

На правах рукописи

САВИН Владимир Николаевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Специальность 05.18.01 – Технология обработки, хранения
и переработки злаковых, бобовых культур,
крупяных продуктов, плодоовощной
продукции и виноградарства

**Диссертация на соискание
ученой степени кандидата технических наук**

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор **Касьянов Геннадий Иванович**

Краснодар

Содержание

Список обозначений	3
Введение	4
Глава 1 Аналитический обзор патентно-информационной литературы	9
1.1 Факторы, влияющие на процесс экстрагирования	13
1.2 Существующие способы интенсификации технологических процессов	24
1.3 Влияние ЭМП НЧ на биологические ткани	33
1.4 Воздействие ЭМП на человека	36
1.5 Выбор эффективного метода экстрагирования ценных компонентов из растительного сырья	46
1.5 Задачи исследования	61
Глава 2 Методическая часть	62
2.1 Характеристика объектов исследования	62
2.2. Схема и методы исследования	69
2.3 Методы планирования эксперимента	73
2.4 Основы математической теории эксперимента	79
2.5 Планы второго порядка, планы Бокса-Бенкена	83
Глава 3 Экспериментальная часть	92
3.1 Усовершенствование лабораторной и пилотной экстракционных установок	92
3.2 Электрохимические процессы в клетке	96
3.3 Ускорение процесса экстрагирования ценных компонентов из растительного сырья с помощью ЭМП НЧ	108
3.4 Проведение экстракции с наложением ЭМП НЧ	118
3.5 Санитарно-гигиеническая оценка полученных СО ₂ -экстрактов	123
Глава 4 Практическая реализация результатов исследований	125
4.1 Совершенствование промышленных СО ₂ -экстракторов за счёт подвода энергии ЭМП НЧ	125
4.2 Влияние ЭМП НЧ на биологические объекты	130
4.3 Экологическая безопасность применяемого ЭМП НЧ	137
4.4 Расчёт экономической эффективности	158
Выводы	159
Список использованных источников	161
Приложения	172

Список обозначений

ЭМП – электромагнитное поле

МП – магнитное поле

НЧ – низкие частоты (1 – 100 Гц)

БАВ – биологически активные вещества

B_{DC} – величина магнитной индукции постоянной компоненты магнитного поля

B_{AC} – величина магнитной индукции переменной компоненты магнитного поля

РЦКП – ротатабельные центральные композиционные планы

ОЦКП – ортогональные центральные композиционные планы

МТПЭ – математическая теория планирования эксперимента

Введение

Различные усовершенствования **пищевых** технологий направлены в первую очередь на повышение их экономической эффективности в результате целенаправленного влияния на сырьё, производительность оборудования; сокращения затрат материалов и энергии, улучшения качества продукции, снижения затрат труда. Внедрение в производство достижений современной физики, химии, радиоэлектроники и биологии позволяет существенно снизить энергозатраты и соответственно уменьшить себестоимость выпускаемой продукции.

Использование различных физических воздействий позволяет в значительной степени интенсифицировать технологии пищевой промышленности и в большинстве случаев получать результаты, не достижимые при традиционной технологии. Тем не менее, необходимо учитывать, что промышленность способна оказывать значительное воздействие на экологию окружающей среды, поэтому нужно рассматривать не только экономическую, биологическую, но и экологическую сторону интенсификации процессов новыми методами.

Известно, что во многих городах России, в том числе и в Краснодаре, сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, связанная с различными загрязнениями окружающей среды. В постановлении Правительства РФ № 917 от 10 августа 1998 г. «Концепция государственной политики в области здорового питания населения России на период до 2005 года» особая роль в рациональном здоровом питании населения отводилась созданию принципиально новых, сбалансированных по составу продуктов, обогащённых функциональными ингредиентами. В связи с этим весьма актуальна проблема создания продуктов обладающих высокими антиокси-

дантными, геропротекторными и радиопротекторными свойствами и служащими источниками витаминов и полиненасыщенных жирных кислот. Специалисты Института питания РАМН утверждают, что пищевой рацион человека постоянно должен включать более шестисот ингредиентов.

Известно, что эфирномасличное, пряное и лекарственное сырьё может служить практически неисчерпаемым источником биологически активных веществ (БАВ), которые, в свою очередь, находят применение в различных областях современной пищевой промышленности, медицине и парфюмерном производстве. Поэтому разработка новых продуктов питания с применением растительного сырья привлекает внимание многих ученых пищевой промышленности.

По имеющимся в литературе данным, плоды можжевельника, рябины обыкновенной (красной) и черноплодной и семена расторопши оказывают противовоспалительное и ранозаживляющее действие, являются эффективными геропротекторами; предотвращают всасывание токсичных соединений, поступивших в организм вместе с водой и пищей; защищают организм от разрушения при попадании в него химических соединений; оказывают радиопротекторное, противоязвенное, желчегонное действие и способствуют заживлению язв. Кроме того, данные виды сырья содержат большое количество витаминов и минералов.

Известно, что получение высококачественных экстрактов из растительного сырья наиболее целесообразно вести с использованием в качестве растворителей сжатых и сжиженных газов.

Из пищевых растворителей более приемлемым для этой цели является жидкий диоксид углерода. Этот экстрагент проявляет полное сродство к важнейшим биологически активным веществам, позволяет вести процесс их извлечения из сырья при комнатных температурах (от 18 до 22°C) и полностью улетучивается из мисцеллы при снижении давления в аппаратах до атмосферного.

Технология производства CO_2 -экстрактов является безотходной и экологичной. С точки зрения медицины продукт стерилен, полезен, сочетает в себе вкус, аромат и такие качества, которые не могут быть получены другими экстракционными технологиями.

Значительный вклад в развитие теоретических основ получения и применения CO_2 -экстрактов внесли известные ученые Б.С.Алаев, Л.Г.Александров, В.Э.Банашек, Р.Х.Блягоз, В.А.Карамзин, Г.И.Касьянов, Е.П.Кошевой, Б.И.Леончик, В.А.Ломачинский, Я.С.Мееров, А.В.Пехов, Т.К.Рослякова, Т.И.Тимофеенко, Р.И.Шаззо и др.

Однако, в традиционной технологии CO_2 -экстракции имеется ряд недостатков. На один цикл CO_2 -экстракции по традиционной технологии затрачивается от 4 до 5 часов эксплуатации дорогостоящего оборудования в зависимости от вида сырья. Кроме того, ранее не использованный шрот остающийся после экстракции содержит много белков и тоже может быть использован для различных целей.

За последнее время бурное развитие получили многие новые области, публикации о последних достижениях имеются в многочисленных монографиях, журналах, диссертациях и отчётах.

В последние десятилетия появились сведения об эффективности слабых воздействий на биологические объекты. Эти результаты трудно объяснить в рамках классических теорий в физике и химии. Энергия воздействия слабым электромагнитным полем низких частот (НЧ – 1-100 Гц) сравнима со стохастическими флуктуациями энергии в молекуле вещества и недостаточна для ионизации молекул, а следовательно не может привести к разрушению веществ и образованию свободных радикалов.

По поводу механизма столь высокой чувствительности биообъектов к электромагнитному полю низких частот в настоящее время нет единого мнения. Существует целый ряд различных гипотез поясняющих механизм действия электромагнитного поля низких частот на биологические объек-

ты: кластерная, ядерного магнитного резонанса, параметрического резонанса, модуляции под действием электромагнитного поля скорости потока взаимодействующих частиц, стохастического и циклотронного резонанса и т.п. Именно отсутствие теоретических обоснований столь длительное время тормозило принятие этого физического воздействия для совершенствования технологий и не позволяло внедрять в технологические схемы обработку биологических объектов электромагнитным полем низких частот. Эти проблемы связаны, видимо, с тем, что согласно последним исследованиям данные эффекты обнаруживаются только на живых клетках, тканях, системах (точнее на объектах с действующим метаболизмом).

К настоящему времени известно, что при воздействии ЭМП значительной напряжённости (приводящих к тепловым эффектам) в биообъектах включаются защитные механизмы, которые способствуют компенсации этого воздействия. В случае же воздействия на биообъекты слабого электромагнитного поля низких частот (ЭМП НЧ) компенсаторные механизмы биообъектов, по мнению зам. директора Института Биохимической физики АН РФ профессора Бурлаковой Е.Б., не задействованы. Этим объясняется высокая эффективность действия ЭМП НЧ на биообъекты растительного и животного происхождения. Этим отчасти объясняется высокая эффективность действия слабого ЭМП НЧ на биообъекты растительного и животного происхождения.

Основные исследования направлены на оценку степени воздействия электромагнитного поля на химические реакции. Если электромагнитное поле может изменить скорость химических реакций, то, следовательно, оно способно влиять на биологические объекты, так как химические реакции определяют преобразование энергии в форму, пригодную для разных биологических процессов. Использование достижений магнитобиологии в области катализа химических процессов происходящих в пищевой промышленности позволило бы существенно снизить себестоимость произ-

водства и повлиять на экологию окружающей среды. Поэтому были проведены исследования по воздействию электромагнитного поля низких частот (1 – 100 Гц) на процесс CO_2 -экстрагирования.

Основной вклад в исследование механизмов влияния электромагнитного поля низкой частоты и малой мощности на живые биообъекты внесли известные учёные Барышев М.Г., Бурлакова Е.Б., Жадин М.Н., Касьянов Г.И., Коломийцев Ю.С., Леднёв В.В., Макеев В.В., Новиков В.В., Adair R.K. и др.

Однако, столь высокая эффективность данного воздействия вызывает вопросы об экологической безопасности применяемых ЭМП НЧ и продуктов, полученных с использованием этого воздействия.

Целью нашей работы было совершенствование технологии получения ценных компонентов из растительного сырья с использованием экологически безопасных физических методов, приводящих к увеличению выхода и улучшению качества CO_2 -экстракта, извлекаемого жидким диоксидом углерода, а также к возможности применения полученных CO_2 -экстрактов, обогащенных полиненасыщенными жирными кислотами, для создания новых продуктов функционального назначения. Кроме того, необходимо изучить экологическое воздействие электромагнитного поля низких частот на окружающую среду, обслуживающий персонал и безопасность CO_2 -экстрактов полученных по новой технологии.

Глава 1 Аналитический обзор патентно-информационной литературы

При современных тенденциях к увеличению потребления общего количества и относительной доли консервированных продуктов, весьма актуальным является проблема получения и использования биологически активных веществ в концентрированном виде. В пищевой промышленности в качестве заменителей сухих пряностей использовались эфирные масла. Они представляют собой прозрачные или окрашенные летучие маслянистые жидкости с резко выраженным ароматом. В состав большинства эфирных масел входят углеводороды терпенового ряда и их кислородсодержащие производные: спирты, альдегиды, кетоны, сложные эфиры и другие соединения.

Отгонка с водяным паром и перегонка ароматических веществ в токе инертного газа, хотя и позволяют получать продукт удовлетворительного качества, не всегда пригодны для производства высококачественных пищевых ароматизаторов из-за изменения вкуса и аромата, а также потерь эфирного масла. Совершенствование способов и схем получения эфирных масел позволяют несколько улучшить качество готового продукта, но повышают его себестоимость, усложняют аппаратуру и не обеспечивают достаточной полноты извлечения. Известно довольно много и других схем получения эфирных масел, но практически в промышленности большую часть продукции получают методом перегонки с водяным паром.

Альтернативным способом выделения ценных компонентов из растительного сырья является процесс, тоже широко применяемый в пищевой технологии – экстрагирование.

При экстракционных методах обработки растительного сырья в качестве растворителей применяются органические вещества, такие как ацетон, этиловый спирт, бензин, петролейный эфир и др. [10, 29, 114].

После экстрагирования из сырья эфирных масел, лекарственных и других биологически активных веществ растворители под вакуумом отгоняются при температурах, гораздо меньших, чем при паровой перегонке, поэтому экстракционные способы являются более мягкими, что позволяет избавиться от температурных изменений свойств и запахов экстрактов.

Однако и экстрагирование органическими растворителями не всегда обеспечивает высокое качество экстракта и полное извлечение из сырья ароматических, вкусовых и биологически активных веществ. Температуры отгонки органических растворителей имеют довольно большие значения (+80⁰—+90⁰ С), что ведёт к частичному, а иногда и к полному разрушению некоторых термолабильных веществ в экстрактах [25, 33].

В последнее время наметилась тенденция к использованию в качестве растворителей для извлечения ароматических, вкусовых и биологически активных веществ из растительного сырья сжиженных газов и смесей на их основе [93].

Из большого числа сжиженных газов (диоксид углерода, бутан, хладоны, аммиак) и смесей на основе сжиженных газов (например, азеотропные смеси жидкого диоксида углерода, хладона и хлористого этила и др.) в настоящий момент, по мнению Dunford N. и Gould H., наибольшее распространение как растворитель получил сжиженный диоксид углерода по ГОСТ 8050-94.

Жидкий диоксид углерода – бесцветная жидкость без запаха. Молекулярная масса (по международным молекулярным массам 1971 г.) – 44,011. В зависимости от температуры и давления диоксид углерода может находиться в различных агрегатных состояниях. Диоксид углерода, благодаря своим свойствам, реальной возможности существования в газообразном, жидком и твёрдом состоянии, широкому и разностороннему применению в природе и технике известен также под названиями: углекислый

газ, углекислота, двуокись углерода, сухой лёд, сверхкритический экстрагент.

В природе в круговороте органических соединений диоксид углерода служит одним из основных составляющих процесса фотосинтеза в зелёных растениях, превращаясь под воздействием поглощенной хлорофиллом солнечной энергии в самые разнообразные и сложные органические соединения, и в то же время он является конечным продуктом распада в процессе жизнедеятельности растений и животных (цикл Кребса). Диоксид углерода, таким образом, представляет собой неотъемлемый компонент естественных природных процессов ассимиляции и диссимиляции – основы существования всего живого.

К достоинствам жидкого CO_2 как экстрагента относится его пожаро-взрывобезопасность и доступность производства. В промышленности жидкий CO_2 получают из продуктов спиртового брожения, дымовых или экспанзерных газов, а также кристаллогидратов [85].

Сложность аппаратного оформления процесса экстрагирования сырья сжиженными газами, который осуществляется при давлении до 7 МПа, ранее ограничивала её широкое промышленное использование. Однако современные достижения машиностроения, металлургии и химии позволили осуществить этот процесс в промышленности. Кроме того различают до- и сверхкритический процесс CO_2 -экстракции в зависимости от температуры и давления. Сверхкритическая экстракция проводится при давлении до 70 МПа и температурах свыше 50°C , что позволяет добиться более высокого выхода веществ. Однако, проведение экстрагирования и отгонка растворителя при низких температурах (докритическая экстракция) исключает тепловые воздействия на лабильные экстрагируемые вещества, благодаря чему сохраняются почти все БАВ находящиеся в исходном сырье.

Таким образом, для извлечения ароматических и вкусовых веществ, БАВ, содержащихся в растительном сырье, целесообразно применять экстрагирование жидким диоксидом углерода, позволяющее вести процесс при низких плюсовых температурах (0-25⁰С).

В основе процесса экстрагирования лежит растворение и перенос веществ из одной фазы в другую, поэтому подбор и растворяющая способность экстрагента играют решающую роль. Растворяющая способность экстрагента зависит от полярности его молекул. Полярность растворителя характеризуется его диэлектрической постоянной (ϵ). Эта величина показывает, во сколько раз по сравнению с вакуумом ($\epsilon = 1$) меньше сила притяжения или отталкивания между двумя расположенными в данной среде электрическими зарядами [95].

Жидкий диоксид углерода имеет малое значение диэлектрической постоянной $\epsilon = 1,58$ [101], что относит его к гидрофобным растворителям, позволяющим наиболее полно извлечь из сырья эфирные масла, ароматические вещества, смолы, жирорастворимые витамины. Одним из достоинств экстрагирования жидким диоксидом углерода является то, что она может находиться в виде жидкости при давлении насыщенных паров от $73,8 \cdot 10^2$ до $5,18 \cdot 10^2$ кПа и соответствующих температурах от +31,05 до -56,6⁰С и отгонка растворителя не представляет затруднения при температуре +18⁰– +20⁰С.

При снижении давления до атмосферного жидкий СО₂ полностью улетучивается из мисцеллы и остаётся чистый экстракт.

Современные представления о механизме и кинетике экстрагирования из растительного сырья сформировались в связи с многоплановыми исследованиями, выполненными для решения технологических задач масложировой, сахарной и фармацевтической промышленности. По существующей теории растворитель проникает в сырьё и смачивает вещества,

находящиеся внутри клеток [38, 108]. Затем происходит растворение веществ, находящихся внутри клеток и на клеточных стенках, а также смыв ценных компонентов из разрушенных клеток и открытых пор. После чего внутренний и внешний растворы объединяются и образуют единую систему. Под действием молекулярной диффузии происходит массоотдача веществ от поверхности сырья в раствор. На кинетику экстрагирования определяющее влияние оказывают процессы диффузионного переноса, существенно зависящие от структурно механических свойств сырья и форм связи с ним экстрагируемых веществ. Количественно эта зависимость была определена Белобородовым В.В. при использовании величины диффузионного сопротивления.

1.1 Факторы, влияющие на процесс экстрагирования

В целях совершенствования процесса, повышения производительности работы оборудования и выдач рекомендаций по улучшению технологии получения СО₂-экстрактов из различного растительного сырья были тщательно изучены факторы, влияющие на процесс экстрагирования.

1.1.1 Влияние температуры

Для интенсификации процессов растворения и экстрагирования используют повышение температуры растворителей в соответствии с правилом фаз Гиббса, которое позволяет определить число степеней свободы, или независимых параметров, необходимое для однозначного определения условий равновесия системы [30, 72, 79, 176].

При экстрагировании система чаще всего состоит из двух компонентов (извлекаемого, или целевого, компонента и твёрдого тела – носителя) и одного растворителя. Таким образом, в этой системе число степеней свободы равно 3 и можно произвольно менять (не нарушая равновесия) три параметра (например, температуру, давление и одну концентрацию).

Скорость процесса возрастает с повышением температуры также вследствие увеличения коэффициента диффузии:

$$D = \frac{\delta^2}{6\tau_0} e^{-\frac{E_{акт}}{kT}} \quad (1)$$

где δ – элементарное перемещение молекул целевого компонента; τ_0 – период колебаний молекулы равновесного положения; $E_{акт}$ – энергия активации; k – постоянная Больцмана.

Коэффициент диффузии и температуры связаны между собой отношением, вытекающим из уравнения Эйнштейна:

$$\frac{D_1}{D} = \frac{T_1}{T} \cdot \frac{\mu_1}{\mu} \quad (2)$$

где D_1 ; D – коэффициенты диффузии при разных температурах; μ_1 ; μ – вязкость жидкости при разных температурах; T_1 , T – температура.

В результате анализа уравнений диффузии для частиц твёрдой фазы различной формы при $D = \text{const}$, т.е. в условиях изотермического процесса извлечения, Белобородовым В.В. показано, что скорость экстрагирования прямо пропорциональна температуре: при понижении температуры падает, а при повышении – возрастает. Вблизи экстремальных точек (температуры замерзания и кипения) зависимость скорости экстрагирования от температуры отклоняется от прямой.

Факт увеличения скорости экстрагирования при повышении температуры отмечали Загута Н.В, Ключкин В.В., Коваленко Л.В. и др. Найдены экспериментальные зависимости процесса экстрагирования и коэффициента диффузии от температуры.

Однако для обеспечения минимальности затрат на единицу продукции в пищевой промышленности нужно проводить экстракцию при оптимальных температурных условиях. Для этого требуется ограничить область возможных значений температуры таким образом, чтобы они не превышали некоторых предельных для данной системы значений, при кото-

рых могут происходить нежелательные побочные эффекты (разложение продукта, побочные реакции, коррозия и т.п.)

Изменение температуры процесса может быть вызвано, например, нагреванием (или охлаждением) растворителя. Горячий растворитель будет иметь меньшую вязкость и большую селективность. Растворение веществ сопровождается тепловыми эффектами [32]. Тепловой эффект ΔH растворения твёрдых веществ состоит в основном из двух слагаемых и в зависимости от их величины может быть положительным или отрицательным:

$$\Delta H = \Delta H_1 \pm \Delta H_2 \quad (3)$$

Здесь ΔH_1 – теплота, затрачиваемая на разрушение кристаллической решетки; ΔH_2 – теплота гидратации (сольватации), т.е. теплота химического взаимодействия молекул растворяющегося вещества с молекулами растворителя.

Скорость диффузионного извлечения по данным Ключкина В.В. существенно зависит от величины энергии активации $E_{\text{акт}}$, которая является усредненной характеристикой процесса. Так, при экстрагировании лепестков розы летучими растворителями (например, гексаном) наибольшая величина энергии активации соответствует эфирному маслу и равна 14250 кДж/кмоль, для воска $E_{\text{акт}} = 3700 \div 4150$ кДж/кмоль, для спирторастворимых компонентов $E_{\text{акт}} = 4725 \div 5250$ кДж/кмоль. Следовательно, изменение температуры процесса наиболее эффективно влияет на извлечение эфирного масла, что и подтверждается опытом: с повышением температуры экстрагента извлечение эфирного масла происходит более интенсивно. Применение повышенных температур позволяет проводить экстрагирование при меньшей скорости экстрагента: при повышении температуры процесса до 60°С скорость обтекания частиц основным потоком растворителя можно уменьшить в 1,5-2 раза. Кроме того, в результате повышения температуры увеличивается выход абсолютного масла за счёт более полного извлече-

ния. Резкое увеличение скорости экстрагирования вблизи точки кипения растворителя показано в промышленных условиях (в частности, в экстракторах ДС70 и НД1000, применяемых в маслоэкстракционной промышленности) [79]. Следует отметить, что в этом случае внутри частиц возникает конвективная диффузия в результате образования и схлопывания кавитационных полостей в кипящем растворителе.

