уровне.

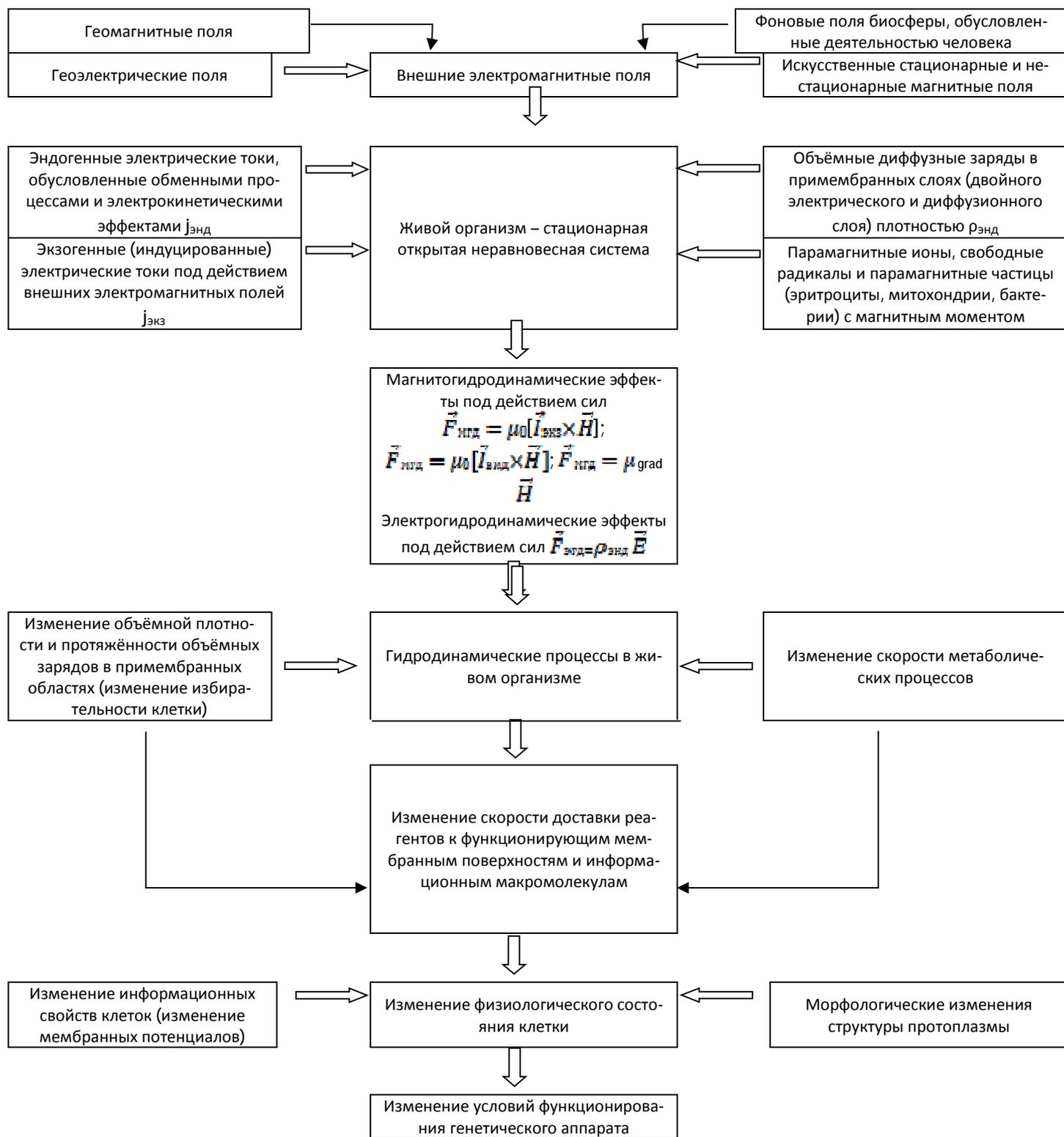


Рисунок 3- Эффекты воздействия ЭМП НЧ на клеточном уровне

Специалистами кафедры технологии мясных и рыбных продуктов КубГТУ и малого инновационного предприятия при КубГТУ ООО «Фактор МП» исследованы изменения, индуцированные низко интенсивным низкочастотным ЭМП, в функционировании гидродинамических изменений и жизнедеятельности микроорганизмов в пищевых продуктах и в сырье растительного и животного происхождения.

Обработку низкочастотным электромагнитным полем (ЭМП) проводили при помощи генератора низкочастотных сигналов, к которому подсоединяли катушку индуктивности в экранированной камере. Индукция магнитного поля составляла 0,2 мТл. Созданная установка позволяла генерировать синусоидальные колебания крайне низких частот. Нестабильность частоты в диапазоне от 1 Гц до 30 Гц составляла 0,2 %. Образцы подвергали обработке ЭМП НЧ в течение 20 мин.

Предполагается, что эффективность воздействия слабых ЭМП низкой частоты на биологические процессы связана с нестационарными процессами, которые обусловлены низкой скоростью движения ионов под действием ЭДС, наводимой переменным магнитным полем. При этом ионы успевают пройти за период лишь часть расстояния между мембранами, и их периодическое движение в неоднородной среде клетки способно привести к нелинейным эффектам в отличие от влияния сильных ЭМП, где стационарное распределение полей приводит к их падению на мембране с малой добавкой к уровню ее шумов. Нелинейные эффекты ЭМП должны влиять на ионную силу и величину рН в примембранном слое, вызывая переход слабосвязанных периферических белков в воду или обратно. Малое изменение свободной энергии из-за изменения динамики белков и мембран при таких переходах определяет их чувствительность к слабым воздействиям.

Исходя из этих положений, изучено влияние обработки ЭМП низкой частоты (30 - 50 Гц, 30 мТл) на активацию ферментов - эстераз и кинетику

их выхода, а также на изменение рН вблизи зародыша семян, число семян с проростками и с корнями и длину проростков при воздействии поля на разных стадиях набухания семян пшеницы. Обработка полем на стадии высвобождения эстераз приводит к значительному увеличению выхода продуктов их реакции с последующим замедлением кинетики выхода со временем, в отличие от линейной кинетики в контроле и на более ранних стадиях обработки.

Данный эффект связывается с влиянием высвобождения белков и их комплексов под действием ЭМП на восстановление барьерной функции мембран. Обработка ЭМП приводит также к заметному ускорению откачки протонов из среды, измеряемому по изменению рН вблизи зародыша. Различие между опытом и контролем после 23 и 24 ч набухания статистически достоверно и достигает 0,4 ед. рН. Воздействие ЭМП на стадии формирования корней в ходе набухания семян пшеницы с 50% всхожестью приводит к статистически достоверному приросту числа семян, имеющих проростки, и к еще большему приросту числа семян с корнями. Достоверно увеличивается и длина проростков по сравнению с контролем и семенами, обработанными на несколько часов позднее. В последнем случае отмечен прирост числа семян с проростками при значительно меньшем влиянии на число семян с корнями. Длительное воздействие поля в течение вторых суток набухания достоверно уменьшает длину проростков при слабом влиянии на число семян с проростками и корнями.

Полученные данные находятся в хорошем соответствии с предложенным механизмом воздействия ЭМП - его влиянием на высвобождение белков, ответственных за регуляцию разных стадий реализации генетической программы прорастания семян. Это ускоряет развитие растения, тогда как воздействие поля при прохождении процессов деления клеток с чередованием высвобождения и связывания белков и иных структур способно привести к их замедлению.

Кроме того была исследована вязкость дистиллированной воды при воздействии низкочастотного магнитного поля напряженностью 130 А/м. Измерения вязкости проводились при помощи капиллярного вискозиметра.