Анализ зависимости эффекта экстрагирования от температуры привел к ряду способов экстрагирования, использующих нагрев экстрагента до кипения и ускорение диффузии не только температурой, но и улучшением гидродинамических условий. Ключкиным В.В. описываются установки позволяющие интенсифицировать процесс экстрагирования масличных семян с помощью кипящего экстрагента. В этом случае резко усиливается турбулизация мисцеллы.

Помимо нагрева, процесс экстрагирования ускоряется также по данным Беловой О.И. и Pourrat Н., при предварительном замораживании сырья. При этом происходит разрушение структуры кристалликами льда, которые разрывают клеточные оболочки.

К достоинствам температурной интенсификации процесса следует отнести сравнительно простое конструктивное оформление установки, но при этом значительно увеличиваются энергетические затраты, кроме того извлекаемые ценные компоненты часто являются термолабильными веществами, что не позволяет широко использовать высокие температуры в процессах экстрагирования сырья растительного происхождения.

Применительно к CO_2 -экстрагированию, можно отметить, что данный способ экстрагирования может осуществляться в интервале температур $-50 \text{ } ^\circ\text{C}$ — $+31 \text{ } ^\circ\text{C}$. При более низких температурах диоксид углерода находится в твёрдом состоянии, а при более высоких температурах экстрагирование проходит в сверхкритических условиях. В данной работе рассматривается докритическая область. Из ранее проведённых Белобородовым В.В.

и Montgomery D.J. исследований известно, что с увеличением температуры процесса до 20⁰ С выход экстрактивных веществ вначале возрастает до определённых максимальных значений, а при приближении к критической области (+31⁰ С) падает.

1.1.2 Влияние давления

Для традиционных жидких растворителей давление в небольших пределах (до 2 МПа) не оказывает сильного влияния на систему «сырьё – жидкий экстрагент». Если объём растворителя больше объёма компонентов, то при увеличении давления, по мнению Мяздрикова О.А., следует ожидать ухудшения растворимости.

Влияние давления на общую скорость процесса экстрагирования до сих пор исследовано недостаточно.

Силы давления используют в экстракционных процессах для механического воздействия на клеточную структуру с целью предварительного освобождения раскрытых пор (характеризующихся свободной пористостью) от извлекаемого компонента или для отжима растворителя на конечной стадии процесса [7, 31, 87].

При погружении в растворитель происходит раскрытие всех пор и капилляров. Однако, воздух или другие газы и пары, содержащиеся в тупиковых порах материала, создают сопротивление проникновению экстрагента в глубь такого материала. Эти газы будут частично собираться в виде мелких пузырьков в тканях, препятствуя их пропитке растворителем [24]. Воздух и другие газы и пары, находящиеся в тупиковых порах, оказываются защемленными и сжимаются под действием капиллярных сил.

Дерягиным, а затем Альтшулером исследовался диффузионный механизм пропитки пористых материалов с учётом защемления в тупиковых порах смеси газов любого состава. Установлено, что скорость проникнове-

ния жидкости в пористую среду при наличии в ней тупиковых и квазитупиковых капилляров может быть определена по уравнению

$$\frac{dl_n}{d\tau} = \frac{\alpha RT}{\sqrt{\pi\tau}} \sum_{i=1}^n K_i \sqrt{D_i N_i} \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{p_k}{p_k + p_0}$, p_k и p_0 – безразмерное капиллярное и атмосферное давление, соответственно; R – универсальная газовая постоянная, K_i – константа Генри; D_i – коэффициент диффузии; N_i – мольная доля i -го компонента в газовой смеси.

Глубина проникновения растворителя (пропитки) рассчитывается по формуле

$$\Delta l_n = \frac{2\alpha RT}{\sqrt{\pi}} \left(\sum_{i=1}^n K_i \sqrt{D_i N_i} \right) \sqrt{\tau} \quad (5)$$

Диффузионная стадия пропитки сильно зависит от растворимости газов. Так как поры и капилляры экстрагируемого твёрдого материала постепенно заполняются растворителем, между концентрациями целевого компонента в твёрдой и жидкой фазах устанавливается равновесие. Защемлённые газы растворяются в жидкости, и в ней возникают градиенты концентрации, обуславливающие конвективную диффузию растворяющихся газов [43]. Практическое применение этого эффекта предложено Certik M. и заключается в следующем: замена труднорастворимых газов легкорастворимыми может обеспечить возможность увеличения скорости пропитки (или экстрагирования настаиванием, перколяцией и т. п.) в 10^5 раз. С другой стороны можно найти метод освобождения воздуха (или других газов и паров) из пористого материала и таким образом улучшить массообмен [43].

На основе изложенного была разработана технология извлечения, описанная Колесниковым Б.Ф., заключающаяся в том, что измельчённый пористый материал смешивают с нагретым растворителем, после чего полученную смесь охлаждают при пониженном давлении на 2–3 градуса пу-

тём адиабатического испарения. После этого давление опять повышают до уровня, несколько превышающего давление насыщенного пара этой смеси. Цикл повторяют 4 – 5 раз, причём период цикла составляет около половины времени экстрагирования по общепринятому методу.

Для экстрагирования при переменном давлении используют установки с U-образными трубами [8, 49].

В случае CO₂-экстрагирования изменение давления напрямую зависит от температуры процесса и, соответственно оптимальным можно считать давление 5,84 – 6,55 МПа, соответствующее температурному интервалу +20⁰ – +25⁰ С [35, 91, 98].

1.1.3 Влияние степени измельчения материала

Измельчение твёрдого продукта с целью ускорения процесса диффузионного извлечения целевого компонента является одной из важнейших стадий подготовки сырья. Однако в каждом частном случае вопрос о степени измельчения необходимо решать по мнению Shen Z. и Palmer M., таким образом, чтобы не возникли серьёзные затруднения при разделении жидкой и твёрдой фаз в конце процесса, когда заканчивается извлечение целевого компонента из твёрдой фазы в растворитель.

Как правило, в каждом производстве для сырья, поступающего в цех экстрагирования, техническими условиями или соответствующими ГОСТами определяется, какой товарный вид должны иметь все исходные материалы и каким требованиям они должны удовлетворять.

Например, по данным Тихомоловой К.П., при использовании методов экстрагирования для приготовления сложных химико-фармацевтических продуктов, называемых обычно галеновыми, растительное сырьё измельчают так, чтобы оно проходило через сита № 3 – 6, имеющие отверстия от 0,19 до 3 мм (материал, проходящий через указанные сита, содержит примесь только более мелких частиц). Другим приме-

ром экстрагирования растительного сырья может служить экстрагирование водой сахаров (глюкозы, ксилозы и других) из гидролизованной древесной щепы [23, 131].

Таким образом, для всех процессов экстрагирования размер частиц является очень важным параметром, влияющим на скорость процесса. В свою очередь, оптимальная дисперсность зависит от внутренней структуры материала, его набухаемости, смачиваемости и других физических свойств [11, 14, 155]. По-видимому, для каждого процесса экстрагирования опытным путём может быть подобран наиболее выгодный размер частиц, обеспечивающий максимальную полноту извлечения. Выбранный размер следует оценивать (с точки зрения его оптимальности) в совокупности с другими факторами позволяющими интенсифицировать процесс извлечения.

Для расчёта гранулометрического состава и функций распределения дисперсных материалов предложено большое число эмпирических формул [37, 70]. В большинстве случаев состав полидисперсного слоя твёрдой фазы определяют с помощью уравнения Розина – Раммлера по данным ситового анализа:

$$R(r) = 100 e^{-br^a} \quad (6)$$

где $R(r)$ – кривая распределения частиц (оставшихся на сите) по размерам; a и b – постоянные, определяемые по опытным данным, причём a характеризует степень однородности материала (чем больше a , тем уже материал по диапазону размеров частиц).

Уравнение Розина – Раммлера было модифицировано Беннетом, который ввел новый параметр r^e , причём коэффициент b с r^e связан следующей зависимостью:

$$b = 1 / r_e^a \quad (7)$$

Тогда кривую распределения частиц можно определить по следующей формуле:

$$R(r) = 100e^{(-r/r_e)^a} \quad (8)$$

Параметр r^e представляет собой такой размер, при котором масса частиц крупнее r^e составляет 36,8 %, а мельче r^e – 63,2 %. Эти значения получаются при рассмотрении $R(r)$ совместно с другой функцией распределения – $D(r)$, характеризующей состав частиц, прошедших через сито;

$$D(r) = 100\left(1 - e^{-(r/r_e)^a}\right) \quad (9)$$

При $r = r^e$,

$$R(r) = 100 \frac{1}{e} \approx 36,8\%; \quad D(r) = 100\left(1 - \frac{1}{e}\right) \approx 63,2\% \quad (10)$$

Плотность распределения массы частиц твёрдой фазы по радиусам определяют дифференцированием уравнения кривой распределения частиц:

$$r(r) = 100a(r/r_e)^{a-1}e^{-(r/r_e)^a} \quad (11)$$

Средний размер частиц рассчитывают (используя уравнения Розина – Раммлера) по различным формулам, приводимым в ряде работ, с учётом определяющих свойств данной системы.

Экспериментально, на примере извлечения сахара из свекловичной стружки, установлено влияние размеров экстрагируемых частиц на интенсивность внешнего массообмена в большинстве типов применяемых экстракторов (кроме колонных, где практически внешним диффузионным сопротивлением можно пренебречь). Таким образом, для свеклосахарного производства размер частиц является важнейшей характеристикой процесса, путём изменения которой возможно регулирование процесса. Интенсивность массообмена в этом случае характеризуется числом Био ($Bi_d \approx 100$). Размер частиц $r_s = 1,4 - 2,3$ мм в колонных экстракторах, $1,46 - 2,2$ мм в ротационном и $1,75 - 2,2$ мм в корытных [70].

Установлено [87], что для экстрагирования жидким диоксидом углерода лучшим в смысле полноты извлечения экстрактивных веществ является лепесток толщиной $0,1 - 0,2$ мм. Это объясняется, в частности тем об-

стоятельством, что лепесток обладает более высокими дренажными свойствами, чем крупка. В результате придания сырью лепестковой структуры растворитель имеет более свободный доступ к измельчённым частицам сырья.

Общая оценка влияния измельчения на процессы твёрдофазного экстрагирования проводится в соответствии с законом Фика, согласно которому степень экстрагирования можно увеличить прямым воздействием на разность концентраций (т.е. на движущую силу процесса) и на величину межфазной поверхности (т.е. на размер частиц экстрагируемого материала). При этом следует учитывать, что выбор оптимального размера частиц в основном определяется двумя факторами: 1) строгими требованиями к фильтруемости (или отстаиванию) образующихся систем жидкость – твёрдое тело; 2) большими энергетическими затратами на измельчение.

1.1.4 Влияние гидродинамических условий на процессы экстрагирования

Большинство существующих способов экстрагирования дают хороший эффект только благодаря улучшению гидродинамики в процессе экстрагирования. Создание необходимых гидродинамических условий возможно многими способами. Во всех этих способах экстрагент движется относительно сырья. Кроме движения экстрагента, улучшение гидродинамических условий возможно с помощью перемешивания, вибрации (низко- и высокочастотной), циркуляции растворителя, создания колебаний, воздействия центробежных сил, воздействия мощных вихрей, гидравлического удара электрических разрядов, электрических и магнитных полей и т.д.

Даже лёгкое перемешивание позволяет сократить время каждого экстрагирования с 10 до 3 – 4 ч. [2, 80]. Ключкин В.В. считает весьма эффективным использование вибрации, которое позволяет снизить время экстрагирования некоторых видов сырья до 1 ч (в 50 раз по сравнению с простым

настаиванием), при увеличении выхода вещества на 10%. Применение низкочастотных вибраций, колебаний и циркуляции экстрагента позволяет в 3 раза ускорить процесс экстрагирования, резко сократив время установления равновесия [60, 90]. При этом достаточно применить самые незначительные движения экстрагента, чтобы получить максимальный эффект (колебания частотой 33 Гц, амплитудой 0,001 м, скорость циркуляции экстрагента 0,02 м/с).

Разноречивые данные имеются в отношении влияния скорости движения экстрагента на эффективность экстрагирования. Повышение скорости движения экстрагента при экстрагировании жирных масел, существенного влияния на скорость экстрагирования не оказывает [173]. Процесс экстрагирования сахара из сахарной свеклы находится в прямой зависимости от скорости экстрагента [172]. Эти противоречивые результаты связаны с величиной критерия Re , которая может меняться в разных условиях. Наиболее полно гидродинамическое воздействие проявляет себя при экстрагировании в кипящем слое [153].

Развитием идеи гидродинамического воздействия явилось создание Лысянским В.М. и Гребенюком С.М. установки вихревой экстракции, принцип работы которой заключается в перемешивании смеси экстрагента и сырья с очень высокой скоростью. Здесь уже происходит не только перемешивание, но и частичное измельчение сырья в процессе экстрагирования. Время установления равновесия снижалось для различных видов сырья при этом до 25 – 55 мин.

Значительное ускорение экстрагирования достигается при использовании центрифуг, создающих мощный поток экстрагента через сырьё [170].

Создание благоприятных гидродинамических условий для процессов экстрагирования является одной из основных задач, её решение во многом позволяет оптимизировать процесс, но для процессов экстрагирования

протекающих при высоких давлениях данный способ является сложно реализуемым в конструктивном плане, а также требует дополнительной фильтрации готового экстракта.

1.2 Существующие способы интенсификации технологических процессов

Увеличить скорость диффузионного извлечения целевого компонента из твёрдого материала можно с помощью внешних силовых полей – НЧ, ультразвукового, центробежного, электрического, высокочастотного электромагнитного и др.

1.2.1 Низкочастотные механические колебания

Одним из направлений интенсификации массообмена является наложение внешних силовых полей, а именно, использование низкочастотных механических колебаний. За счёт возвратно-поступательного движения контактирующих фаз происходит относительное смещение жидкой и твёрдой фаз, что обеспечивает дополнительное межфазное трение и увеличивает конвективную диффузию, а следовательно коэффициент массообмена.

Установлено [170], что интенсификация переноса вещества связана с возможностью перемешивания его в капиллярах, особенно капиллярах, в которых поперечный и продольный размеры близки, причём величина поперечного размера превышает толщину диффузионного подслоя. При наложении низкочастотных механических колебаний увеличивается скорость движения растворителя, а также скорость проникновения и движения экстрагента в порах и капиллярах экстрагируемого материала. Это приводит к интенсификации процесса экстрагирования, увеличению скорости внутренней диффузии и более быстрому выравниванию концентрации внутреннего и внешнего раствора мисцеллы. На основании экспери-

ментальных данных выявлена наибольшая эффективность применения низкочастотных механических колебаний в начальный момент экстрагирования на стадии пропитки и установлено её влияние на интенсификацию последующего процесса экстрагирования. По данным Бусройда Д. для высокомасличного сырья оптимальные значения параметров – частота 12 Гц, амплитуда колебаний 0,004 м. Эффективность применения низкочастотных колебаний наиболее отчётливо выявляется в области малых размеров частиц. Изучено также положительное влияние низкочастотных колебаний (в пределах от 3 до 40 Гц) на скорость извлечения сахара из свекловичной стружки [172].

Известно, что вибрационные и пульсационные воздействия уменьшают застойные зоны в экстракторах и увеличивают коэффициенты массообмена (в частности, коэффициенты массообмена между застойными и проточными зонами в аппарате). Считается [114], что вибрации действуют эффективнее пульсаций. Например, в колонных экстракторах наложение пульсаций из-за большого гидравлического сопротивления слоя жидкой и твёрдой фаз воздействуют на процессы переноса локально, в пределах небольшого участка, тогда как вибрации, прикладываемые к шнеку, оказывают интенсифицирующее влияние во всём объёме аппарата.

Многочисленные исследования экстрагирования масел из растительных семян с применением вибраций также подтвердили их интенсифицирующее воздействие в зависимости от структуры и пористости, а также дисперсности материалов [37, 70].

Низкочастотные механические колебания эффективны при экстрагировании высокомасличного сырья. Для сырья с низким содержанием целевого компонента наложение низкочастотных колебаний не приводит к какой-либо значительной интенсификации. Кроме того, для данного способа характерны недостатки типичные для гидродинамических способов экстрагирования (см. §1.1.4).

Таким образом, для процессов экстрагирования протекающих при высоких давлениях данный способ является сложно реализуемым в конструктивном плане.

1.2.2 Ультразвуковые колебания

Ультразвуковые колебания оказывают разнообразное воздействие на систему жидкость – твёрдое тело, которое можно свести к следующим эффектам: 1) тепловое воздействие в результате поглощения ультразвуковой энергии; 2) ускорение процессов диффузии; 3) увеличение скорости обтекания твёрдых частиц; 4) улучшение условий обтекания твёрдых частиц (противодействие экранизации пор в твёрдом теле продуктами реакции или примесями) [175].

Качественно такие же эффекты, полученные при помощи низкочастотных акустических или механических колебаний, описаны Касиянчуком В.Д.. Для воздействия только на процессы диффузионного переноса использование ультразвука нерентабельно. Однако его гидродинамическое воздействие на массообмен представляет практический интерес.

При возбуждении в жидкости интенсивных ультразвуковых колебаний возникает сложное физическое явление – ультразвуковая (акустическая) кавитация. Кавитация в жидкости под воздействием ультразвука вызывает ускорение химических реакций, эрозию и другие явления.

Прочность жидкости ослаблена в местах, где имеются мелкие пузырьки газа, частички посторонних примесей и т.д. В образующихся разрывах и кавитационных пузырьках при их схлопывании в фазе сжатия в образующейся ударной волне развиваются большие местные мгновенные давления, достигающие десятков МПа [124]. Такие давления приводят к механическим разрушениям поверхности твёрдого тела.

Пока применение ультразвуковой кавитации сдерживается сравнительно малыми расстояниями от УЗ-генератора, на которых обнаруживается её действие.

Таким образом, для интенсификации массообменных жидкофазных процессов (к которым можно отнести растворение, экстрагирование и выщелачивание) можно с успехом применять мощный ультразвук. Действие упругих колебаний как ультразвукового, так и звукового диапазонов в жидкой среде позволяет использовать эти колебания для интенсификации самых различных процессов (таких, как диспергирование, эмульгирование и деэмульгирование, образование суспензий, смешение, кристаллизация, полимеризация и деполимеризация, многие химические реакции и т.д. [86, 88]). Наложение звукового поля на процесс растворения различных кристаллических веществ позволяет увеличить скорость растворения в 3 – 20 раз по сравнению с начальным неинтенсивным растворением в результате естественной конвекции [151]. При экстрагировании ультразвук может интенсифицировать процесс за счёт увеличения в акустическом поле проницаемости некоторых плёнок растительного или животного происхождения. В этих случаях процесс диффузионного переноса ускорялся примерно в два раза [88]. Наконец, в крупнопористых материалах эффект звукового давления может изменить механизм диффузионного переноса, увеличив общую скорость процесса извлечения за счёт интенсификации потоков в порах и капиллярах.

Влияние ультразвукового поля (звукового давления и ультразвуковой кавитации) на поверхностные силы может способствовать при определённых условиях резкому увеличению смачивания пор твёрдого материала, а также увеличению скорости движения жидкости (извлекаемого компонента или растворителя) [129].

Взаимодействие между жидкостью и твёрдой поверхностью играет большую роль, как в явлении смачивания, так и в технологических процессах, в основе которых лежит это явление.

Интенсификация экстракционных процессов может быть достигнута путём управления состоянием неравновесного пограничного слоя, однако существующие общие численные методы отличаются недостаточной точностью.

Действие ультразвука на экстрагирование объясняется Романковым П.Г и Dauksas E. с точки зрения улучшения гидродинамических условий процесса и повышением температуры смеси. В искусственно созданных условиях (интенсивное перемешивание и нагрев смеси сырья и экстрагента) эффект при экстрагировании сырья солодки не уступал эффекту, полученному при экстрагировании с помощью ультразвука частотой 880 кГц и мощностью 2 Вт/см² [151].

Предполагается [86], что при воздействии ультразвука нарушается пограничный диффузионный слой, кроме того, вследствие изменения давления при сжатии и разрежении может возникнуть эффект “губки“, при котором улучшается проникновение экстрагента в материал.

Касиянчук В.Д. распределяет доли отдельных факторов в эффекте ультразвука следующим образом: действие кавитации – 29 %, давление – 15 %, нагревание – 11 %, перемешивание – 45 %. Эффект кавитации наблюдается при больших мощностях ультразвука, поэтому при использовании для экстрагирования ультразвука небольшой мощности основным активным фактором ультразвука является перемешивание и нагрев.

В отношении СО₂-экстрагирования, наложение ультразвуковых колебаний также играет положительную роль, что неоднократно отмечалось в работах Г.И. Касьянова и других [85, 86, 88]. Вместе с тем нельзя не отметить, что при наложении ультразвуковых колебаний существенная ин-

тенсификация наблюдается в областях близких к источнику колебаний, а по мере удаления от него происходит быстрое затухание волн.

1.2.3 Воздействие электрических сил

Влияние на ткани растительного происхождения электрического поля до сих пор изучено очень слабо, но тем не менее определённые данные в этой области имеются и они свидетельствуют о перспективности данного направления.

Непосредственно преобразовать электрическую энергию в энергию колебательного движения можно с помощью высоковольтных разрядов в жидкости.

Одним из достоинств этого метода является способность возбуждения в жидкости импульсных акустических колебаний широкого спектра частот и амплитуд. Известно, что эти колебания способствуют повышению скорости обтекания частиц твёрдой фазы (при НЧ и больших амплитудах) и содействуют (при высоких частотах) устранению экранирования экстрагируемых частиц различными примесями (твёрдыми, газообразными) или продуктами реакции [139].

В последнее время установлена возможность интенсификации массообмена при экстрагировании с помощью низковольтного (≤ 380 В) электрогидравлического эффекта [123]. При этом переход электрической энергии в полезную механическую и тепловую работу непосредственно в жидкой среде сопровождается возбуждением импульсных колебаний широкого диапазона частот и амплитуд. НЧ компонента с большой амплитудой колебаний способствует повышению скорости обтекания частиц и снижению внешнедиффузионного сопротивления, а высокочастотная компонента колебаний способствует экранированию экстрагируемых частиц инертными твёрдыми или газообразными примесями либо продуктами реакции.