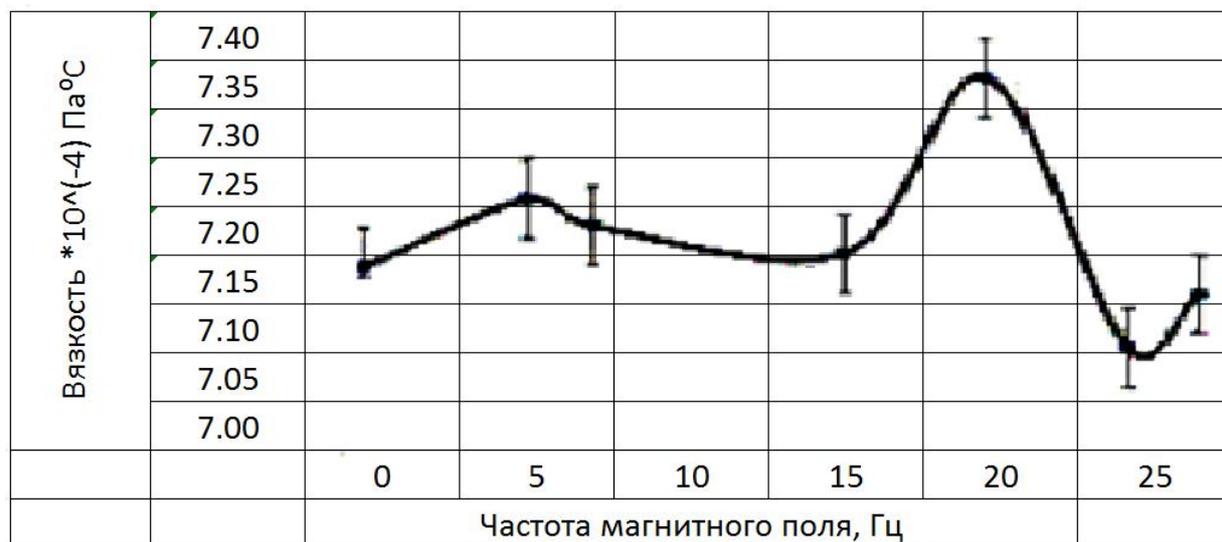


Рисунок 4- Частотные зависимости вязкости воды при 35°C

Применение электромагнитного поля крайне низкой частоты в процессе хранения сельскохозяйственной продукции может значительно снизить потери при хранении, следовательно, увеличить прибыль предприятий, использующих данную технологию. Такой эффект достигается благодаря тому, что под воздействием электромагнитных волн крайне низкочастотного диапазона, клеточные стенки патогенных микроорганизмов, ухудшающих качество сельскохозяйственного сырья, разрушаются, приводя к их гибели, или как минимум замедлению процесса жизнедеятельности и размножения, благодаря чему можно добиться необходимого, по государственному стандарту показателя, микробной обсемененности используемого, в процессе производства пищевых продуктов, сельскохозяйственного сырья, сохраняя при этом его органолептические показатели, а также показатели пищевой и биологической ценности, не нанося при этом вреда здоровью населению, потребляющему данную продукцию.

Кроме того, авторами были проведены исследования по воздействию электромагнитных полей крайне низких частот в диапазоне 18 – 40 Гц на сохранность томатов и предотвращению поражения их грибными болезнями.

Томаты хранили в сезон 2011 года в течение одного месяца при температуре 2 – 3 °С (красные), 5 – 6 °С (бурые) и относительной влажности воздуха 90 – 92 %. На хранение были заложены томаты, сорт Подарочный, в ящичной таре. Томаты перед закладкой на хранение подвергали воздействию ЭМП НЧ с различными: несущей и модулирующей частотами, временем обработки и величиной магнитной индукции В (опытные образцы). В качестве контрольных образцов использовали томаты, не обработанные магнитным полем. В таблице 1 показано товарное качество красных томатов, обработанных ЭМП НЧ (18 и 38 Гц) перед закладкой на хранение.

Таблица 1 – Товарное качество томатов (красные), обработанные ЭМП НЧ перед закладкой на хранение (через 1 месяц хранения)

Показатели качества томатов	Метод хранения				
	контроль, без обработки	ЭМП (неоднородное) f=38,0 Гц, β=6 мТл, t=10 мин	ЭМП (неоднородное) f=38,0 Гц, β=6 мТл, t=20 мин	ЭМП (неоднородное) f=18,0 Гц, β=6 мТл, t=30 мин	ЭМП (неоднородное) f=38,0 Гц, β=3 мТл, t=50 мин
Естественная убыль, %	4,2	3,0	3,5	0,9	3,3
Порча (альтернариоз, антракноз, ботритиоз), %	42,5	14,9	40,5	0	4,0
Сумма потерь, %	46,7	17,9	44,0	0,9	7,3
Выход товарной продукции, %	53,3	82,1	56,0	99,1	92,7

В таблице 2 показано товарное качество бурых томатов, обработанных ЭМП НЧ перед закладкой на хранение. Как видно из таблиц 1 и 2, убыль массы за месяц хранения в опытных образцах составила 0,9 – 3,3 % (красные томаты) и 1,2 – 3,2 % (бурые томаты), в то время как в контроле убыль массы за этот же срок составила – 4,2 % и 3,5 % соответственно.