Существует большое количество исследований посвящённых использованию в технологических процессах сил взаимодействия электрического поля и электрических зарядов.

Однако, большинство запатентованных аппаратов, вследствие трудностей технического характера, осталось лишь в виде схемных решений и не нашло практического применения. Одной из причин неудачи этих попыток было отсутствие теоретических исследований в этой области.

В своё время Семагиной Н.В., была выдвинута и экспериментально подтверждена так называемая плазматическая теория сокоотдачи. Развитие этой теории открыло возможность разработки сравнительно простых методов электрической обработки сырья перед извлечением сока [133].

Биологам давно известно раздражающее влияние электричества на живую ткань. Растительное сырьё обладает достаточно высокой электрической проводимостью, однако прохождению через него электрического тока препятствуют полупроницаемые оболочки растения. Вследствие этого у полупроницаемых мембран как считает Тихомолова К.П. происходит изменение концентрации ионов. Неравномерное их распределение является причиной электрического раздражения клетки, всегда сопровождающееся увеличением её проницаемости [64].

Таким образом, при обработке растительной ткани электрическим током происходит изменение плазматической оболочки. Как результат этого возрастает проницаемость клеток, и выход сока увеличивается.

Исследования в области воздействия сильных электрических полей на материалы маслоэкстракционного производства проводились в очень небольших объёмах. Сырьё и растворители, на которые воздействует в данном случае электрическое поле, являются диэлектриками. Поэтому характер действия электрического поля на эту систему в корне отличается от упомянутого выше воздействия на ягоды и плоды, имеющие большую проводимость. Так как система имеет в своем составе кроме лепесткован-

ного сырья ещё и коллоидные, микрогетерогенные и грубодисперсные включения, то нужно предполагать, что мы имеем дело с очень сложной системой. Поэтому, как считает Эфендиев, эта смесь будет обладать всеми свойствами указанных систем.

В мировой практике широко используются методы воздействия электрических полей на жидкие диэлектрики. Наиболее изучены методы осаждения на электроды диэлектриков, различающихся своей полярностью.

Так, в радио- и электротехнической промышленности данный процесс используется для получения изоляционных покрытий на металлических поверхностях. Например, Н.Gould в своей статье описывает промышленную установку для получения покрытий на пермалоевых сердечниках.

В лёгкой промышленности метод электроосаждения взвесей из жидкости применяется для получения сложных резиновых изделий. Под действием электрического поля частицы латекса покрывают поверхность формы – электрода. Далее форма извлекается из ванны, подвергается термообработке и готовое изделие снимается с него. Качество получаемой продукции значительно выше, чем при использовании других известных методов [92, 93]. Таким же способом получают изделия из нитроцеллюлозы [74].

Подобная технология используется и в нашей стране. В статье [116] описываются исследования в области применения электрофоретического осаждения капрона.

В работе Мгебрешвили Т.В. и Сердюка В.И. [133] упоминается технология получения оксидных плёнок с помощью электрического поля и нанесения керамических покрытий.

В приведённых примерах метод создания гидродинамических течений в диэлектрических жидкостях применяется для осаждения материалов на электродах и получения покрытий, а не для экстрагирования материа-

лов. И тем не менее, сами процессы активной гидродинамики здесь очевидны.

За работами по электроосаждению у нас в стране появились работы Божко И.Г. и Мустяцы В.Т. по электроочистке жидкостей.

Имеются и другие работы по очистке жидкостей-электролитов в электрическом поле [82]. Но электроочистка электролитических жидкостей не всегда приемлема из-за небольшой производительности таких процессов и сопровождающими их электрохимическими изменениями жидкости. Основная причина в том, что жидкости-электролиты – проводники. Ток, идущий через них практически ограничивает эти процессы.

Совершенно другие условия складываются, если жидкость – диэлектрик. В этом случае токи очень малы и вторичные эффекты не мешают процессу очистки.

Раньше, чем других областях промышленности, разделение фаз в электрическом поле стало применяться в нефтяной промышленности.

Здесь на дегидрататорах в электрическом поле удаляется вода, которая в нефти присутствовала до того в виде мелких капель. В настоящее время электрообезвоживание и электрообессолевание нефтей широко применяется в нефтяной промышленности [82].

Данный метод используется так же для очистки жидких диэлектриков от взвешенных твёрдых частиц [54, 55].

Кроме того, была исследована возможность очистки керосина в электрическом поле от продуктов электроискровой обработки. Проведённые исследования позволили разработать аппарат для очистки керосина в электрическом поле. Качество керосина, очищенного на данной установке, не уступает по своим показателям керосину, очищенному путём многодневного отстаивания в больших резервуарах [74].

Применительно к процессам экстрагирования наложение электрических полей исследовалось главным образом в отношении извлечения соков с использованием электроосмоса и электролиза [170, 172].

Данных по воздействию сильных электрических полей на процессы маслоэкстракционного производства крайне мало.

Так, Мгебришвили Т.В. и Сирота Л.А. [133] проводили исследования по изучению процесса экстрагирования при наложении электрических полей применительно к технологии масложирового производства. Однако, нужно учитывать при этом, что введение высокого напряжения в производство делает его более опасным и требует большей квалификации и внимания от персонала.

1.3 Влияние ЭМП НЧ на биологические ткани

ЭМП НЧ малой мощности может вызывать резонанс в биологических объектах и тем самым гармонизировать работу биообъектов.

Пассивные электрические свойства биологических тканей характеризуются импедансом (полным сопротивлением), величина которого определяется ёмкостной, индуктивной и активной проводимостью тканей. Активная составляющая электропроводности на НЧ обусловлена в основном количеством и электролитным составом межклеточной жидкости, а на высоких частотах дополнительный вклад вносит электропроводность клеток. Так как резистивное сопротивление клеток включено последовательно с ёмкостью клеточной мембраны, то наблюдается явление частотной дисперсии электропроводности биологических тканей. Обладая высокими диэлектрическими свойствами и чрезвычайно малой толщиной, бислойные липидные мембраны характеризуются высокой удельной электроёмкостью [162]. Большая величина зарядной ёмкости мембран, а, следовательно, и ёмкостные свойства биологических тканей обусловлены значительной поляризационной способностью диэлектрика мембран, зависящей от

её относительной диэлектрической проницаемости. На высоких частотах выключаются механизмы поляризации с замедлением времени релаксации, поэтому с повышением частоты ёмкость тканей должна уменьшаться, так же как и при повышении диэлектрической проницаемости.

В области НЧ импеданс тканей определяется, в основном, их ёмкостными и индуктивными свойствами. В области средних частот – резистивными и ёмкостными свойствами. В области высоких частот электрические свойства тканей носят ёмкостной характер (мембраны, липиды). Замедленные механизмы поляризации в этой области частот могут приводить к значительным диэлектрическим потерям в тканях (нагревание). Таким образом, живую клетку можно представить в виде колебательного контура с ёмкостью и индуктивностью, причём ёмкость (мембрана) определяется свободно радикальными реакциями и системой антиоксидантной защиты.

Колебательный контур обладает таким свойством, как индуктивность – способностью возбуждать электрический ток в другом контуре или замкнутом проводнике благодаря своему магнитному моменту. Генерирование импульсов электромагнитного поля от единиц до десятков Гц является характерной особенностью нормального функционирования различных органов человека. В виде колебательного контура можно представить себе не только клетку, но и более высокие уровни организации живой материи: ткани и органы с различным преобладанием путей окисления глюкозы, системы органов и весь организм в целом как равновесную систему колебательных контуров. Система кровообращения сама по себе тоже представляет собой каскад замкнутых проводников от петель капилляров до большого и малого кругов кровообращения. Различный импеданс венозной и артериальной крови создаёт условия для взаимовлияния органов друг на друга. Электрические свойства крови определяются количеством в ней гемоглобина, кислорода, других циклических соединений, белково-

электролитным составом, а также скоростью кровотока. Таким образом, электромагнитное поле может интегрировать работу всего организма, создавая и сохраняя специализацию различных тканей. А система кровообращения является тем посредником, через который осуществляется регуляция.

Поэтому нельзя игнорировать экологическую сторону процесса интенсификации с помощью ЭМП НЧ, так как к данному воздействию чувствительны не только растительные клетки, но и клетки и органы человека.

Электромагнитные колебания, существующие внутри самого живого организма только отчасти зависят от колебаний, существующих вне организма. Различные исследования показывают большой вклад индуктивности в полное сопротивление тканей. Хотя собственные колебания организма и возбуждаются колебаниями внешних электромагнитных полей, но затем они образуются в организме вновь, в специфической форме. Каждый орган и каждая клетка обладает своим специфическим спектром колебаний, своими специфическими характеристиками этих колебаний (формой и видом, а также частотой). Поддержание этих колебаний зависит от "добротности" резонатора клетки, органа, ткани или организма в целом. Если "добротность" резонатора нарушена или отсутствует, могут возникнуть инкогерентные, неадекватные, патологические электромагнитные колебания.

Специфические реакции организма человека на воздействие искусственного электромагнитного поля были обнаружены только при переходе на малые интенсивности НЧ в диапазоне от 0,1 до 100 Гц ЭМП (когда напряжённости поля, индуцированного внутри организма были существенно меньше $0,1 \text{ В/см}^2$). Следует отметить, что при напряжённости внешнего поля порядка 10 В/м экспериментально измерить значения поля, индуцированного внутри организма, практически невозможно. Они получены расчётным путем и составили от 10^{-6} до 10^{-7} В/м . Наличие реакции

организма на столь малые напряжённости поля не противоречит общепринятым физическим оценкам, основанным на отношении сигнал/шум. Действительно, поскольку управление физиологическими процессами осуществляется с помощью процессов с полосой пропускания порядка 1 Гц, то при удельном сопротивлении нервных тканей $R = 300 \text{ Ом/см}$ напряжённость тепловых шумов составляет $U_{\text{ш}} = 10^{-9} \text{ В/см}$, то есть на порядок ниже приведенных выше значений напряжённости. При сопоставлении воздействий искусственных и естественных НЧ в диапазоне от 0,1 до 100 Гц на человека следует также учитывать, что воздействие искусственных электромагнитных полей кратковременно, его продолжительность значительно меньше жизни человека; воздействие же естественных электромагнитных полей осуществляется непрерывно в течение всей жизни. В этой связи можно ожидать, что для получения эффекта при воздействии искусственным ЭМП его напряжённость должна быть выше.

1.4 Воздействие ЭМП на человека

К настоящему времени известно, что все диапазоны электромагнитного поля оказывают влияние на здоровье и работоспособность людей, причём последствия этого влияния могут быть весьма отдалёнными [67, 96, 119, 152]. Однако мало кто осознаёт тот факт, что за последнее столетие окружающая электромагнитная обстановка радикально изменилась и вся жизнь современного человека проходит в условиях повышенной концентрации неблагоприятных электромагнитных факторов. Обычно, говоря о неблагоприятном воздействии искусственных электромагнитных полей, имеют ввиду излучение бытовой техники, наводок питающей сети, транспорта и линий электропередач. Всё это справедливо, но это лишь малая часть проблем, возникающих у человеческого организма при адаптации к новым электромагнитным условиям. С развитием технологической цивилизации появились не только новые приборы и транспортные средства.

Изменился тип жилья – вместо деревянных или каменных домов возникли железобетонные конструкции, экранирующие привычные для биообъектов естественные, пространственно квазиоднородные ЭМП, и создающие локально непредсказуемые распределения техногенных наводок. Вместо натуральных хлопковых, шерстяных или льняных тканей, практически не изменяющих распределение поверхностных зарядов на теле человека появились синтетические изделия на порядки (!) увеличивающие электрическое поле на поверхности кожи. На поверхности пластмассовых изделий, окружающих нас в быту, наводится огромный электростатический заряд. И это лишь краткий перечень резко изменившихся за последнее столетие электромагнитных условий, окружающих человека. 100 лет – слишком незначительное время для устойчивых адаптационных изменений человеческой популяции. Поэтому на данный момент речь скорее может идти не о приспособлении, а о технологии выживания человека как биологического вида в условиях повсеместного техногенного загрязнения среды обитания. Когда изменения внешних условий столь глобальны, а возможные последствия весьма отрицательны, то это уже экологические проблемы, которые должны решаться и рассматриваться комплексно, на уровне государственных программ и содружества ученых различных специальностей.

1.4.1 Обеспечение электромагнитной безопасности

Вся история биологического развития есть история адаптации живых организмов к изменениям естественных ЭМП, поэтому их влияние на человека весьма неоднозначно – как их резкие изменения, так и их отсутствие может привести отрицательным последствиям. Избыточное же воздействие искусственных ЭМП на человека в силу их большой распространённости может оказаться более опасной, чем радиация [61, 37, 103, 140].

Все окружающие ЭМП можно поделить на две группы: искусственные или техногенные, вызванные промышленной деятельностью человека,

и естественные, вызванные наличием у Земли собственного магнитного поля, постоянно действующего на любой биологический объект. Опишем основные различия в биологическом воздействии искусственных и естественных ЭМП и соответствующие различия в обеспечении экологической безопасности. Техногенные электромагнитные поля отличаются простой частотной организацией, импульсной структурой, обладают на порядки большей интенсивностью и неравномерностью локализации по пространству. Их длительное воздействие приводит к необратимому слому организма. Однако, поскольку основным действующим фактором в случае техногенных ЭМП является мощность излучения, а распределение весьма локально, то их негативного влияния можно избежать, изменив место нахождения человека, время пребывания его в неблагоприятной зоне или экранировав рабочее место. Действующим агентом естественных магнитных полей являются вариации магнитного поля Земли, вызванные раскачиванием магнитосферы выбросами солнечного вещества, так называемыми магнитными бурями. Особенностью магнитных бурь является их одновременность и всеобщность для всей поверхности Земного шара, а так же сложная внутренняя частотная структура. Магнитные бури вызывают целый комплекс изменений во всех параметрах окружающей среды. В процессе эволюции биологические объекты приспособились к наличию постоянных вариаций магнитного поля (МП) Земли и изменения, вызываемые ими в организме человека, находятся в пределах его адаптационных возможностей. Более того, для здоровых организмов магнитные бури служат своеобразными «сигналами точного времени», синхронизируя работу внутренних органов и позволяя подстраивать внутреннюю ритмику организма под ритмику окружающей среды. Поэтому воздействие магнитных бурь является информационным, а длительное экранирование естественных МП приводит к ухудшению самочувствия (ярким примером неблаго-

приятной экранировки являются метро, подземные бункеры и подводные лодки).

Естественные ЭМП. С точки зрения медицины и магнитобиологии в настоящее время уже не вызывает сомнений тот факт, что ЭМП естественного происхождения (естественный электромагнитный фон Земли) следует рассматривать как один из важнейших экологических факторов [61, 96, 154]. Считается [119], что без магнитного поля жизнь на Земле вообще не развивалась бы, так же как без солнечной энергии, воды или некоторых химических элементов. Возникающие время от времени геомагнитные возмущения влияют на физико-химические процессы и через них – на направленность биохимических реакций. Вариации МП Земли обычно характеризуются периодами порядка суток-двух, с увеличением амплитуды при возрастании геомагнитной широты места наблюдения. При этом во время сильных магнитных бурь спектр геомагнитных вариаций смещается в область коротких периодов, то есть в область собственных частот, характерных для различных систем и органов человеческого организма. Наибольшим биоэффективным воздействием обладают магнитные бури с устойчивыми колебаниями на частотах из диапазона 0,01 – 40 Гц [154]. Наличие естественных ЭМП в окружающей среде является совершенно необходимым для существования нормальной жизнедеятельности, а их отсутствие или дефицит приводит к серьёзным негативным, порой даже необратимым последствиям для живого организма. При удовлетворительных адаптивных возможностях человека стресс-реакция организма субъективно не ощущается, а магнитная буря носит позитивный характер и оптимизирует функциональное состояние. При недостаточной способности к адаптации за кратковременным повышением работоспособности и психологическим перевозбуждением следует расплата в виде обострения хронических болезней и депрессии, в крайних случаях – до инфарктов, инсультов или летального исхода. Степень процессов синхронизации и десинхро-

низации определяется только индивидуальными адаптивными особенностями обследуемого и состоянием отдельных "проблемных" органов. Таким образом, необходимость принимать меры защиты от влияния естественных геомагнитных возмущений (магнитных бурь) в первую очередь актуальна для людей с ослабленным здоровьем. При этом, чем выше географическая широта проживания, тем более сильное воздействие на организм человека оказывают магнитные бури.

Гипогеомагнитные поля и помещения. Мы рассмотрели воздействие «избыточных» вариаций естественного ЭМП Земли. Теперь необходимо рассмотреть, к каким последствиям приводит длительное экранирование человека от привычной среды. В наши дни все больший интерес вызывает проблема здоровья и защиты людей, по роду своей работы или деятельности длительное время находящихся на своих рабочих местах в обычных зданиях. Железобетонные конструкции ослабляют естественные ЭМП в несколько раз. В экранирующих естественные ЭМП герметически закрытых тонко и толстостенных помещениях (в самолетах, в космических аппаратах, в морских судах, в закрытой военной технике, в подземных сооружениях, в метро и т. д.) наблюдается ухудшение деятельности сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем [66]. Оказывается, степень отрицательного воздействия, например, МП на живой организм, прямо пропорциональна длительности его пребывания в экранированном помещении и коэффициенту ослабления МП. Так, например, пребывание в метро с коэффициентом экранировки естественных ЭМП 5 – 10 раз и одновременным десятикратным превышением (по сравнению с естественным) уровня искусственных ЭМП, может вызывать у человека головные боли и сердечные приступы уже за 30 минут поездки на этом виде транспорта. Длительное воздействие гипогеомагнитных полей (это суперпозиция постоянных полей, создаваемых ослабленным МП Земли, полей ферромагнитных частей строительных конструкций и полей создаваемых постоян-

ными токами, протекающими по этим конструкция) на человека приводит к снижению его работоспособности, негативному действию на его здоровье. Такие поля являются биологически активным фактором, вызывающим ряд изменений на физиологическом, биохимическом и морфологическом уровнях функционирования организма. Исследования показали, что биологическая граница, разделяющая безопасные и вредные условия труда при наличии гипогеомагнитных полей характеризуется коэффициентом его ослабления относительно естественного МП открытого пространства равным 2.

Результаты клинико-физиологических обследований лиц, длительное время работавших в экранированных гипогеомагнитных помещениях (при коэффициенте ослабления геомагнитного поля в 4...10 раз), свидетельствуют о развитии у них ряда функциональных изменений в ведущих системах организма.

1.4.2 ЭМП искусственного происхождения и нормы экологической безопасности

Человек не имеет органов чувств для восприятия ЭМП, однако, ЭМП могут вызывать снижение иммунитета, увеличивать риск заболеваний. Одной из наиболее чувствительных систем к действию относительно слабого ЭМП НЧ является нервная [66]. Энергетическая нагрузка от электромагнитных полей в промышленности и в быту возрастает постоянно в связи со стремительным расширением сети источников физических полей электромагнитной природы, а также с увеличением их мощностей. Известно, что уровень помех с частотой питающей сети 50 Гц в обычных лабораторных условиях может превышать вариации МП Земли в тысячу и более раз. Помехи от электрифицированного транспорта имеют импульсный характер и составляют по амплитуде десятки нТл на расстоянии в сотни метров. Спектральный состав городских помех практически перекрывает спектры

всех известных сигналов от биологических объектов! Электрические поля промышленной частоты окружают нас круглые сутки, благодаря излучениям от электропроводки, осветительных средств, бытовых электро- и электронных приборов, линий электропередачи и т. п. Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных исследователей свидетельствуют о высокой биологической активности ЭМП во всех частотных диапазонах.

При относительно высоких уровнях воздействующего ЭМП современная теория признает тепловой механизм воздействия. При относительно низком уровне ЭМП (к примеру, для радиочастот свыше 300 МГц это менее 1 мВт/см) принято говорить о нетепловом или информационном характере воздействия на организм. Механизмы действия ЭМП в этом случае ещё мало изучены. Варианты воздействия ЭМП на биоэкосистемы, включая человека, разнообразны: непрерывное и периодическое, общее и местное, комбинированное от нескольких источников и сочетанное с другими неблагоприятными факторами среды и т.д. На биологическую реакцию влияют следующие параметры ЭМП:

- интенсивность ЭМП (величина);
- частота ЭМП;
- продолжительность воздействия;
- модуляция сигнала;
- сочетание частот ЭМП;
- периодичность действия.

Наиболее чувствительными к ЭМП системами организма человека являются нервная, иммунная, эндокринная, сердечно-сосудистая и половая. Эти системы организма являются критическими. Человек не способен физически ощущать окружающее его ЭМП, однако оно вызывает уменьшение его адаптивных резервов, снижение иммунитета, работоспособности, увеличивает риск заболеваний. Во всех странах с каждым годом уже-

сточаются допустимые нормы воздействия электромагнитных излучений на специалистов и население. Особенно опасно действие электромагнитных излучений на детей, подростков, беременных и лиц с ослабленным здоровьем. В настоящее время, как в России, так и за рубежом, регламентация ЭМП промышленной частоты осуществляется отдельно для электрической и магнитной составляющих, без учёта того, что в большинстве случаев, как в производственных условиях, так и в быту ЭМП действуют на человека совместно. Вопрос об одновременной регламентации обеих составляющих ЭМП представляет достаточную трудность, так как требует определения и анализа вклада каждой из них во влияние на здоровье человека. Согласно давних традиций в нашей стране, гигиеническая регламентация ЭМП в различных частотных диапазонах основана на результатах гигиенических, клинических и эпидемиологических исследований.

Впервые наиболее жесткие нормы были разработаны в Швеции (стандарты MPR I, MPR II, TCO 91, TCO 95, TCO 99 и TCO 03). Эти нормативы включены в официальные документы ЕЭС и являются основополагающими для создания базового стандарта стран ЕЭС. Предлагаемые в них требования отражают современные понятия степени биологической безопасности с одной стороны и технические возможности электронной промышленности с другой стороны. В России разработаны аналогичные государственные стандарты. На настоящий момент времени для специалистов - компьютерщиков и пользователей компьютерной техники установлено ограниченное время пребывания в электрическом (магнитном) поле напряжённостью более 25 В/м (250 нТл) и 2,5 В/м (25 нТл) в диапазонах частот соответственно 5 Гц – 2 кГц и 2 – 400 кГц, которое регламентируется выпущенными стандартами и санитарными нормами и правилами. Однако, как показывает опыт, установленных в действующих нормативных документах требований на практике оказывается недостаточно для обеспе-

чения нормальной для здоровья человека электромагнитной обстановки в помещениях, где производятся работы с компьютерами.

В последние годы появились достоверные научные факты и исследования, неоспоримо доказывающие влияние на человеческий организм ЭМП (в том числе и промышленной частоты 50 Гц), которые окружают человека в быту, на производстве и в транспорте [28, 66, 140, 149]. Несмотря на это, у физиков ещё нет общепризнанного понимания того, какой именно механизм лежит в основе воздействия слабого ЭМП НЧ на человека. На данный момент ясен практический вывод: следует всячески избегать длительного их воздействия на людей. Особенно опасна составляющая ЭМП – МП. При этом считается весьма опасным длительное воздействие МП напряжённостью более 0,16 А/м (200 нТл). Поскольку отсутствуют новые государственные нормативные документы, устанавливающие для населения безопасные уровни МП на частоте 50 Гц, следует держаться подале от источников ЭМП. Следует иметь в виду, что интенсивность ЭМП очень быстро падает с увеличением расстояния от источника. Например, уровень напряжённости МП величиной 2,4 А/м (3 мкТл), зарегистрированный на расстоянии 0,3 м от источника ЭМП, уменьшается до 0,08 А/м (100 нТл) уже на расстоянии 1 м, что является по современным понятиям вполне безопасным.

Надо отметить, что понимание важности этой проблемы постепенно проникает и в управленческие структуры. Так, например, в Москве создан Центр электромагнитной безопасности (<http://www.tesla.ru>), а по Постановлению № 143-ПГ от 21.04.99 г. губернатора Московской области все учебные и рабочие помещения, содержащие компьютерную технику, должны проходить сертификацию на электромагнитную безопасность. 12 марта 1999 г. Государственной Думой был принят Федеральный Закон (№52-ФЗ) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», а 23 июня 1999 г. – Федеральный Закон (№181-ФЗ) «Об основах охраны труда в Рос-

сийской Федерации», которые направлены на создание условий труда, соответствующих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности и населения в быту, на улучшение среды обитания человека, в которой отсутствует вредное воздействие таких физических факторов как ЭМП, создающее угрозу жизни или здоровью человека либо угрозу жизни или здоровью будущих поколений. На основании СанПиН [132] разработан и с 1 января 2002 г. впервые введён в действие ГОСТ Р 51724-2001 «Экранированные объекты, помещения, технические средства. Поле гипогеомагнитное...» регламентирующий методику измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам. В любом случае, в 21 веке проблемы электромагнитной экологической безопасности населения должны будут решаться на государственном уровне.

В заключение подчеркнём ещё раз, что естественные и искусственные ЭМП имеют разную частотную структуру, пространственное распределение, амплитуду и обладают различным действием на живые организмы. Это – единственное, что позволяет человечеству до сих пор выживать как виду в условиях промышленного электромагнитного загрязнения. Создавая новые производства, технологии и материалы цивилизация интегрально создала новую среду обитания, среду, перегруженную искажениями ЭМП, среду, к существованию в которой человеческий организм ещё просто не успел адаптироваться (и неизвестно, сможет ли когда-нибудь адаптироваться вообще). Поэтому вопросы электромагнитной экологической безопасности должны решаться комплексно, сочетая в себе научно-исследовательскую работу, сертификацию помещений и предметов быта на электромагнитную безопасность с широкой просветительской программой среди населения.

1.5 Выбор эффективного метода экстрагирования ценных компонентов из растительного сырья

Итак, рассмотрев основные направления и методы интенсификации, можно заметить, что традиционные и некоторые новые приёмы регулирования технологических параметров экстрагирования не позволяют эффективно воздействовать на ход процесса.

Эти наблюдения относятся к процессам CO_2 -экстрагирования, возможно даже в большей степени, чем к другим, поскольку условия CO_2 -экстрагирования в докритической области имеют весьма жёсткие границы, связанные с применением экстрактов в основном в пищевой промышленности.

Длительность процессов экстрагирования при существующей технологии, не отвечает современным требованиям производства, а также не экономично в плане энергопотребления. Кроме того сокращение времени процесса позволило бы создать непрерывно действующее оборудование.

Поэтому, наиболее технологичным способом интенсификации процесса CO_2 -экстрагирования растительного сырья, вероятно, был бы такой способ, при котором глубже используются свойства самого сырья.

В данном параграфе на основе анализа научно-технической литературы последних лет и информационного массива Internet мы произведем выбор нового эффективного способа интенсификации процесса CO_2 -экстрагирования из растительного сырья.

Факт аномально высокого биологического воздействия МП с магнитной индукцией в несколько мТл на биообъекты, как животного так и растительного происхождения в настоящий момент не вызывает сомнения [76, 78, 157, 169]. Однако механизм этого воздействия остаётся нераскрытым. Это связано, по всей видимости с многоступенчатым характером действия МП на биообъекты, одновременным наличием нескольких конкурирующих между собой механизмов влияния, малостью первичных био-

химических изменений усиливаемых в последствии биообъектами за счёт внутренних резервов, острорезонансным характером эффектов от частоты МП, высокой критичности наблюдаемых эффектов к напряжённости воздействующего поля, чувствительностью биообъектов к изменениям напряжённости МП Земли, длительности воздействия, температуре среды. Перечисленные факторы приводят к усложнению статистической интерпретации полученных экспериментальных данных.

Есть также эксперименты, посвящённые изучению влияния переменного МП на биообъекты, выполненные с использованием поля с амплитудами V_{AC} , составляющими десятки или сотни мкТл [12, 48, 103, 121]. Вместе с тем имеется ряд сообщений, свидетельствующих о том, что слабые переменные МП с величинами магнитной индукции, соответствующими нанотесловому и даже пикотесловому диапазонам, также способны индуцировать эффекты в биологических объектах [4, 9, 13, 21, 26]. Существуют данные о влиянии на человека и животных МП НЧ, создаваемых токами промышленной частоты (50 Гц в России, 60 Гц в Америке) [13, 16, 20, 22].

Важно отметить, что в абсолютном большинстве случаев эксперименты с переменными МП и, в частности, со слабыми переменными МП выполняются на фоне постоянного МП Земли, величина магнитной индукции которого V_{DC} составляет примерно 50 мкТл [6, 15, 19]. Соответственно, в общем случае термин слабые переменные МП означает, что используется комбинированное МП, содержащее постоянную и слабую переменную компоненты. Учёт этого обстоятельства важен для понимания физического механизма воздействия слабого переменного МП на биологические объекты [103].

Следует подчеркнуть, что влияние переменных МП с амплитудами не менее 10 мкТл на свойства биообъектов, как правило, не вызывает сомнений. Вместе с тем некоторые авторы отрицают даже принципиальную

возможность биологического действия переменных МП с индукцией менее 10 мкТл [1, 34]. Вопреки утверждениям о том, что "...существование биологических эффектов низкочастотных МП с амплитудами, меньше либо равными 2 мкТл, представляется невероятным в рамках современной физики и биологии..." [34], появляется всё больше экспериментальных данных относительно влияния слабых переменных МП на свойства биообъектов.

В [165] отмечается уменьшение интенсивности движения, угнетение роста и размножения одноклеточных микроорганизмов. В [3, 27] исследовались растения и отмечались: изменение скорости движения протоплазмы, увеличение скорости прорастания корешков и проницаемости клеточной оболочки, направление распространения корешков вдоль силовых линий и т.д. В большинстве работ указывается, что наблюдаемый эффект реализуется через ферментативные процессы.

Более всего в изучении действия переменных МП продвинулись в области биологии и медицины, однако, там тоже нет единой теории, а изучение направлено на воздействие ЭМП на биообъект в целом (органы и организм в целом). Исследований на клеточном уровне и воздействий на сырьё проводилось весьма мало.

Впервые связь между возрастанием солнечной активности и распространением различных заболеваний была установлена А.Л.Чижевским на основе обработки многолетних статистических данных. А.Л.Чижевским было показано, что вспышки эпидемий чумы, холеры, дифтерии, гриппа и других заболеваний совпадают с периодами возрастания солнечной активности [168].

В настоящее время в результате обобщения большого количества работ известно, что постоянное МП существенным образом может изменять скорость и характер роста микробов [39].

В однородных МП ($624 \cdot 10^2 \div 368 \cdot 10^3$ А/м) замедляется образование почек у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Подобный эффект наблюдался у дрожжей в поле меньшей напряжённости 30 А/м. Неоднородные и однородные постоянные МП напряжённостью $12 \cdot 10^4$ А/м не оказывали существенного влияния на дрожжи, бактерии и бактериофаги [174].

Исследования, проведённые с фотобактериями, показали, что в магнитоспокойные дни биолюминесценция бактерий рода *Photobacterium* стационарна, но существенно изменяется во время магнитных бурь [50, 52].

Теоретические и экспериментальные изыскания, проведённые большим количеством исследователей, показывают наличие у биообъектов определённых амплитудно-частотных окон к воздействию ЭМП. На основе этого эффекта разрабатывается промышленное оборудование для очистки сточных вод, заключающееся в размещении в полимерных волокнах труб магнитотвёрдых ферритов. Так исследования, проведенные со штаммами *Pseudomonas fluorescens* (Ps), показали, что наиболее благоприятны для их ускоренного развития слабые МП с $B = 0,1 \div 0,3$ мТл, при $B = 1,6 \div 5,8$ мТл рост микробных клеток замедляется и при $B = 10,4 \div 27,6$ мТл вновь наблюдается ускоренное развитие Ps [109].

Воздействие слабым МП, настроенным на циклотронный резонанс ионов полярных аминокислот, приводит к функциональной инактивации рекомбинантной обратной транскриптазы вируса саркомы Рауса и этот процесс сопряжён с индуцированием при действии резонансного МП процессом протеолиза исследуемого белка-фермента [171].

А.Ю.Матрончиком, Е.Д.Алиповым, И.Я.Беляевым обнаружено наличие резонансных эффектов коллинеарных постоянного и переменного МП для штамма *E.coli* K12 АИ1157. Согласно их исследованиям, изменение горизонтальной составляющей МП в диапазоне от 0 до 110 мкТл не оказывает влияния на величину резонансного эффекта ЭМП, изменение же вер-

тикальной составляющей в пределах от 126 до 133 мкТл существенно влияло на эффект обработки штамма ЭМП [113].

Исследования влияния гелиогеофизических факторов на периодический процесс формирования концентрических колец спорогенного мицелия установили зависимость этого процесса от возмущений ЭМП Земли [142].

Поскольку бактерии, как и все другие живые организмы, в процессе жизнедеятельности получают, обрабатывают и используют информацию об окружающем мире, то естественно в связи с высокой чувствительностью их к ЭМП возникает вопрос о наличии у бактерий канала коммуникации, благодаря различным физическим полям, иначе называемым дистанционным взаимодействием или митогенетическим излучением [118]. Возможно, что ведущая роль в дистанционном взаимодействии принадлежит именно слабым ЭМП.

По всей видимости, локальные изменения общего электромагнитного фона необходимо рассматривать как экологический фактор, имеющий такое же значение в жизнедеятельности микробов, как температура, влажность, давление, солнечная радиация и т.д.

Необходимо отметить, что микроорганизмы чувствительны к ЭМП и гораздо более высокочастотных диапазонов [68, 69, 130].

Наблюдения за морскими штаммами светящихся бактерий *Phaeiognathis* показало, что сверхвысокочастотное излучение в диапазоне частот от 36,2 до 55,9 ГГц с плотностью потока мощности от 1,3 до 48,0 мкВт/см² изменяет биолюминесценцию бактерий, при этом период изменения свечения составляет 40 минут [51].

Как правило, реакция бактериальных клеток на облучение зависит от физического состояния культуры, максимальное гашение люминесценции под действием ЭМП наблюдается в поздней стационарной фазе роста. Молодые клетки, как правило, проявляют тенденцию к восстановлению пер-

воначального уровня биолюминесценции после прекращения воздействия поля.

В процессе эволюции живая природа использовала естественные ЭМП внешней среды как источник информации, обеспечивающий непрерывное приспособление организмов к изменениям различных факторов внешней среды. На основе этого можно объяснить высокую чувствительность организмов к изменениям ЭМП, несущим информационные сигналы. Эффекты суммации таких сигналов в биообъектах осуществляют "настройку" этих биообъектов на восприятие ЭМП с определёнными параметрами. Нарушение регуляторных функций в биообъектах появляется при неадекватных интенсивностях воздействующих ЭМП, вносящих электромагнитные помехи, что ставит живой организм в зависимость от изменения параметров внешних ЭМП [126].

Если говорить об информации из внешней среды, то преимущества ЭМП по сравнению с другими носителями информации – звуком, светом, запахом и т. д. очевидны. ЭМП НЧ способны проникать во все среды обитания живых организмов – в глубины морей и океанов, толщу земной коры и, конечно же, в ткани живых организмов. Информация с помощью ЭМП может передаваться на любые расстояния по планете и при любых метеорологических условиях. Сезонные, месячные, суточные периодические изменения метеорологических факторов согласованы с периодическими изменениями гео- и гелиоэлектромагнитных полей, на что очень четко реагируют живые организмы, соответственно изменяя свою экзо- и эндогенную деятельность [167].

Поскольку влияние постоянного и НЧ ЭМП на микроорганизмы можно считать установленным, возникает вопрос возможности воздействия на различные микроорганизмы модулированных ЭМП.

Антоновым Е.В. с соавторами был открыт эффект приведения в механическую резонансную пульсацию клеток микроорганизмов за счёт воз-

действия амплитудно-модулированного ЭМП. Первоначально запатентованные на базе этого эффекта способы были предложены для обнаружения диэлектрических частиц (пузырьков газа, капелек жидкости).

Поскольку растительная клетка представляет собой диэлектрическую частицу, оболочка которой (стенки клетки) менее пластична, чем внутренность клетки — цитоплазма, являющаяся жидкостью близкой по своим электрическим свойствам к воде, то изменение параметров воздействующего сигнала приводит к изменению стягивающих сил в капле и к изменению её деформации. Подбором параметров электромагнитного сигнала можно добиться того, что деформация капли во времени будет осуществляться с её собственной резонансной частотой, при этом амплитуда периодической деформации капли будет максимальной и сила деформации может разрушить оболочку клетки или надорвать её. Так как размеры и форма клеток отличаются друг от друга, то приходится использовать модулированные сигналы. По мнению авторов, диапазон несущих частот сигнала может лежать в очень широких пределах. От несущей частоты зависит лишь глубина проникновения электромагнитной волны в биологический объект, а эффективность воздействия ЭМП зависит от формы сигнала, то есть его непосредственной модуляции [44, 46, 47].

Работа А.Б.Гапаева, Н.К.Чемерис, Е.Е.Фесенко, Р.Н.Храмова подтверждает выше приведённые результаты. Так, согласно их исследованиям, воздействие импульсно-модулированного поля крайне высокочастотного диапазона низкой интенсивности при частоте модуляции 0,0956 Гц приводит к уменьшению двигательной активности парамеций (*Paramecium caudatum*) [59].

Известны также работы, посвящённые одновременному воздействию кроме ЭМП нескольких ингибирующих факторов на микроорганизмы и состав минеральной среды [100, 102].

Как уже сообщалось выше, существует целый ряд гипотез, пытающихся объяснить воздействие ЭМП НЧ на биосферу и на клеточную структуру, в частности.

Были попытки объяснения действия ЭМП НЧ на низкомолекулярные органические молекулы, высказывалась также жидкокристаллическая гипотеза и др. [57].

В целом ряде организмов найдены ферромагнитные включения, для которых ориентирующее действие МП резко возрастает, что может служить ещё одной дополнительной причиной высокой чувствительности микроорганизмов к действию ЭМП.

У магнитобактерий, ориентирующихся в МП Земли и живущих в илистых водоёмах, функциональная роль ферромагнитных включений изучена наиболее полно. В результате исследований последних лет найден ещё один тип внутриклеточных магнитных или магниточувствительных структур у микроорганизмов – организованные органические структуры, обогащённые железом, принципиально отличающиеся по оформлению от кристаллических минеральных включений. Причём эти включения обнаружены у представителей самых разных физиологических групп, в том числе и патогенных бактерий *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* [45].

В работе В.В.Леднёва и др. [105] предложена модель магнитного параметрического резонанса в биообъектах. Однако, эта модель критикуется в работе Жадина [73], где указывается на маловероятность заметного влияния энергии квантов переменного МП порядка 10^{-13} эВ на фоне теплового движения с энергией 10^{-2} эВ. В работе Жадина проанализированы уравнения теплового движения иона в макромолекуле и показано, что вероятность параметрического резонанса в этой системе довольно мала. С другой стороны, возможен иной механизм – показано, что МП могут вызвать обогащение спектра колебаний иона внутри макромолекулы. Это увеличивает вероятность перекачки энергии от соседних атомов и комплексов в макро-

молекуле. В результате могут произойти изменения энергии теплового движения иона, составляющие несколько процентов или даже десятков процентов от его начальной тепловой энергии, что равносильно сдвигу температуры до десятка градусов. Этого вполне достаточно для триггерования изменения состояния иона в макромолекуле и изменения конформационного состояния макромолекулы.

В работе Сидоренко [150] показано, что в биообъектах при огромных значениях диэлектрической проницаемости биотканей возможно значительное усиление внешних электрических полей. Однако в этой работе совсем не учтено влияние проводимости, которая у биообъектов также значительна.

В работах Новикова В.В. и Фесенко Е.Е. с соавторами [120, 161] развивается иная концепция. Ими обнаружено влияние комбинированных МП на воду и водно-солевые растворы, причём амплитуды переменных МП близки к значениям естественных МП – они составляют десятки нТл, а результаты воздействия сохраняются в течение двух суток. Таким образом, предполагается, что рецептором ПемП является вода, правда, сам физический механизм воздействия на воду не обсуждается.

Все перечисленные работы основываются на возможностях вещества. Между тем, в ряде работ экспериментально показано, что свойства жизни превышают эти возможности [65]. В работе В.Л.Дятлова предложена модель поляризационного неоднородного модифицированного физического вакуума (эфира) [71]. Ещё Вернадским было введено предположение о различном качестве пространства внутри живых организмов и вне них [58].

Изменение общего электромагнитного фона также существенным образом сказывается на растениях. Так в настоящее время достоверно установлено, что экранирование растений от геомагнитного поля существенно изменяет ряд физиологических и биохимических показателей. При

ослаблении геомагнитного поля в 100 раз установлено торможение роста проростков семян гороха, чечевицы и льна, выяснено также, что при неспокойной магнитной обстановке в первые сутки после замачивания семян льна имеет место более быстрый их “старт” в обычных условиях, чем при экранировании геомагнитного поля [62].

В.М.Фомичева, В.А.Заславский, Р.Д.Говорун, В.И.Данилов зарегистрировали изменение динамики синтеза РНК и белков в клетках корней гороха, чечевицы и льна в условиях экранирования геомагнитного поля [163]. Проведённые этими учеными цитохимические исследования выявили определённую закономерность в реакции меристематических клеток различных видов растений на экранирование от геомагнитного поля, связанную с появлением свободного и слабосвязанного кальция в гиалоплазме клеток.

Таким образом, несмотря на то, что механизмы действия ЭМП на микроорганизмы до конца не ясны, чувствительность микроорганизмов к воздействиям слабым ЭМП НЧ не вызывает сомнений. Более того, имеются попытки использовать это явление для очищения водных сред.

Помимо выше перечисленных исследований влияния космофизических корреляций и слабых ЭМП на биофизические объекты известны и многие другие работы проведённые в последние годы, которые подтверждают высокую чувствительность биологических объектов к указанным воздействиям [56, 81, 94, 125, 156].

Таким образом, высокую чувствительность биообъектов растительного и животного происхождения к немодулированным и модулированным ЭМП можно считать доказанной. Однако, существующие на сегодняшний день экологические нормы воздействия ЭМП на окружающую среду разработаны без учёта параметров модуляции.

Несмотря на определённый, хотя и чрезвычайно медленный, прогресс в получении экспериментальных доказательств биологической эф-

фektivности некоторых типов слабых переменных МП, практически отсутствуют какие-либо общепризнанные представления о возможных механизмах биоэффектов таких полей. В свою очередь, для построения теоретических моделей взаимодействия слабых переменных МП с биообъектами и для проверки их достоверности необходимо иметь экспериментальные данные о зависимости величины биоэффектов от параметров используемого МП.

Рядом исследователей проводились работы по изучению действия МП НЧ диапазона [77, 104, 143, 144, 148], а также амплитудно- и частотно-модулированных МП у которых в качестве модулирующей частоты используются частоты НЧ диапазона на семена подсолнечника, сахарную свеклу и диффузионный сок полученный из корнеплодов сахарной свеклы [78]. В результате этих исследований установлено изменение физико-химических показателей диффузионных растворов сахарной свеклы и семян подсолнечника.

Экспериментальные данные дают основания предположить, что в основе биологического действия слабых переменных МП лежит индуцированная им частотная модуляция ЭМП, обусловленная прецессией соответствующих магнитных моментов в постоянном МП Земли. Появление биологических эффектов слабых переменных МП возможно, в конечном счёте, вследствие такой важной особенности частотной модуляции, когда при определённых соотношениях между амплитудой и частотой переменной компоненты поля амплитуды ближайших к несущей частоте спутников могут быть большими даже при очень малых величинах магнитной индукции слабых переменных МП.