Таблица 2 – Товарное качество томатов (бурые), обработанные ЭМП НЧ перед закладкой на хранение (через 1 месяц хранения)

Показатели качества томатов	контроль, без обработки	обработан. ЭМП (однородное) f=18,0 Гц, β=6 мТл, t=50 мин	обработан. ЭМП (неоднородное) f=18,0 Гц, β=6 мТл, t=50 мин	обработан. ЭМП (однородное) f=38 Гц, β=6 мТл, t=50 мин	обработан. ЭМП (неоднородное) f=38 Гц, β=6 мТл, t=50 мин
Естественная убыль, %	3,5	3,2	1,2	3,2	1,6
Порча (альтернариоз, антракноз, ботритиоз), %	50,0	17,0	8,8	12,1	7,0
Сумма потерь, %	53,5	20,2	10,0	15,3	8,6
Выход товарной продукции, %	46,5	79,8	90,0	84,7	91,4

Использование электромагнитных полей крайне низкой частоты благодаря своему резонансному воздействию, может найти применение не только в процессе сушки растительного или животного сырья, но также и на стадии подготовки сырья перед тепловой или иной обработкой.

Влияние ЭМП НЧ на микробиологическую обсемененность мясного сырья исследовалось авторами, изучая выживаемость мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, дрожжей и плесневых грибов при воздействии магнитного поля с частотами – 19.5; 40.0 Гц, которые были спланированы с помощью активного математического эксперимента.

Исследуемые образцы мясного сырья помещали в экранированную камеру с вмонтированным излучателем МП от генератора синусоидальных колебаний в диапазонах 0,1-100 Гц.

Установка состояла из генератора колебаний, частотомера, генератора несущей частоты, усилителя, осциллографа, излучателя и емкости для загрузки исследуемых образцов.

Впервые были установлены закономерности изменения усвояемости мяса от величины магнитной индукции амплитудно-модулированного и

частотно-модулированным магнитным полем. Определены также были закономерности изменения выживаемости бактериальной микрофлоры мясного сырья. При бактериологическом исследовании мяса говядины, свинины, мяса птицы и печени БГКП в 0.1 г не обнаружены; Salmonellae и Listeria monocytogenes – в 25.0 г не обнаружены. Результаты КМАФАнМ приведены в таблице 3.

Таблица 3- Эффективность обработки мясного сырья ЭМП НЧ

Исследуемые образцы	КОЕ, единиц						
	Контроль	ЭМП НЧ при 19.5 Гц, В= 6 мТл			ЭМП НЧ при 40.0 Гц, В= 6 мТл		
Продолжительность обработки ЭМП НЧ, мин	0	20	40	60	20	40	60
Говядина 1 кат.	> 300	47	106	270	100	72	45
Свинина жирная	> 310	55	110	240	112	68	51
Мясо птицы	> 290	49	98	145	115	64	47
Печень	> 350	68	115	270	120	66	53

На рисунке 5 показана бактериологическая обсемененность мясного сырья в зависимости от времени и частоты ЭМП НЧ.

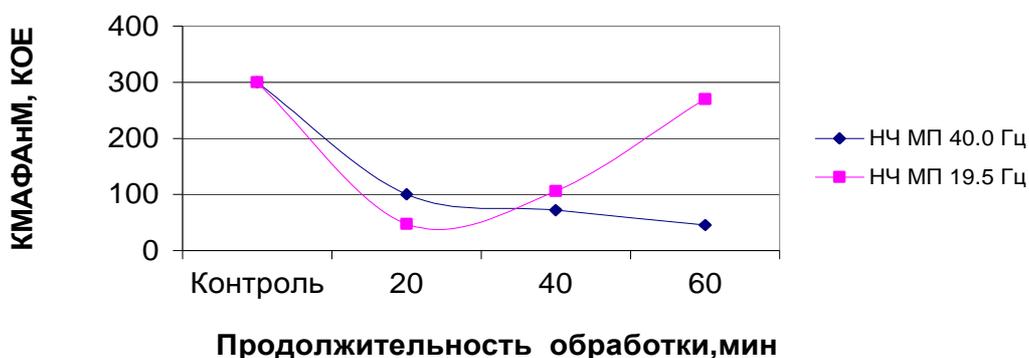


Рисунок 5 – Бактериологическая обсемененность говядины в зависимости от времени и частоты ЭМП НЧ

Электрохимическая активация воды, как физико-химический процесс, представляет собой совокупность осуществляемых в условиях минимального выделения тепла электрохимического и электрофизического воздействий на жидкость с содержащимися в ней ионами и молекулами рас-

творенных веществ в области пространственного заряда у поверхности электрода (анода или катода) электрохимической системы при неравновесном переносе заряда через границу «электрод-электролит» электронами. В результате электрохимической активации вода переходит в метастабильное (активированное) состояние, проявляя при этом в течение нескольких часов повышенную реакционную способность в различных физико-химических процессах.