В экспериментах [104] изучались биоэффекты комбинированного МП:

$$B = B_{DC} + B_{AC} \cos 2\pi f t \quad (12)$$

где B_{DC} и B_{AC} – величины магнитной индукции постоянной и переменной компонент поля, соответственно; f – частота переменной компоненты.

Согласно классическим представлениям, в постоянном МП происходит равномерная прецессия магнитных моментов (например, ядерных спинов) вокруг оси поля с частотой Лармора:

$$\mathbf{v} = \gamma \times B_{DC} \quad (13)$$

где γ – величина гиромагнитного отношения для данного магнитного момента. Добавление к постоянному полю коллинеарно направленной переменной компоненты приведёт к частотной модуляции ЭМП, генерируемого вращающимся спином. В этом случае амплитуда частотно модулированного поля может быть представлена в виде [127]

$$A = A_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n \left(\frac{\gamma B_{AC}}{f} \right) e^{i2\pi(\nu_0 + nf)} \quad (14)$$

Здесь A_0 – амплитуда ЭМП, излучаемого спином, вращающимся с частотой $\nu_0 = \gamma \times B_{DC}$; $J_n \left(\frac{\gamma B_{AC}}{f} \right)$ – функция Бесселя целого порядка n с аргументом $\frac{\gamma B_{AC}}{f}$, где γB_{AC} – ларморовская частота вращения спина в постоянном МП с величиной магнитной индукции, равной B_{AC} , т.е. равной амплитуде слабого переменного МП.

Важно отметить, что амплитуда и интенсивность боковых спутников излучения на частотах $\nu_0 + nf$ определяются величиной индекса модуляции $\frac{\gamma B_{AC}}{f}$ или аргументом функций Бесселя в выражении (14), т.е. соотношением амплитуды и частоты слабого переменного МП. Отсюда следует, что амплитуды боковых частот могут быть большими даже при очень малых величинах магнитной индукции слабого переменного МП при условии, что отношение $\frac{\gamma B_{AC}}{f} \cong 0,5 \div 3$. При значениях $\frac{\gamma B_{AC}}{f} \cong 0,5 \div 3$ интенсивность излучения на основной частоте будет "перекачиваться" на её ближайшие спутники, соответствующие значениям $n = 1$ и $n = 2$. Можно

предположить, что такое перераспределение интенсивности в частотно-модулированном спектре сигнала может служить пусковым сигналом в цепи межмолекулярных взаимодействий, в конечном счёте приводящих к экспериментально наблюдаемым эффектам слабого переменного МП.

Выражение (14) соответствует частотной модуляции ЭМП, излучаемого отдельным магнитным моментом (например, спином ядра атома водорода), возбужденным в момент времени $t = 0$. В реальном биообъекте имеется ансамбль магнитных моментов (спинов атомов водорода), возбуждаемых с постоянной скоростью в различные моменты времени. Интенсивность ЭМП, излучаемого таким ансамблем на частоте модуляции, т.е. на частоте слабого переменного МП, при значениях $0 < \gamma B_{AC}/f < 3$ может быть аппроксимирована выражением [17, 40, 42, 128]:

$$I = kJ_1\left(\frac{\gamma B_{AC}}{f}\right) \times \left[J_2\left(\frac{\gamma B_{AC}}{f}\right) - J_0\left(\frac{\gamma B_{AC}}{f}\right) \right] \times \cos 2\pi f t \quad (15)$$

где k – константа.

Фактически выражение (15) описывает интенсивность магнитного шума, создаваемого системой хаотически возбуждаемых магнитных моментов [41]. Возможно, что в цепь событий, в конечном счёте приводящих к трансформации магнитного шума в биологический эффект, может быть вовлечен механизм усиления сигнала типа стохастического резонанса [5, 18, 36].

Выражение (15) удовлетворительно аппроксимирует частотную зависимость величины биоэффектов в различных биологических тест-организмах, индуцируемых МП со слабой синусоидальной компонентой с амплитудой $B_{AC} = 1,6$ мкТл в области значений $0 < \gamma B_{AC}/f < 6,1$ (при значении $\gamma = 42,578$ Гц/мкТл, соответствующем спину ядра атома водорода). Методы и техника эксперимента описаны в работе [48]. В соответствии с выражением (15), наибольшие величины биоэффектов, т.е. активация ско-

ростей регенерации планарий и гравитропического изгиба в сегментах стеблей льна, достигаются при значениях $\gamma B_{AC}/f$ равных 0,9 и 2,75, соответственно, в то время как при $\gamma B_{AC}/f = 1,8$ эффект слабого переменного МП отсутствует.

Подводя итог изложенному, можно отметить следующее:

1 При больших производительностях производственных линий экстрагирования растительного сырья эффективнее производить в тех или иных силовых полях.

2 Учитывая малые затраты и наличие значимых эффектов, наиболее перспективной в данном случае представляется исследование экстрагирования растительного сырья в электромагнитном поле.

3 Биологические свойства сырья позволяют применять магнитные поля малой напряжённости. Это позволяет получить высокоэффективный способ интенсификации процессов экстрагирования.

4 Учитывая высокую чувствительность микроорганизмов к слабым магнитным полям, можно взять кишечную палочку *Escherichia Coli* К-12 в качестве тест-организма для проверки экологического воздействия на окружающую среду.

5 В связи с тем, что амплитудно-модулированное и частотно-модулированное электромагнитное поле, у которого в качестве модулирующих частот используются низкие частоты, оказывает аналогичное воздействие на биообъекты растительного происхождения, что и электромагнитное поле низкой частоты, а экранирование происходит аналогично экранированию поля несущей частоты, является перспективным исследование амплитудно- и частотно-модулированного переменного электромагнитного поля.

Применение электромагнитного поля имеет так же следующие преимущества:

а) глубокое проникновение сил магнитного поля в каждую частицу сырья;

б) энергоинформационное действие электромагнитного поля свидетельствует о чрезвычайной экономичности процесса в плане потребления энергоресурсов и простоте конструкции аппарата;

в) лёгкость управления процессом и удобство автоматизации процесса;

г) использование высокочастотной несущей частоты позволит легче экранировать данное электромагнитное поле от внешней среды.

Существующие данные по воздействию слабого ЭМП НЧ подтверждают правильность выбранного направления по разработке эффективного метода экстрагирования растительного сырья в электромагнитном поле.

Предлагаемые к реализации методы интенсификации процесса экстрагирования сжиженным CO₂ имеют определённые пределы совершенства. Неизбежно встаёт вопрос о разработке технологий и техники основанной на новых нетрадиционных физических принципах. Одним из таких новых подходов изучаемых с начала 60-х годов является использование электрофизических методов. К ним относятся:

1 Методы и устройства обработки растительного сырья с применением ультразвуковых волн.

2 Методы и устройства обработки растительного сырья в магнитных полях.

3 Методы и устройства обработки растительного сырья в электромагнитном поле создаваемом токами промышленной частоты.

4 Методы и устройства обработки растительного сырья в электростатическом поле.

Первые два случая рассматривались в [86, 88, 106, 107], а третий и четвёртый методы разрабатывались применительно к процессам экстрагирования растительных масел из маслосодержащего сырья [53, 134, 138],

однако, для таких специфических методов экстрагирования как экстрагирование сжиженным диоксидом углерода работы не проводились.

1.5 Задачи исследования

Для достижения поставленной в работе цели решались следующие задачи:

- исследовать влияние электромагнитного поля низких частот на экстрагирование жидким диоксидом углерода ценных компонентов из растительного сырья;
- определить оптимальные параметры воздействия электромагнитным полем низких частот для интенсификации экстрагирования жидким диоксидом углерода биологически активных веществ из капиллярно пористой структуры растительной клетки;
- усовершенствовать установку для CO₂-экстракции, включив в ее конструкцию генератор электромагнитного поля низких частот;
- провести сравнительную оценку физико-химических свойств CO₂-экстрактов, полученных под воздействием электромагнитного поля низких частот и по традиционной технологии;
- разработать техническую документацию на CO₂-экстракты, полученные по усовершенствованной технологии;
- обосновать рецептуры продуктов функционального назначения на основе CO₂-экстрактов, полученных по усовершенствованной технологии;
- исследовать микробиологические показатели полученных продуктов и провести анализ безопасности усовершенствованной CO₂-экстракционной установки для обслуживающего персонала и окружающей среды;
- провести оценку экономической эффективности предлагаемой технологии.

Глава 2 Методическая часть

2.1 Характеристика объектов исследования

В качестве объектов исследования были выбраны малоизученные виды растительного сырья содержащие ценные компоненты и позволяющие придать готовому продукту геропротекторные свойства: плоды можжевельника обыкновенного (сорт «Виргинский»), рябины красной (сорт «Вефед») и черноплодной (арония черноплодная) и семена расторопши пятнистой (сорт «Дебют»). Выбор именно этих видов сырья связан с тем, что они оказывают противовоспалительное и ранозаживляющее действие, являются эффективными геропротекторами; предотвращают всасывание токсичных соединений, поступивших в организм вместе с водой и пищей; защищают организм от разрушения при попадании в него химических соединений; оказывают радиопротекторное, геропротекторное, противоязвенное, желчегонное действие и способствуют заживлению язв [122]. Кроме того, данные виды сырья содержат большое количество витаминов и минералов. Исходное сырьё выращено в сезон 2003-2004 гг. в хозяйствах «Лекраспрома» Апшеронского района Краснодарского края. Плоды можжевельника, рябины красной и черноплодной и семена расторопши пятнистой собирали зрелыми и сушили на открытом воздухе. Высушенное сырьё соответствовало фармакопейной статье «Методы анализа лекарственного растительного сырья» и действующим техническим условиям.

2.1.1 Можжевельник обыкновенный

Можжевельник обыкновенный — *Juniperus communis* L (рис.1). Семейство кипарисовых – Cupressaceae.



Рисунок 1 – Можжевельник обыкновенный.

1 – ветвь цветущего растения; 2 – плод в продольном разрезе; 3 – семя.

Плоды представляют собой ягодообразную шишку. Шишки созревают только на 2 год. В первый год шишки зелёные, а на второй год сизочёрные.

Заготовка сырья и его хранение. Для лекарственных целей собирают плоды (ягодообразные шишки) можжевельника в фазе полного созревания. Сушат плоды можжевельника в отапливаемых помещениях или в сушилках, температура в которых не должна быть высокой. Перед сушкой удаляют зелёные плоды, хвою, обломки веток. Срок хранения 3 года.

Химический состав. Шишкоягоды можжевельника обыкновенного содержат 0,5 – 2% эфирного масла, в состав которого входят: d- α -пинен, камфен, α -терпинен, α -фелландрен, терпинолен, дипентен, сабинен, терпинеол, борнеол, изоборнеол, кадинен, β -элемен, юненол, юнипер-камфара, цидрол и др. Кроме эфирного масла, в плодах содержатся сахара (до 40%), смола (около 9,5%), красящее вещество „юниперин“, жирное масло, а также яблочная, муравьиная и уксусная кислоты. Эфирное можжевелевое масло оказывает также противомикробное действие.

Применение в медицине. Ягоды применяют как мочегонное средство при отеках сердечного происхождения, а также при болезнях мочевыводящих путей, как дезинфицирующее. Можжевелевые ягоды улучшают ап-

петит, оказывают ветрогонное и желчегонное действие. Кроме того водный экстракт можжевельника вызывает снижение артериального давления и оказывает угнетающее действие на ЦНС. Плоды можжевельника применяют в виде настоя. Можжевеловые ягоды входят в состав мочегонного сбора. Можжевельник выделяет фитонциды.

2.1.2 Рябина обыкновенная

Рябина обыкновенная – *Sorbus aucuparia* L. Семейство розоцветные – Rosaceae.

Плоды шаровидные, красно-оранжевые, ягодообразные (рис.2). Они горьковатые, терпкие на вкус. Цветёт она в мае - начале июня. Созревает в конце августа - в сентябре.



Рисунок 2 – Рябина обыкновенная.

1 – ветвь цветущего растения; 2 – плод в продольном разрезе; 3 – семя.

Заготовка сырья и его хранение. Для медицины используют плоды, которые собирают в период полного их созревания, до и после заморозков. Собирают плоды в кистях, потом отделяют от плодоножек, очищают от примесей и сушат в сушилках или в русских печах при температуре 50 – 60°C. Срок хранения 2 года.

Химический состав. В плодах рябины содержатся до 18% каротина, витамины (С, Р, В, РР), органические кислоты (яблочная, сорбиновая и

др.), сахар сорбоза, гликозид парасобозид, β -каротин, β -каротин-эпоксид, криптоксантин, глюкоза (до 3,8 %), фруктоза (до 4,3 %), сахароза (до 0,7 %), *l*-сорбоза, *l*-идит (сорбирит), *l*-яблочная до 2,8 %), *d*-винная и лимонная кислоты, цианин хлорид, дубильные вещества (около 0,3 %), эфирное масло, флавоноиды, гликозид амигдалин, железо, медь, марганец и др. Семена содержат до 22 % жирного масла.

Применение в медицине. Ягоды рябины обладают желчегонным действием, что обусловлено наличием в них сорбиновой кислоты, сорбита. Применяются в качестве профилактического средства при цинге и других авитаминозах, а также как средство, улучшающее аппетит. Широко используется в пищевой и кондитерской промышленности. Отвар ягоды рябины применяют при отложении солей, остеохондрозе, подагре, камнях в почках, мочевом пузыре, при болезнях печени. Обладают ярко выраженными антиоксидантными и радиопротекторными свойствами.

2.1.3 Рябина черноплодная

Рябина черноплодная – *Aronia melanocarpa* Elliot (рис.3). Синонимы: арония черноплодная.



Рисунок 3 – Рябина черноплодная.

1 – ветвь цветущего растения; 2 – плод в продольном разрезе; 3 – семя.

Плоды чёрные, блестящие, с сизоватым налётом. Цветёт в мае - июне, плодоносит в сентябре.

Традиционное использование. Плоды этого растения традиционно используются в медицине. В медицине используются: сок аронии, плоды в свежем виде, экстракт, настой, сушённые плоды.

Экстракция. Ароматическое масло получают из плодов методом дистилляции с паром, а также СО₂-экстракцией.

Химический состав. Плоды рябины черноплодной содержат никотиновую и аскорбиновую кислоты, пиридоксин, рибофлавин, сахара, дубильные, пектиновые, красящие вещества, микроэлементы; 74-83% воды, 6,2-10,8% сахаров, 0,7-1,3% органических кислот, 0,63-0,75% пектиновых веществ, 0,35-0,6% дубильных веществ, разнообразные витамины. Количество витамина С составляет 30-167 мг%, Р-1200-4000 мг%, каротина – 3,6 мг%, витамина В2 – 0,6-0,8 мг%, Е – 0,5-1,5 мг%, К – 0,8 мг%, РР – 0,6-0,8 мг%, фолиевой кислоты – 0,10 мг%. Черноплодная рябина служит сырьём для витаминной промышленности, вырабатывающей препараты и концентраты витамина Р из растительного сырья. Может использоваться регулярно.

2.1.4 *Расторопша пятнистая*

Расторопша пятнистая – *Silybum marianum*. Семейство сложноцветные (астровые). *Синонимы:* Silybum, Марьины колючки, Марьино пестро-остро, остропестр, колючник, татарник серебристый, осот белый.

Масло, получаемое из семян расторопши, является ценным диетическим продуктом и лекарственным средством, обладает ранозаживляющим, противоожоговым и геропротекторным свойствами и не уступает по биологической активности облепиховому маслу. Высокие лечебно-профилактические свойства экстракта из семян расторопши пятнистой связаны с наличием в нем хлорофилла, каротиноидов, токоферолов, комплекса жир-

ных полиненасыщенных кислот (витамина Р). Последний связывает холестерин в легко выводимую из организма форму, не давая ему оседать на стенках сосудов; стимулирует общий обмен жиров, активизируя их выход из жировых депо, из-за чего получил название «сжигатель жира». Хлорофилл, активизируя обменные процессы в клетках, омолаживает ткани, стимулирует процессы восстановления (регенерации). Этим объясняются ранозаживляющие свойства при наружном применении, стимуляция кроветворения при общем воздействии на организм.

Каротиноиды обладают антигистаминной (противоаллергической) активностью, стимулируют обмен веществ в печени и сердечной мышце. Участвует в работе сетчатки глаза и необходим организму как фактор роста. Активно участвует в окислительно-восстановительных реакциях в клетках.

Каротин способен «запасать» кислород на случай кислородного голодания и частично компенсировать плохое снабжение тканей кислородом (в том числе при атеросклерозе).

Токоферолы эффективно защищают организм от действия химических и физических факторов, провоцирующих развитие опухолей, обладая мощным антиоксидантным и антимуtagenным действием, препятствует естественному старению организма, поддерживая репродуктивные функции и сократительные способности мышц.

Основным компонентом СО₂-экстракта расторопши является комплекс жирных полиненасыщенных кислот: линолевая (61-62%), олеиновая (21-22%), стеариновая (3,5-4%), арахидоновая (около 2%), пальмитиновая (около 9%), бегеновая (1 - 1,5%).

СО₂-экстракт расторопши – маслянистая жидкость желтовато-зелёного цвета с приятным специфическим запахом и вкусом. Оказывает противовоспалительное, эпителизирующее и ранозаживляющее действие. Эффективный геропротектор. Предотвращает всасывание токсичных со-

единений, поступивших в организм вместе с водой и пищей. Защищает организм от разрушения при попадании в него химических соединений. Оказывает противоязвенное действие и способствует заживлению язв. Эффективное средство для лечения ран, ожогов (в том числе солнечных), опрелостей кожи. Повышает сопротивляемость организма, усиливает иммунитет.

Достоверно установлено, что при использовании масла расторопши срок заживления хронических язв желудка и двенадцатиперстной кишки ускоряется в полтора-два раза.

Масло расторопши получило высокую оценку при лечении длительно заживляющихся ран во второй фазе раневого процесса.

В табл.1 приведен химический состав исследуемого растительного сырья.

Таблица 1 – Характеристики исходного сырья.

Лекарственные и пряно-ароматические растения	Содержание эфирного масла, %	Основной компонент	Идентифицированные химические вещества
Можжевельник обыкновенный	0,5-2,0	Смесь высших спиртов	d-, α -пинен, камфен, терпинен, фелландрен, герпинолен, дипентон, сабинен, терпинеол, изоборнеол, кадинен, сахаров до 40%, смола, юниперин
Черноплодная рябина	1,3-2,4	Полифенолы	0,63-0,75% пектиновых веществ, 0,35-0,6% дубильных веществ, витамин С –30-167 мг%, Р-1200-4000 мг%, каротин –3,6 мг%, витамин В2 – 0,6-0,8 мг%, Е – 0,5-1,5 мг%, К – 0,8 мг%, РР – 0,6-0,8 мг%, фолиевая кислота – 0,10 мг%, никотиновая и аскорбиновая кислоты, пиридоксин, рибофлавин, красящие вещества, микроэлементы; сахара, 0,7-1,3% органических кислот,
Рябина обыкновенная (красная)	1,2-2,4	Флавоноиды	до 18% каротина, витамины (С, Р, В, РР), флавоноиды, органические кислоты (яблочная, сорбиновая и др.), сахар сорбоза, гликозид парасорбозид, β-каротин, β-каротин-эпоксид, криптоксантин, глюкоза (до 3,8 %), фруктоза (до 4,3 %), сахароза (до 0,7 %), l-сорбоза, l-идит (сорбирит), l-яблочная (до 2,8 %), цианин хлорид, дубильные вещества (около 0,3 %), гликозид амигдалин, микроэлементы
Расторопша пятнистая	2,2-3,2	Полиненасыщенные	Метилхавикол, d-фелландрен, пинен, дипентен, камфен, ацетальдегид, анискетон; комплекс полиненасыщенных жирных кислот: линолевая (61-

		жирные кислоты	62%), олеиновая (21-22%), стеариновая (3,5-4%), арахидоновая (около 2%), пальмитиновая (около 9%), бегеновая (1 - 1,5%)
--	--	----------------	---

2.2. Схема и методы исследования

Экспериментальные исследования были проведены в научно-исследовательской лаборатории кафедры технологии мясных и рыбных продуктов и кафедры биохимии и технической микробиологии Кубанского государственного технологического университета, в лаборатории Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (КНИИХПСП). Промышленная апробация проводилась на заводе СО₂-экстрактов ООО «Компания Караван» расположенном в п.Белозёрном Краснодарского края. Схема проведения исследований приведена на рис.4.

Оценку качественного состава полученных по усовершенствованной технологии СО₂-экстрактов проводили на кафедре технической биохимии и микробиологии Кубанского государственного технологического университета.

В работе использовали общепринятые и специальные химические, микробиологические, физико-химические и органолептические методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовых изделий [75, 115, 141].

Массовую долю белка определяли методом Къельдаля, жира - методом многократной экстракции растворителем в аппарате типа Сокслет, аминокислоты - модифицированным методом обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографией на приборе «Милихром - А 02», жирнокислотный состав на газовом хроматографе «Chrom - 5». Содержание витамина С определяли титрованием краской Тильманса, витаминов А, Е -методом капиллярного электрофореза; витамин Е - методом колонной хроматографии. Содержание радионуклидов - на гамма-бетта-

спектрометре с программным обеспечением «Прогресс», содержание фтор- и хлорорганических пестицидов на газовом хроматографе «Кристалл-2000М», содержание нитратов -по ГОСТ 29300-92, содержание токсичных металлов методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе ГА-1.

Экстрагирование ценных компонентов из расторопши пятнистой, ягод можжевельника, рябины красной и чёрной осуществляли на модернизированном лабораторном CO₂ - экстракторе [137].

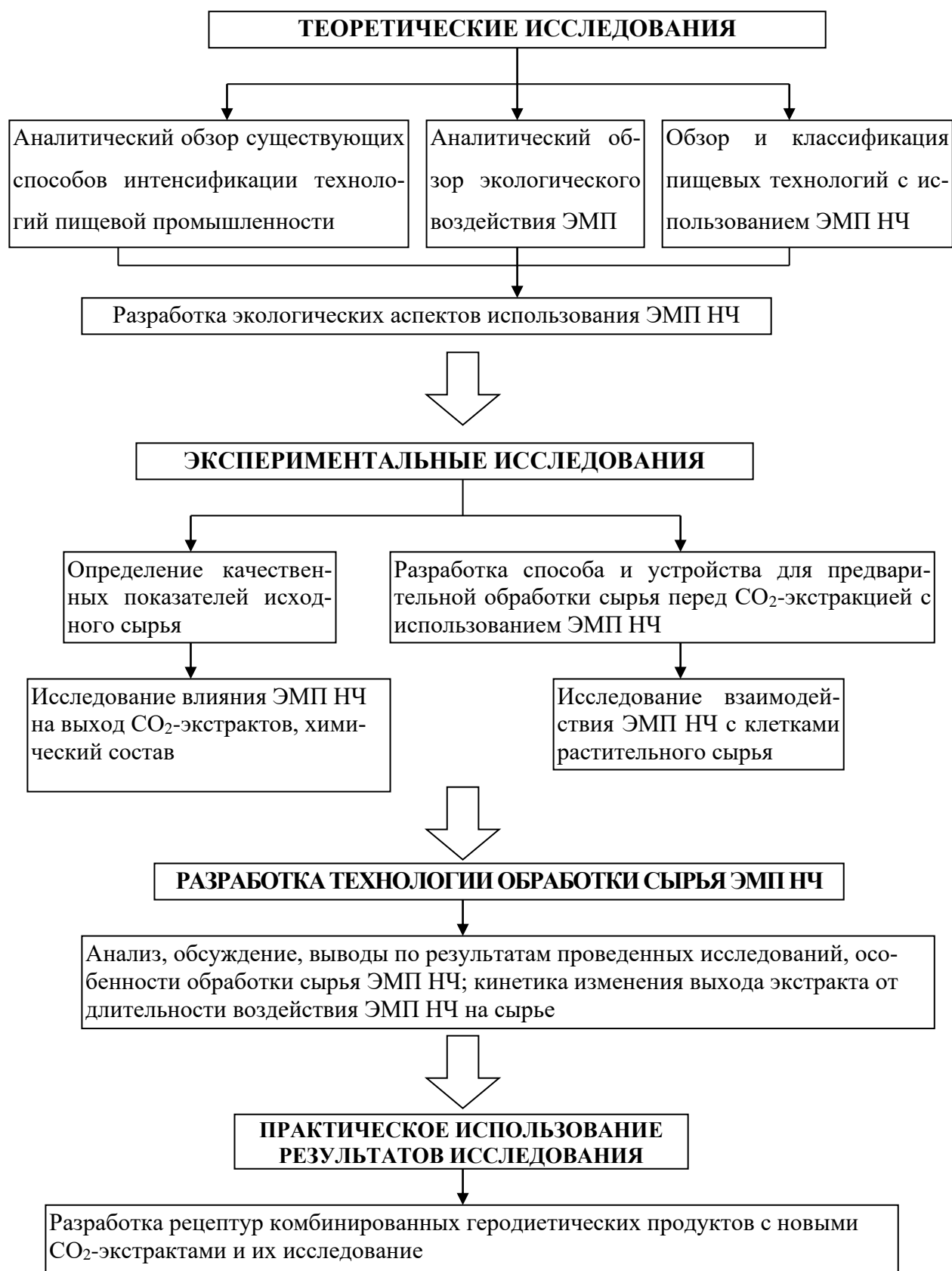


Рисунок 4 – Структурная схема исследований по созданию технологий интенсификации экстракции с использованием ЭМП НЧ

2.3 Методы планирования эксперимента

Математические методы планирования эксперимента получают всё большее распространение для математического описания и оптимизации многофакторных технологических процессов в различных областях научных исследований в отраслях народного хозяйства. Математическая теория эксперимента является относительно новым направлением науки, основана на кибернетическом подходе к организации проведения экспериментальных исследований сложных систем, позволяет существенно повысить эффективность научных исследований. Достоинством методов планирования экспериментов являются их универсальность, пригодность для решения большого круга задач.

Математическое планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий постановки опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью, методов математической обработки их результатов и принятия решения. Метод планирования эксперимента для получения уравнения регрессии отличается от обычной процедуры метода наименьших квадратов (МНК) выбором такой организации экспериментов (опытов), при которой они проводятся в определённых точках факторного пространства и в требуемом количестве, с возможностью использования некоторых критериев оптимальности при выборе экспериментальных планов. Метод планирования эксперимента характеризуется значительным снижением трудоёмкости расчёта коэффициентов уравнения регрессии, особенно для случая ортогонального планирования.

Целесообразность использования именно трёхуровневых планов Бокса-Бенкена для получения регрессионных моделей технологических процессов получения CO_2 -экстрактов объясняется тем, что большинство целевых зависимостей, допускают хорошую аппроксимацию моделями до второго порядка, для которых определение значений коэффициентов аппроксимирующего полинома наиболее эффективно проводить методом наименьших квадратов (рис.5).

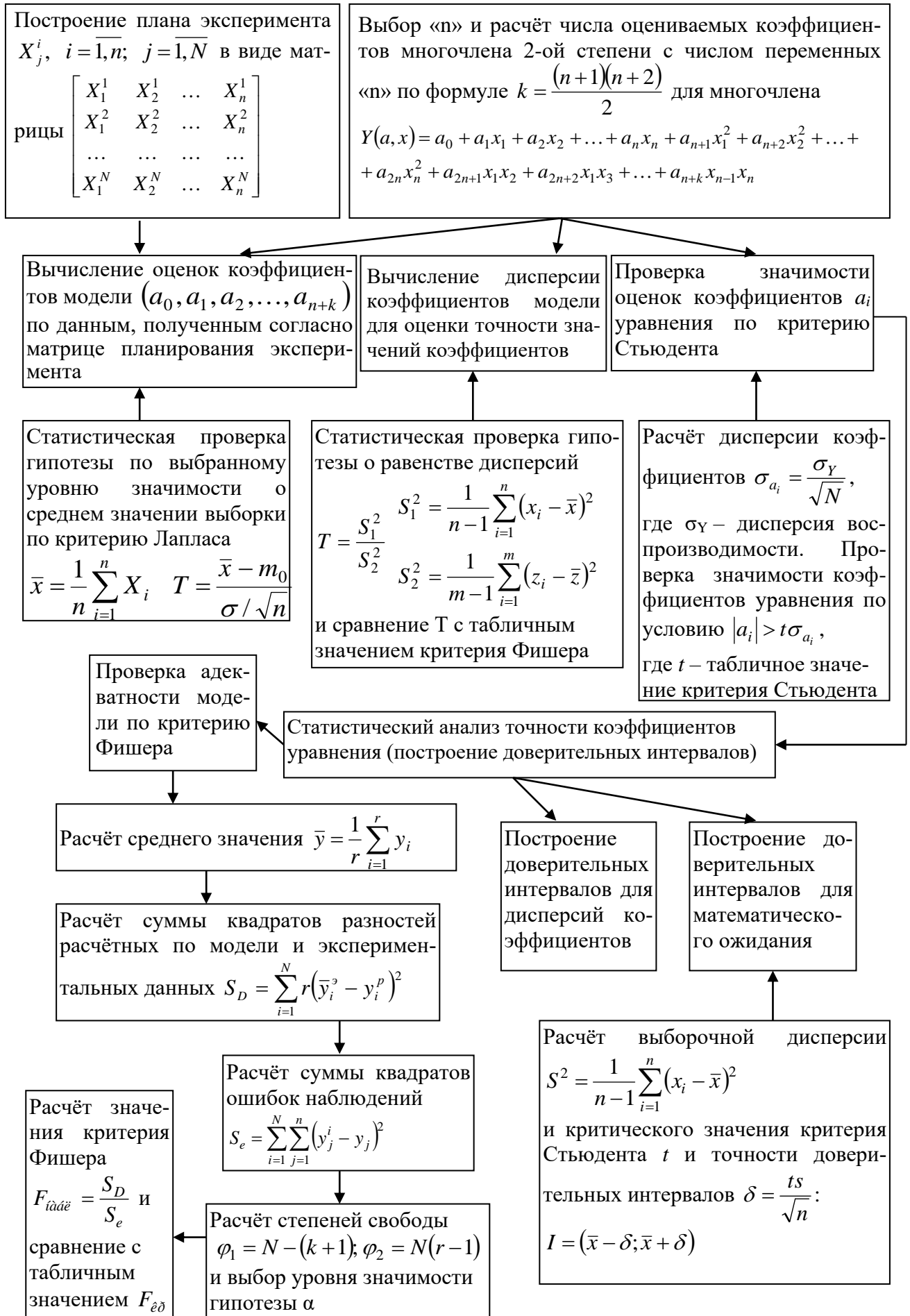


Рисунок 5 – Схема математической обработки результатов экспериментов

Кроме того, планы Бокса-Бенкена это симметричные планы второго порядка близкие к ротатабельным и составленные при условии, что каждый фактор может изменяться только на трёх уровнях (0, +1, -1), в то время как у ротатабельных и ортогональных планов факторы изменяются на 5 уровнях: 0, +1, -1, + α , - α ($\alpha > 1$). Однако, в нашем случае ± 1 являются границами технологически допустимых значений факторов и применение ортогональных и центральных планов невозможно.

Достоинством регрессионных моделей полиномиального типа является простота, наглядность, удобство анализа коэффициентов полиномов, которые непосредственно показывают степень количественного влияния каждого из параметров на исследуемые процессы. При ортогональном планировании добавляется ещё независимость вычисления коэффициентов полинома (рис.6).

Выбор технологических параметров в установившихся режимах CO₂-экстрагирования относится к сложным задачам и, чтобы выполнить необходимые для этого расчёты, требуется полная информация о параметрах функционирования процесса. Реализация же полученных законов управления всем технологическим процессом, основывается, как правило, на выборе и изменении параметров отдельных технологических параметров. Всё это приводит к тому, что целесообразным становится разделение функции управления на две составляющие – на централизованную оценку законов управления в виде регрессионных моделей и децентрализованное использование этих законов на локальных устройствах и участках технологической линии.

Реализация такой концепции управления, во-первых, позволяет упростить системы сбора исходной информации о режимах, необходимой для централизованного управления, во-вторых, открывает широкие перспективы применения микро-ЭВМ для регулирования и управления отдельными технологическими участками при децентрализованном управлении. В связи с этим возрастает актуальность синтеза законов по ограниченной информации местного характера, которые бы по своему действию

максимально бы отражали принципы централизованного управления. В рассмотренном аспекте особую значимость приобретает концепция адаптационной оптимизации (рис.7).

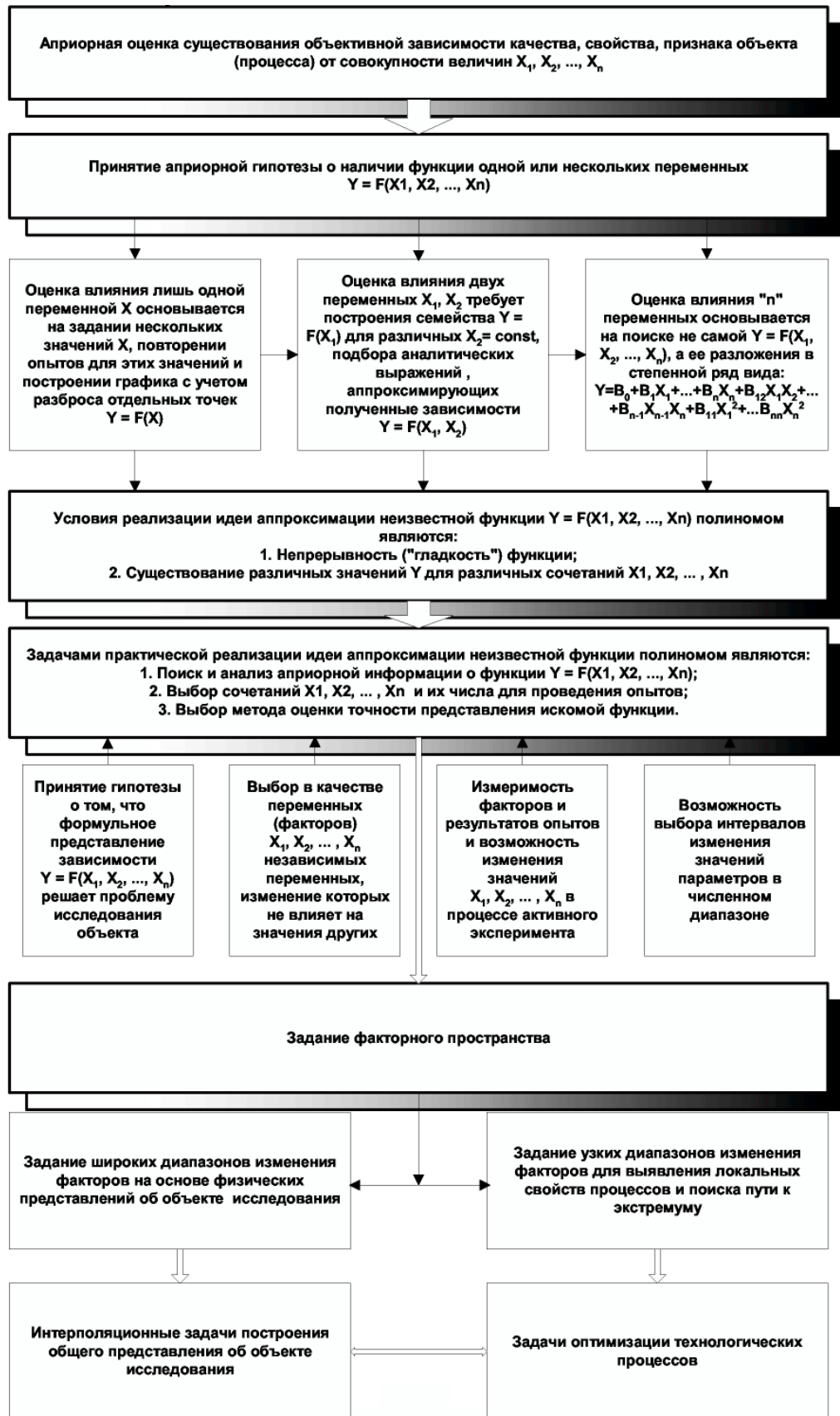


Рисунок 6 – Структурно-логическая схема условий и процедур применения основных положений математической теории планирования эксперимента

Концепция адаптационной оптимизации методами МТПЭ технологических процессов (эволюционного планирования Бокса).

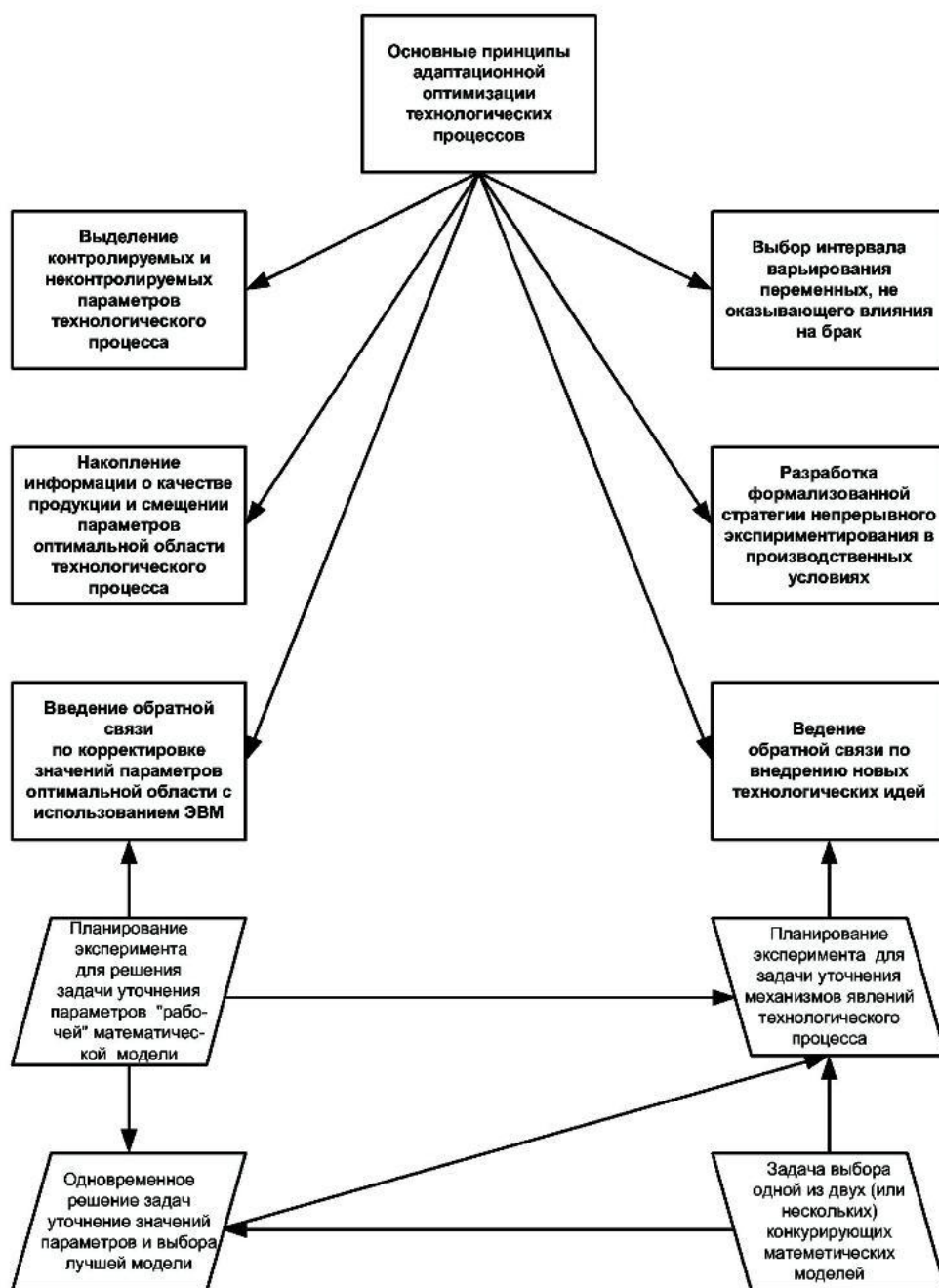


Рисунок 7 – Концепция адаптационной оптимизации технологических процессов методами математической теории планирования эксперимента (эволюционного планирования Бокса)

2.4 Основы математической теории эксперимента

Методика трёхуровневых планов Бокса-Бенкена предназначена для построения математических моделей сложных организационно-технологических процессов, исследование которых с помощью композиционных ротатбельных и ортогональных планов эксперимента затруднительно в связи с технологическими ограничениями выбора «звёздных» точек плана для нелинейных моделей.

Построение полиномиальной модели осуществлено путём проведения натуральных лабораторных и промышленных экспериментов с использованием методики Бокса-Бенкена построения планов проведения исследований процесса CO_2 -экстрагирования в технологически допустимой области изменения параметров (входных факторов) процесса и построения по результатам выхода экстрактивных веществ зависимостей соответствующих функций отклика от существенных параметров процесса при минимальных числе экспериментов, времени исследования и материальных потерях.

Выходные значения функции отклика могут быть получены как относительно массы исходного сырья, так и относительно массы экстрактивного вещества в сырье.

Вопросы оптимизации, улучшения технологических процессов, синтезирования систем, как правило, рассматриваются в предположении наличия аналитических зависимостей выходных функций и накладываемых ограничений от исследуемых параметров. Однако, во многих случаях аналитических зависимостей просто нет или они могут быть заданы неявно, в виде таблиц и др. Частично они могут быть представлены неявным образом в виде таблиц, семейства графиков полученных из экспериментальных данных. Развитие вычислительной техники и прикладной математики в современных условиях позволяют расширить методы и приёмы

синтезирования математических моделей систем, технологических процессов. На протяжении последних десятилетий успешно развивается математическая теория экстремальных экспериментов, позволяющая выбирать оптимальную стратегию исследования при неполном знании исследуемого процесса. Эксперимент сам сделался объектом исследования [63, 112, 164, 166]. Теперь часто утверждается, что мало полезной информации можно извлечь из результатов эксперимента, если он был поставлен без математической основы, без применения математической теории планирования эксперимента (МТПЭ). Одним из основных разделов МТПЭ является планирование эксперимента – оптимальное управление экспериментом при неполном знании механизма явления [117]. Планирование эксперимента можно рассматривать как одно из направлений кибернетики, ведь возможность управления сложными системами при неполном знании механизма явления – это одно из основных положений кибернетики.

В технической литературе в последнее время это понятие широко используется при исследовании не только натуральных, но и цифровых моделей сложных систем.

Эффективность данного метода исследований тем выше, чем сложнее изучаемая система. Сейчас можно утверждать [110, 111, 117], что применение такого метода повышает эффективность исследования от двух до десяти раз. Рассмотрим применение этого метода к исследованию влияния различных параметров на интенсификацию процесса CO_2 -экстрагирования, в процессе которого технологический процесс представляется с использованием фундаментального кибернетического понятия «чёрного ящика». Существенным здесь является то, что при таком подходе к решению экстремальных задач исследователь получает математическую модель процесса при отсутствии аналитического описания физико-химических процессов протекания реакции на микроуровне. На математическом языке за-

дача формулируется следующим образом: нужно получить некоторое представление о функции $\eta = \eta(x_1, x_2, \dots, x_k)$,

где η – параметр или функция процесса, подлежащая оптимизации или ограничению в технологическом процессе;

x_1, x_2, \dots, x_k – независимые переменные, которые можно варьировать при постановке эксперимента.