С участием профессора Барышева М.Г. оценивались биологические эффекты магнитообработанной и электрохимически активированной воды и воды с модифицированным изотопным составом [9]. Установлено, что «легкая» вода, обладающая высокими экологическими характеристиками, может быть использована в технологии функциональных продуктов питания. Электроактивированная вода имела различную величину рН и окислительно-восстановительный потенциал. Добавление щелочной фракции активированной воды для посола фарша позволяет сдвинуть рН в область более высоких значений от изоэлектрической точки мышечных белков, что позволяет отказаться от применения фосфатов в колбасном производстве.

Одним из возможных применений магнитообработанной воды в мясной промышленности является уничтожение патогенной микрофлоры на поверхности мяса при вымачивании в такой воде.

С целью изучения влияния электроактивированной воды на технологические показатели мясного сырья, были проведены исследования влагосвязывающей способности мясных продуктов. Установлено, что после посола мяса в кусках его ВСС увеличилась в среднем на 6 %, а при посоле фарша на 10 %.

**Выводы.** Полученные авторами экспериментальные данные позволяют пояснить механизм воздействия низкочастотного ЭМП на биологические процессы в растительном и животном сырье. При этом в примембранном слое клетки происходит изменение ионной силы и рН с последу-

ющим высвобождением белков, иммобилизованных на мембранах или других клеточных структурах, что, в свою очередь, приводит к активации метаболических процессов. Применение электрофизических технологий с использованием заданных режимов обработки сырья, является одним из перспективных способов для использования в различных технологических процессах пищевой индустрии.

### Список используемой литературы

1. Барышев М.Г., Касьянов Г.И., Воздействие электромагнитных полей на биохимические процессы в семенах растений //Известия вузов. Пищевая технология, 2002. №1. С.21-23.
2. Касьянов Г.И., Барышев М.Г. Использование электромагнитных полей крайне низких частот в технологии консервирования пищевых продуктов В сб. материалов I Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой и перерабатывающей промышленности», 20-22 ноября 2012 г.- Краснодар: Изд. КубГТУ, 2012. С.529-531
3. Христюк В. Т. Совершенствование технологии вин и напитков с применением способов электрофизической и сорбционной обработки: монография /Под ред. засл. деятеля науки РФ, профессора Касьянова Г.И. – Краснодар: Экоинвест, 2012.- 324 с.
4. Христюк В.Т., Бережная А.В. Обработка коньяков ЭМП //Известия вузов. Пищевая технология, 2003, №4. С.114.
5. Решетова Р.С., Барышев М.Г. Применение электромагнитного поля в свеклосахарном производстве. Краснодар: КубГТУ, 2002. 147с.
6. Барышев М.Г., Касьянов Г.И.. Электромагнитная обработка сырья растительного и животного происхождения. Краснодар: КубГТУ, 2002. 220 с.
7. Barishev M.G., Dzhimak S.S., Kas'janov G.I. and Sashhkov D.I. The Influence of Low Frequency Electromagnetic Field (LF EMF) on the Agricultural Crops Seeds Germination. //Journal of Agricultural Science and Technology В Volume 2, Number 3, March 2012 (Serial Number 11). P.385-390.
8. Касьянов Г.И., Барышев М.Г. Использование электромагнитного поля низких частот в технологии рыбных продуктов /В сб. материалов международной научно-практической конференции «Российская аквакультура: состояние, потенциал и инновационные производства в развитии АПК» (20-22 ноября 2012 г.). Воронеж, ВГУИТ: Изд-во ФГУ Воронежский ЦНТИ, 2012. С.271-273.
9. Применение воды с модифицированным изотопным составом и рН в мясной промышленности /М.Г. Барышев, С.С. Джимаков, М.А. Долгов, А.С. Дыдыкин, Г.И. Касьянов //Известия вузов. Пищевая технология, 2012, № 2-3. С. 42-43.