В общем случае приходится ограничиваться представлением функции полиномом

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots \quad (16)$$

с коэффициентами регрессии $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$, что эквивалентно представлению её рядом Тейлора:

$$\beta_1 = \frac{\partial \eta}{\partial x_1}; \beta_2 = \frac{\partial \eta}{\partial x_2}; \beta_{12} = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x_1 \partial x_2}. \quad (17)$$

Пользуясь результатами эксперимента, можно определить только выборочные коэффициенты регрессии b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} , которые являются лишь оценками для теоретических регрессий. Уравнение регрессии, полученное на основании эксперимента, запишется так:

$$\eta = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (18)$$

Для отыскания наиболее точной математической модели эксперимент должен быть поставлен так, чтобы коэффициенты ряда (18), определённые по результатам опытов, являлись наилучшими оценками коэффициентов ряда Тейлора. Наилучшие оценки коэффициентов ряда Тейлора даёт метод наименьших квадратов. Теория планирования эксперимента предлагает организовать эксперимент по определённым планам, чтобы после статистической обработки результатов можно было получить наилучшие оценки коэффициентов ряда Тейлора при минимальном числе опытов.

Итак, если раньше регрессионный анализ базировался на обработке так называемых пассивных экспериментов, где исследователь ведёт

наблюдение за неуправляемым изменяющимся под воздействием различных факторов процессом, то в настоящее время в регрессионный анализ вносятся идеи планирования эксперимента, в которых математическим методам отводится активная роль [147]. В настоящее время имеется ряд хорошо сформулированных критериев оптимального планирования для различных ситуаций [75, 112, 116]. Выделяют два основных направления в МТПЭ: планирование экстремальных экспериментов и планирование эксперимента по выяснению механизма явлений.

При постановке экстремальных экспериментов на первом этапе исследования задачу можно сформулировать так: нужно найти направление движения к той области, где условия для процесса были бы оптимальны. Для решения этой задачи достаточно исследовать поверхность целевой функции на небольшом участке, ограничиваясь линейным приближением. При достижении же стационарной области необходимо получить более полное представление о поверхности, аппроксимируя её полиномом второго, а иногда и более высокого порядка.

Задачу по выяснению механизма явлений, который как раз необходим в нашем случае, можно сформулировать следующим образом: необходимо найти такую функцию, которая определяет связь между выходом системы и величинами входа $[X]$. Или более кратко: найти математическую модель данного объекта в достаточно простом виде. На языке математики задача подобного рода формулируется следующим образом: необходимо найти такую функцию, которая определяет связь между параметрами технологического процесса, параметрами исходного и подвергающегося обработке сырья и показателями выхода полученных экстрактов. Или более кратко: найти математическую модель.

Пространство размерности k , в котором определён вектор X , называется в МТПЭ факторным пространством или пространством контролируемых переменных. Совокупность точек этого пространства, где значения

контролируемых переменных x_1, x_2, \dots, x_k могут быть реализованы, называется областью действия. В одних случаях эти границы определяются самой природой контролируемых параметров, в других – характеристиками аппаратуры, технологией или видом исследуемого процесса. Иногда область можно определить сохранением критериев подобия, законов физики и просто здравого смысла (вода кипит при 100°C , а замерзает при 0°C).

2.5 Планы второго порядка, планы Бокса-Бенкена

При исследовании сложных систем, как правило, сначала делают допущение об относительно простой модели системы. Если же хотя бы один из коэффициентов регрессии при парном взаимодействии значительно отличается от нуля ($b_{ij} \neq 0$), то это уже является достаточным основанием для того, чтобы отвергнуть гипотезу о линейности модели. Для ряда задач есть необходимость строить модели в виде полного полинома второй степени, а именно:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j \quad (19)$$

Общее число членов в этом случае равно $\frac{(k+1)(k+2)}{2}$.

Для оценки коэффициентов модели вида (19), содержащей составляющие типа x_i^2 , независимая переменная в плане должна принимать, по крайней мере, три различных значения. Композиционный план для квадратичных моделей может быть получен путём добавления некоторого количества специальных точек к ядру, образованному планом для линейной модели. В качестве ядра могут быть использованы планы типа 2^k или 2^{k-p} . Если к центру плана с координатами $(0, 0, 0, \dots, 0)$ добавить $2k$ так называемых звёздных точек с координатами $(\pm \alpha, 0, \dots, 0), (0, \pm \alpha, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, \pm \alpha)$, то получается центральный композиционный план, предложенный Боксом [63, 112, 164, 166]. Планирование, в котором матрица коэффициентов нормальных уравнений ортогональна, называется ортогональным. Если

информация о функции отклика уравнения регрессии равномерно распределена по сфере (гиперсфере), то такое планирование называется ротативным [75, 112, 117]. Ортогональное планирование первой степени одновременно является и ротативным. На рис.8 показаны точки центрального композиционного плана для $k = 3$. Крестиками обозначены звёздные точки, расположенные на координатных осях на расстоянии α от центра плана. При использовании центрального композиционного ортогонального планирования второго порядка необходимо рассчитать величину звёздного плеча так, чтобы обеспечить полную ортогональность. Тогда все вычисления коэффициентов уравнения регрессии упрощаются, и все они определяются независимо друг от друга.

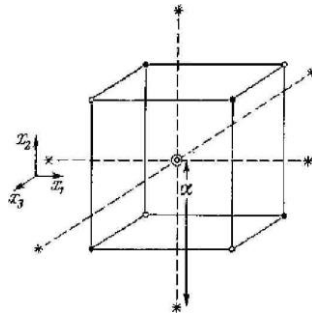


Рисунок 8 – Построение центрального композиционного плана второго порядка с тремя независимыми переменными

Для обеспечения ортогональности модель необходимо преобразовать следующим образом:

$$\begin{aligned}
 y &= b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_{11} (x_1^2 - \beta) + b_{22} (x_2^2 - \beta) + \dots + b_{12} x_1 x_2 + \dots = \\
 &= b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + \dots + b_{12} x_1 x_2 + \dots
 \end{aligned}
 \quad (20)$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 x_i^2 &= x_i^2 - \beta; \\
 \beta &= \frac{2^{k-p} + 2\alpha^2}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_i^j)^2}{N} \\
 b_0 &= b_0 + \beta \sum_{i=1}^k b_{ii}
 \end{aligned}
 \quad (21)$$

где N – общее число опытов в плане.

От модели (20) легко перейти к (19), определяя \mathbf{b}_0 следующим образом:

$$b_0 = b_0^* - \beta \sum_{i=1}^k b_{ii} \quad (22)$$

Итак, коэффициенты уравнения регрессии вычисляются при ОЦКП по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j; \\ b_i &= \frac{\sum_{j=1}^N x_{ji}}{\sum_{j=1}^N (x_{ji})^2} y_i \quad (i \neq 0); \\ b_{ii} &= \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ji}^* y_j)}{\sum_{j=1}^N (x_{ji}^*)^2} \quad (x_i = x_i^2 - \beta); \\ b_{i\ell} &= \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ji} x_{j\ell} y_j)}{\sum_{j=1}^N (x_{ji})^2}. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Коэффициент считается значимым, если

$$|b_i| > \sigma_{b_i} t. \quad (24)$$

Аналогично проверяется значимость остальных коэффициентов регрессии. Проверка адекватности уравнения регрессии осуществляется с помощью критерия Фишера.

В табл.1 приведены значения коэффициентов α и β в зависимости от размерности плана.

Планы второго порядка могут быть составлены по различным критериям. Это задача математиков. Их существует великое множество. Большую группу составляют ротатабельные центральные композиционные планы (РЦКП). Ротатабельное планирование эксперимента позволяет получить более точное математическое описание отклика по сравнению с ортогональным центральным композиционным планированием (ОЦКП). Это

достигается увеличением числа опытов в центре плана и специальным выбором величины звёздного плеча α . Построение ротатабельных планов второго порядка – это сложная математическая задача.

Таблица 1 – Параметры ортогональных центральных композиционных планов

Размерность	Ядро плана	N	α	β
2	2^2	9	1	0,6667
3	2^3	15	1,215	0,73
4	2^4	25	1,414	0,8
5	2^{5-1}	27	1,547	0,77
6	2^{6-2}	45	1,722	0,843
7	2^{7-1}	79	1,885	0,9
8	2^{8-2}	81	2,001	0,8889

ОЦКП и РЦКП содержат сравнительно небольшое число точек, в которых каждый фактор варьируется на пяти уровнях. При рассмотрении этих планов видно, что при изменении переменных в ядре плана в пределах ± 1 значение переменных в звёздных точках может изменяться в пределах ± 2 и выше. Иногда такой план использовать или невыгодно, или нецелесообразно. В ряде случаев эксперимент в звёздных точках может оказаться трудно реализуемым. Так в нашем случае, одной из входных переменных является давление в пределах 6,5 – 7,5 МПа и выход за пределы технологического максимума не только трудно реализуем, но и опасен. Бокс и Бенкен предложили способ построения симметричных, близких к ротатабельным планов второго порядка при условии, что каждая переменная может изменяться не более чем на трёх уровнях (+1, 0, -1). Как и в других планах второго порядка с увеличением размерности быстро растёт число экспериментов (табл.2). Здесь N_0 – число экспериментов в нулевой точке.

В табл.3 приведены вспомогательные коэффициенты для вычисления коэффициентов регрессии по формулам (25).

Таблица 2 – Характеристика планов Бокса-Бенкена

n	3	4	5	6	7
N	15	27	46	54	62
N ₀	3	3	6	6	6

Таблица 3 – Таблица констант для вычисления коэффициентов регрессии

К	Элементы схемы	A	B	C	D	E	m
3	2 ²	1/3	1/8	1/4	1/48	1/6	4
4	2 ²	1/3	1/12	1/8	1/16	1/6	4
5	2 ²	1/6	1/16	1/12	1/32	1/12	4
6	2 ³	1/6	1/24	1/9	1/72	1/18	8
7	2 ³	1/6	1/24	1/16	1/86,4	1/18	8

В табл.4 приведена сокращённая форма записи матриц планирования с разбиением на ортогональные блоки для $k = 3, 4, 5, 6, 7$. Большое количество нулей в матрице планирования упрощает вычисление коэффициентов уравнения регрессии при ручной обработке результатов. Матрицы планов при $k > 3$ разбиты на блоки. Число строк в блоке плана эксперимента определяется выражением $m = 2^l$, где l – размерность матрицы блоков. Причём, $l = 2$ для $k = 3, 4, 5$ и $l = 3$ для $k = 5, 6$.

$$\left. \begin{aligned}
 b_0 &= A \cdot \sum_{n=1}^N y_n - E \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N x_{in}^2 y_n; \\
 b_i &= B \cdot \sum_{n=1}^N x_{in} y_n; \\
 b_{ii} &= -E \cdot \sum_{n=1}^N y_n + C \cdot \sum_{n=1}^N x_{in}^2 y_n + D \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N x_{in}^2 y_n; \\
 b_{ij} &= \frac{1}{m} \cdot \sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} y_n
 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Регрессионный анализ результатов эксперимента при использовании трёхуровневых планов второго порядка производится таким же способом, как и для обычных планов второго порядка.

В общем случае алгоритм расчёта по плану Бокса-Бенкена может быть представлен в следующем виде:

Алгоритм проведения экспериментов в соответствии с планами Бокса-Бенкена.

1 Осмысление физических процессов. Постановка задачи. Выбор функции отклика и ограничений, накладываемых на технологический процесс.

2 Выбор существенных факторов на основании отсеивающего эксперимента или априорной информации.

3 Определение параметров центра эксперимента x_{0i} и интервалов варьирования Δx_i , перевод физических параметров в кодированные переменные.

Таблица 4 – Трёхуровневые планы второго порядка

Кол-во факторов	Матрица плана	Общее количество опытов
3	$\left[\begin{array}{ccc} \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \right]$	<p>12</p> <hr/> <p>3</p> <p>N = 15</p>
4	$\left[\begin{array}{cccc} \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right]$	<p>8</p> <p>1</p> <p>8</p> <p>1</p> <p>8</p> <hr/> <p>1</p> <p>N = 27</p>

Продолжение таблицы 4

Кол-во факторов	Матрица плана	Общее количество опытов
5	$ \begin{array}{ccccc} \left[\begin{array}{ccccc} \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \\ \end{array} $	<p style="text-align: center;">20</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">20</p> <p style="text-align: center;"><u>3</u></p> <p style="text-align: center;">N = 46</p>
6	$ \begin{array}{ccccc} \left[\begin{array}{ccccc} \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \\ \end{array} $	<p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;"><u>6</u></p> <p style="text-align: center;">N = 54</p>
7	$ \begin{array}{ccccc} \left[\begin{array}{ccccccc} \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \\ \end{array} $	<p style="text-align: center;">56</p> <p style="text-align: center;"><u>6</u></p> <p style="text-align: center;">N = 62</p>

4 Выбор и построение плана эксперимента.

5 Определение дисперсии опыта. В случае дефицита времени и средств, как уже указывалось, она может быть определена в нулевой точке (см., например, табл.4).

6 Реализация плана эксперимента.

7 Вычисление коэффициентов полиномиальной модели и их значимости.

8 Проверка адекватности полученной модели.

В соответствии с рассмотренными теоретическими положениями математической теории планирования эксперимента с использованием электронных таблиц разработан алгоритм проведения эксперимента для $k = 4$ на основе планов Бокса-Бенкена в виде электронных таблиц (см. Приложение А).

Таблицы обладают универсальностью и обеспечивают при вводе исходной информации автоматическое выполнение расчётов и вывод результатов.

В электронной таблице расположены:

-A2, B2, C2, D2, E2 – константы для расчёта коэффициентов полинома;

-A4...A30 – номера точек экспериментов;

-B4, O4...B30, O30 – план или поле изменения кодированных переменных X_i, X_{ii}, X_{ij} ;

-P4... P30 – экспериментальные значения функции отклика в точках эксперимента;

-Q4...Q30 – значения функции отклика, рассчитанные по полученным полиномам;

-R4...R30 – разность этих функций;

-S4...S30 – квадраты разностей между этими функциями для определения дисперсии адекватности;

-S31 – дисперсия адекватности полученного уравнения (сумма всех ячеек S4...S30);

-A33...O33 – значения коэффициентов b , соответствующих подписям столбцов;

-A34...O34 – значения коэффициентов s_b , соответствующих подписям столбцов.

Глава 3 Экспериментальная часть

Для исследований мы использовали лабораторную установку, имеющуюся на заводе экстрактов Краснодарского НИИ хранения и переработки сельскохозяйственного сырья. Промышленная установка использовалась на заводе экстрактов ООО «Компания Караван». В ходе работы эти установки были усовершенствованы и получен патент на полезную модель [137].

3.1 Усовершенствование лабораторной и пилотной экстракционных установок

Лабораторная экстракционная установка состоит из герметичного корпуса, снабжённого быстросъёмным самоуплотняющимся люком, смотровым окном, стеклянного экстрактора, воронки для сбора конденсата, трубопровода, манометра, поворотного столика, ручки-манипулятора и мисцеллосборников (рис.9). Установка позволяет получать экстракты из сырья растительного и животного происхождения [83].

Нами было предложено усовершенствовать данную установку, для того чтобы использовать воздействие ЭМП НЧ на растительное сырьё до и во время экстракции, что позволит достигать сокращения времени экстрагирования, интенсификации процесса извлечения ценных компонентов из растительного сырья, снижения себестоимости готовой продукции.

Техническим результатом является существенное увеличение выхода экстрактивных веществ, сокращение продолжительности экстракции за счёт воздействия ЭМП НЧ.

Под воздействием ЭМП НЧ в растительной клетке происходят структурные изменения, приводящие к изменению осмотического давления, проницаемости мембран и коэффициента диффузии, что способствует более полному высвобождению содержащихся в клетках биологически ак-

тивных веществ и ускорению перехода экстрактивных веществ в мисцеллу.

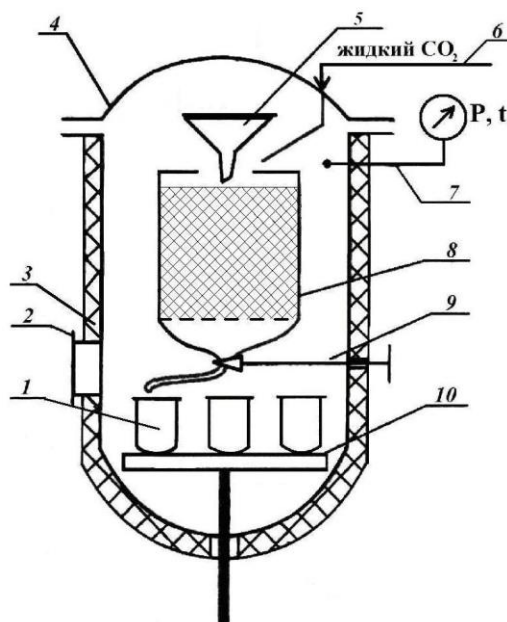


Рисунок 9— Установка для газожидкостной экстракции растительно-го сырья

1 – мисцеллосборники, 2 – смотровое окно, 3 – герметичный корпус, 4 – самоуплотняющийся люк, 5 – воронка для сбора конденсата, 6 – трубопровод, 7 – манометр, 8 – стеклянный экстрактор, 9 – ручка-манипулятор, 10 – поворотный столик.

Это достигается тем, что данную установку вводится генератор, состоящий из преобразователя электроэнергии в электромагнитные колебания и излучателя, для создания внутри установки ЭМП НЧ, причём излучатель расположен внутри корпуса в зоне непосредственной близости к стеклянному экстрактору и герметично закреплён в корпусе. Результатом применения данной полезной модели является возможность создания ЭМП внутри установки с целью увеличения выхода экстрактивных веществ, уменьшения продолжительности экстракции, интенсификации процесса за счёт происходящих в растительной клетке структурных изменений, приводящих увеличению проницаемости наружных мембран, высвобождению

содержащихся в клетках биологически активных веществ и ускорению перехода экстрактивных веществ в мисцеллу.

На рис.10 изображена усовершенствованная установка для газожидкостной экстракции растительного сырья.

Усовершенствованная установка для газожидкостной экстракции растительного сырья состоит из герметичного корпуса, снабжённого быстросъёмным самоуплотняющимся люком и защищённым экраном смотровым окном, стеклянного экстрактора, воронки для сбора конденсата, трубопровода, манометра, поворотного столика, ручки-манипулятора и мисцеллосборников и генератора ЭМП, состоящего из преобразователя электроэнергии в ЭМП и излучателя, причём излучатель расположен внутри корпуса в зоне непосредственной близости к стеклянному экстрактору и герметично закреплена в корпусе.

Экстрактор и мисцеллосборники размещены в общем корпусе. Мисцеллосборники расположены на поворотном столике, смонтированном с возможностью периодического вращения таким образом, что под выводной трубкой экстрактора размещается лишь один мисцеллосборник.

Для контроля давления в корпусе служит манометр. Ёмкость снабжена трубопроводом для подачи из её верхней части паров растворителя внутрь корпуса с возможностью контроля уровня растворителя.

Установка для газожидкостной экстракции растительного сырья работает следующим образом: измельчённое сырьё переносят в стеклянный экстрактор, который установлен внутри корпуса. Экстрактор герметизируется с помощью самоуплотняющегося люка. С помощью подсвета обеспечивается хорошее визуальное наблюдение процесса в установке. При наполнении очередного мисцеллосборника проворачивается поворотный столик с помощью ручки-манипулятора и под выводную трубку экстрактора устанавливается пустой мисцеллосборник. После наполнения всех мисцеллосборников сбрасывается давление жидкого диоксида углеро-

да (CO_2) и в мисцеллосборниках остаётся высококонцентрированный экстракт. В течение всего процесса на излучатель, расположенный внутри корпуса в зоне непосредственной близости к стеклянному экстрактору и герметично закреплённый в корпусе экстрактора подают на резонансную частоту, индивидуальную для каждого вида сырья. Под воздействием ЭМП НЧ в клетке растительного сырья происходят изменения, которые приводят к увеличению проницаемости наружных мембран, высвобождению содержащихся в клетках биологически активных веществ и ускорению перехода экстрактивных веществ в мисцеллу.

Таким образом полезная модель позволяет существенно увеличить выход экстрактивных веществ, сократить продолжительность экстракции за счёт воздействия ЭМП НЧ.

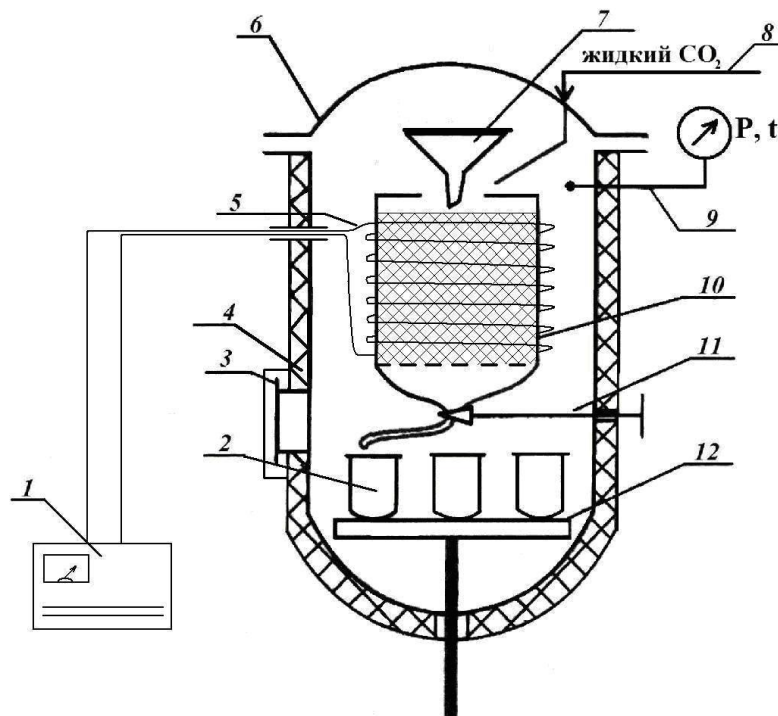


Рисунок 10 – Усовершенствованная установка для газожидкостной экстракции компонентов из растительного сырья

1 – генератор ЭМП НЧ, 2 – мисцеллосборники, 3 – защищенное экраном смотровое окно, 4 – герметичный корпус, 5 – излучатель генератора, 6 – самоуплотняющийся люк,

7 – воронка для сбора конденсата, 8 – трубопровод, 9 – манометр, 10 – стеклянный экстрактор, 11 – ручка-манипулятор, 12 – поворотный столик.

3.2 Электрохимические процессы в клетке

Электромагнитные свойства растительной ткани определяются её микроструктурой и полярными свойствами отдельных компонентов, входящих в состав материала.

В структурном виде вещества растительного происхождения (в том числе и продукты маслодобыывания) состоят из огромного количества клеток чрезвычайно малого размера. У каждой масличной культуры имеется своеобразие в строении клеточной структуры. Строение клетки очень сложное. Однако установлено, что клеточные оболочки имеют весьма низкую электропроводимость. В то же время, внутриклеточное содержимое, состоящее в основном из гелевой части, пропитанной маслом, в виде мелкодисперсной фазы, являются полупроводящей средой. Химический состав его характеризуется содержанием липидных и нелипидных компонентов.

В состав основных липидных компонентов входят триглицериды жирных кислот, свободные жирные кислоты, стерины и др.

Экстракты, состоящие в основном из триглицеридов, относятся к жидкостям с небольшой полярностью. Их диэлектрическая постоянная ϵ_{20} находится в пределах 3,0 – 4,5. Экстракты хорошо растворимы в органических растворителях, имеющих полярность, близкую к полярности самих экстрактов.

Кроме того, установлена растворимость в экстрактах некоторых слабо полярных свободных жирных кислот и их соединений, и ничтожно малая растворимость воды и других гидрофильных веществ (белки, углеводы). Это обстоятельство позволяет рассматривать раствор целевого компонента не как электрически нейтральную среду, а среду, в составе которой

присутствует некоторая часть полярных компонентов, сообщающая ей определённые электромагнитные свойства.

К числу основных нелипидных компонентов следует отнести белковые вещества, волокна, влагу.

Белки нерастворимы в органических растворителях и проявляют гидрофильные свойства. В твёрдом состоянии белки обладают коллоидными свойствами в том смысле, что структура белков складывается не из молекул, а из мицелл, так что мицеллы соединены друг с другом силами притяжения.

Эти обстоятельства позволяют сделать вывод о том, что в определённых условиях белковые вещества могут обладать ярко выраженной полярностью. Белки в кислой среде относятся к положительно, а в щелочной – к отрицательно заряженным частицам.

Экстрагируемый материал содержит определённое количество волокон. Установлено, что по химическому составу волокна в основном состоят из клетчатки (60%) и безазотистых экстрактивных веществ (35%), представляющих собой углеводы со слабовыраженными электрическими свойствами. Диэлектрическая постоянная волокон равна 1,2 – 1,4 и в значительной степени зависит от её влажности.

Практический интерес представляют эфирные масла, ароматические вещества, смолы, жирорастворимые витамины.

В рассматриваемом случае, смесь «сырьё – растворитель» можно отнести к дисперсной системе, поскольку дисперсная фаза (лепесткованное растительное сырьё) и сплошная фаза (жидкий диоксид углерода) связаны друг с другом в сплошную сетку и могут в незначительной степени перемещаться друг относительно друга под действием гравитационных сил. В силу значительной величины частиц твёрдой фазы броуновское движение для них практически не может осуществляться. Но на границе коллоидных и грубодисперсных систем в капиллярных и клеточных пространствах ле-

жат ещё и микрогетерогенные системы, частицы которых видны в микроскоп. Поэтому, нужно полагать, мы имеем дело с очень сложной системой, включающей коллоидную, микрогетерогенную и грубодисперсную, частицы которых имеют размер от 10^{-7} см (коллоидные) до величины в несколько десятых сантиметра. Поэтому эта смесь будет обладать свойствами всех трёх указанных систем.

По структурному составу смесь экстрагируемого материала и жидкого диоксида углерода относится к системам, характеризующимся наличием поверхности раздела фаз.

Известно, что на границе раздела двух фаз происходит перераспределение электрических зарядов, связанных с переходом заряженных частиц из одной фазы в другую. Это приводит к образованию заряда на поверхности одной фазы и равного, но противоположного заряда в другой фазе. Следовательно, на границе раздела фаз появляется двойной электрический слой и устанавливается определённая разность потенциалов между фазами.

То есть вещества, входящие в состав продуктов экстракционного производства, обладают определёнными полярными свойствами. Им присущи электрокинетические явления, связанные с относительным движением фаз и вызванные внешним электрическим полем.

По мнению автора, основное воздействие ЭМП НЧ происходит на биохимические процессы происходящие в клеточных мембранах. Клеточные мембраны представляют собой функциональные структуры клеток, толщиной в несколько молекулярных слоев, ограничивающие цитоплазму и большинство внутриклеточных образований, а также образующие единую внутриклеточную систему канальцев, складок и замкнутых полостей. Основными компонентами, входящими в состав клеточных мембран, являются биологические мембраны, толщина которых не превышает 10,0 нм,

однако вследствие сравнительно плотной упаковки они составляют более половины массы клеток.

Биологические мембраны построены из белков, липидов (главным образом фосфатидилхолин) и углеводов. Белки и липиды составляют основную часть мембран. Эти липиды состоят из головной гидрофильной группы, к которой присоединены длинные гидрофобные углеводородные цепи. В воде такие липиды спонтанно формируют двухслойную плёнку толщиной 4-5 нм.

В функциональном отношении мембранные белки подразделяются на ферментативные, транспортные и регуляторные. Выделяют также структурные белки, которые выполняют в основном "опорно-строительные" функции. Важным структурным компонентом мембран является вода. Особенности взаимодействия основных молекулярных компонентов мембран с водой определяют структурно-функциональные свойства мембран и являются решающими в процессе формирования ответной реакции на воздействие. Воду, входящую в состав мембран, подразделяют на связанную, сильно связанную и свободную. Свободная вода входит в состав мембран в виде самостоятельной фазы и обладает изотропным движением. Обычно свободная вода медленно обменивается с внешней водой из-за физической разобщенности. Молекулы воды обладают собственной осцилляцией с периодом колебаний $r_k \approx 2 \cdot 10^{-13} \text{ с}$.

По диэлектрическим свойствам сильно связанная вода занимает промежуточное положение между льдом (характеристическая частота которого лежит в диапазоне звуковых частот) и свободной водой. При помещении молекул неэлектролита в воду, молекулы последней вынуждены ориентироваться на его поверхности для обеспечения максимального числа водородных связей в условиях полного исчезновения "пустот" в пограничной области. Таким образом на собственную измененную частоту колебаний сильно связанной воды накладывается частота гидрофобного (и

гидрофильного) соединения углеводов белка, т.е. имеет место эффект уменьшения энтропии.

Процессу взаимодействия воды с биологической мембраной соответствует схема её строения, в соответствии с которой белки могут разворачиваться на поверхности двойного липидного слоя под действием сил электростатического взаимодействия с заряженными головками фосфолипидов мембран. Наружная поверхность представлена гликопротеинами.

В настоящее время считают, что белки не выстилают поверхность липидного слоя мембраны, а располагаются в виде отдельных глобульных молекул или частиц, в большей или меньшей степени, образующих фосфолипидную двухслойную мембрану, у которой внутрь мембраны обращены гидрофобные концы молекул, а наружу гидрофильные. Такая биологическая мембрана представляет собой жидкостно-мозаичную модель.

Диффузия через мембранные поры. Плазматическая мембрана (и другие клеточные мембраны) проницаемы не только для веществ, диффундирующих через липидный слой, но и для многих ионов, сахаров, аминокислот и нуклеотидов. Эти вещества преодолевают мембрану через поры, образованные транспортными белками, погруженными в мембрану. Внутри таких белков имеется заполненный водой канал диаметром менее 1 нм, через который могут диффундировать малые молекулы. Они движутся по градиенту концентрации, и если они несут заряд, то их движение по каналам регулируется также мембранным потенциалом.

Мембранные каналы обладают относительной избирательностью по отношению к типу молекул, которые могут через них проходить. Существуют, например, кальциевые, натриевые и калиевые каналы, каждый из которых непроницаем практически для любого иона, кроме специфического. Такая избирательность обусловлена зарядом или структурой мест связывания в стенках канала, что облегчает транспорт специфической моле-

кулы и предотвращает проникновение через канал других веществ (рис. 11).

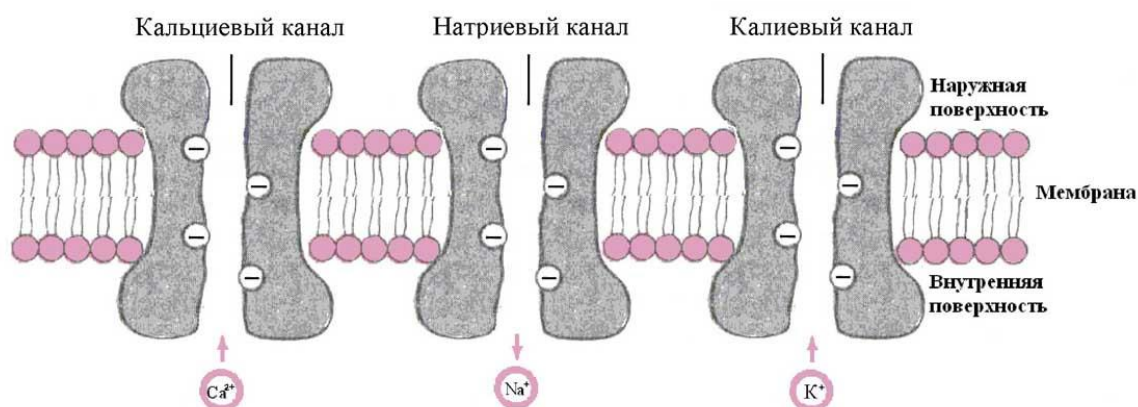


Рисунок 11 – Схема белка, образующего кальциевый, натриевый и калиевый канал, погружённые в липидный бислой плазматической мембраны. Отрицательные заряды зафиксированы на «стенке» канала.

За поведением мембранных ионных каналов легко наблюдать, поскольку возникающий при движении ионов ток можно измерить, причём даже для одиночного канала. Известно, что каналы спонтанно и с высокой частотой меняют свое состояние от открытого к закрытому. Для калиевого канала характерны импульсы тока амплитудой около 2 пА ($2 \cdot 10^{-12}$ А) и длительностью в несколько миллисекунд. За этот период через него проходят десятки тысяч ионов. Переход белков из одной конформации в другую изучают методами рентгеновской дифракции, мессбауэровской спектроскопии и ядерно-магнитного резонанса. Белки, таким образом, являются очень динамичными подвижными структурами, а канал, проходящий через белок, не просто жесткая, наполненная водой трубка (рис. 11), но лабиринт быстродвигающихся молекулярных групп и зарядов. Эта динамическая характеристика канала отражается в энергетическом профиле канала. В зависимости от заряда, размеров и степени гидратации иона и его способности связываться со структурами стенок канала энергетический

профиль канала варьирует для различных ионов, чем может объясняться избирательность отдельных типов каналов.

Диффузионное равновесие ионов. Диффузия различных ионов через мембранные каналы должна была бы привести к устранению различий в концентрациях между вне- и внутриклеточной средами. Однако, такие различия сохраняются, следовательно, должно существовать некое равновесие между диффузией и другими процессами транспорта через мембрану. Нужно рассмотреть пути, с помощью которых такое равновесие устанавливается. В случае ионов на диффузионное равновесие влияет их заряд. Диффузия незаряженных молекул обеспечивается разностью концентраций $c_с$ и, когда концентрации уравниваются, собственно транспорт прекращается. На заряженные частицы дополнительно влияет электрическое поле. Например, когда ион калия выходит из клетки по градиенту своей концентрации, он несёт один положительный заряд. Таким образом, внутриклеточная среда становится более отрицательно заряженной, в результате чего на мембране возникает разность потенциалов. Внутриклеточный отрицательный заряд препятствует выходу из клетки новых ионов калия, а те ионы, которые всё же выйдут из клетки, ещё больше увеличат заряд на мембране. Поток ионов калия прекращается, когда действие электрического поля компенсирует диффузионное давление вследствие разности концентраций. Ионы продолжают проходить через мембрану, но в равных количествах в обоих направлениях. Следовательно, для данной разности концентраций ионов на мембране существует равновесный потенциал E_{ion} , при котором поток ионов через мембрану прекращается. Равновесный потенциал может быть легко определён с помощью уравнения Нернста:

$$E_{ion} = \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \frac{\text{Внеклеточная концентрация иона}}{\text{Внутриклеточная концентрация иона}}, \quad (26)$$

где R – газовая постоянная, T – абсолютная температура, z – валентность иона (отрицательная для анионов), а F – число Фарадея. Если подставить в

уравнение константы, то при температуре тела ($T = 310 \text{ K}$) равновесный потенциал для ионов калия E_k равен:

$$E_k = -61 \text{ мВ} \cdot \lg \frac{[K^+]_{\text{внутри}}}{[K^+]_{\text{внеши}}} \quad (27)$$

Если $\frac{[K^+]_{\text{внутри}}}{[K^+]_{\text{внеши}}} = 39$ (для мышечных тканей), то

$$E_k = -61 \text{ мВ} \cdot \lg 39 = -61 \text{ мВ} \cdot 1,59 = -97 \text{ мВ}.$$

Действительно, было обнаружено, что все клетки имеют мембранный потенциал; в мышечных клетках млекопитающих его уровень составляет около -90 мВ . В зависимости от условий и относительных концентраций ионов клетки могут иметь мембранный потенциал в пределах от -40 до -120 мВ . Для клетки в приведённом выше примере потенциал покоя, равный примерно -90 мВ , показывает, что потоки ионов калия через мембранные каналы находятся приблизительно в равновесии. Это неудивительно, поскольку в покоящейся мембране открытое состояние калиевых каналов наиболее вероятно, т.е. мембрана наиболее проницаема для ионов калия. Мембранный потенциал, однако, определяется потоками и других ионов.

Активный транспорт, натрий/калиевый насос. В предыдущем разделе описаны пассивная диффузия ионов и образующийся вследствие этого мембранный потенциал при заданных внутри- и внеклеточных концентрациях ионов. Однако в результате этого процесса концентрация ионов внутри клетки стабилизируется не автоматически, поскольку мембранный потенциал несколько более электроотрицателен, чем E_k , и намного – по сравнению с E_{Na} (около $+60 \text{ мВ}$). Благодаря диффузии внутриклеточные концентрации ионов, по крайней мере калия и натрия, должны уравниваться с внеклеточными. Стабильность градиента ионов достигается посредством активного транспорта: мембранные белки переносят ионы через мембрану против электрического и (или) концентрационного градиен-

тов, потребляя для этого метаболическую энергию. Наиболее важный процесс активного транспорта – это работа Na/K-насоса, существующего практически во всех клетках; насос выкачивает ионы натрия из клетки, одновременно накачивая ионы калия внутрь клетки. Таким образом обеспечивается низкая внутриклеточная концентрация ионов натрия и высокая – калия. Градиент концентрации ионов натрия на мембране имеет специфические функции, связанные с передачей информации в виде электрических импульсов, а также с поддержанием других активных транспортных механизмов и регулирования объёма клетки. Поэтому неудивительно, что более 1/3 энергии, потребляемой клеткой, расходуется на Na/K-насос, а в некоторых наиболее активных клетках на его работу расходуется до 70% энергии.

Na/K-транспортный белок представляет собой АТФазу. На внутренней поверхности мембраны она расщепляет АТФ (аденозинтрифосфат) на АДФ (аденозиндифосфат) и фосфат. АТФаза (погружённая в липидный бислой плазматической мембраны) за один цикл выносит из клетки три иона Na^+ против градиентов потенциала и концентрации и приносит в клетку два иона K^+ . В ходе этого процесса одна молекула АТФ расщепляется на АДФ и фосфат. На схеме АТФаза показана как димер, состоящий из большой (функциональной) и малой субъединиц; в мембране она существует как тетрамер, образованный двумя большими и двумя малыми субъединицами. На транспортировку трёх ионов натрия из клетки и одновременно двух ионов калия в клетку используется энергия одной молекулы АТФ, т. е. суммарно за один цикл из клетки удаляется один положительный заряд. Таким образом, Na/K-насос является электрогенным (создаёт электрический ток через мембрану), что приводит к увеличению электроотрицательности мембранного потенциала приблизительно на 10 мВ. Транспортный белок выполняет эту операцию с высокой скоростью: от 150 до 600 ионов натрия в секунду. Аминокислотная последовательность транспортного белка известна, однако ещё не ясен механизм этого сложно-

го обменного транспорта. Данный процесс описывают с использованием энергетических профилей переноса белками ионов натрия или калия. По характеру изменения этих профилей, связанных с постоянными изменениями конформации транспортного белка (процесс, требующий затраты энергии), можно судить о стехиометрии обмена: два иона калия обмениваются на три иона натрия.

Поскольку работа Na/K-насоса представляет собой многоступенчатую химическую реакцию, она, подобно всем химическим реакциям, в значительной степени зависит от температуры. Пассивный поток ионов натрия против градиентов концентрации и потенциала крайне мал. Если препарат охладить примерно на 18°C , то поток ионов натрия из клетки быстро уменьшится в 15 раз, а сразу после нагревания восстановится до исходного уровня. Такое уменьшение потока ионов натрия из клетки в несколько раз больше, чем то, которое бы соответствовало температурной зависимости процесса диффузии или простой химической реакции. Сходный эффект наблюдается, когда запас метаболической энергии истощается в результате отравления динитрофенолом (ДНФ). Следовательно, поток ионов натрия из клетки обеспечивается энергозависимой реакцией – активным насосом. Другой характеристикой насоса наряду со значительной температурной и энергетической зависимостью является наличие уровня насыщения (как и у всех других химических реакций); это означает, что скорость работы насоса не может возрастать бесконечно при повышении концентрации транспортируемых ионов. Транспортный насос при высоких концентрациях насыщается (максимальная скорость, V_{\max}) – значение по оси абсцисс, соответствующее половине максимальной скорости насоса ($V_{\max}/2$), является равновесной концентрацией K_m . В отличие от него поток пассивно диффундирующего вещества растёт пропорционально разности концентраций в соответствии с законом диффузии Фика.

Помимо Na/K-насоса плазматическая мембрана содержит по крайней мере ещё один насос – кальциевый, который откачивает ионы кальция (Ca^{2+}) из клетки и участвует в поддержании их внутриклеточной концентрации на крайне низком уровне. Кальциевый насос присутствует с очень высокой плотностью в саркоплазматическом ретикулуме мышечных клеток, которые накапливают ионы кальция в результате расщепления молекул.

Воздействие Na/K-насоса на мембранный потенциал и объём клетки. Через калиевые каналы наблюдается выходящий ток ионов калия, так как мембранный потенциал несколько более электроположителен, чем равновесный потенциал для ионов калия. Общая проводимость натриевых каналов намного ниже, чем калиевых, т.е. натриевые каналы открыты намного реже, чем калиевые при потенциале покоя. Однако в клетку входит примерно столько же ионов натрия, сколько выходит из нее ионов калия, потому что для диффузии ионов натрия в клетку необходимы большие градиенты концентрации и потенциала. Na/K-насос обеспечивает идеальную компенсацию пассивных диффузионных токов, так как переносит ионы натрия из клетки, а ионы калия – в неё. Таким образом, насос является электрогенным за счёт разницы в числе перенесённых в клетку и из клетки зарядов, что при нормальной скорости его работы создает мембранный потенциал, примерно на 10 мВ более электроотрицательный, чем если бы он образовывался только за счёт пассивных потоков ионов. В результате мембранный потенциал приближается к калиевому равновесному потенциалу, что уменьшает утечку ионов калия. Активность Na/K-насоса регулируется внутриклеточной концентрацией ионов натрия. Скорость работы насоса замедляется при снижении концентрации ионов натрия, подлежащих выводу из клетки, так что работа насоса и поток ионов натрия внутрь клетки уравниваются друг друга, поддерживая внутриклеточную концентрацию ионов натрия на уровне примерно 10 ммоль/л.

Чтобы поддерживать равновесие между насосными и пассивными мембранными токами, необходимо намного больше молекул Na/K-насоса, чем канальных белков для ионов калия и натрия. При открытом состоянии канала через него проходят десятки тысяч ионов за несколько миллисекунд (см. выше), а поскольку канал обычно открывается несколько раз в секунду, всего за это время через него проходит более 10^5 ионов. Одиночный насосный белок перемещает несколько сотен ионов натрия в секунду, следовательно, плазматическая мембрана должна содержать примерно в 1000 раз больше насосных молекул, чем канальных. Измерения канальных токов в покое показали наличие в среднем одного калиевого и одного натриевого открытого канала на 1 мкм^2 мембраны; из этого следует, что на том же пространстве должно присутствовать около 1000 молекул Na/K-насоса, т.е. расстояние между ними составляет в среднем 34 нм; диаметр насосного белка, как и канального, составляет 8-10 нм. Таким образом, мембрана достаточно плотно насыщена насосными молекулами.

Тот факт, что поток ионов натрия внутрь клетки, а ионов калия – из клетки компенсируется работой насоса, имеет и другое следствие, заключающееся в сохранении стабильного осмотического давления и постоянного объёма. Внутри клетки существует высокая концентрация крупных анионов, главным образом белков (A^-), которые не способны проникать через мембрану (или проникают через неё очень медленно) и поэтому являются фиксированным компонентом внутри клетки. Чтобы уравновесить заряд этих анионов, необходимо равное количество катионов. Благодаря действию Na/K-насоса этими катионами в основном оказываются ионы калия. Существенное повышение внутриклеточной концентрации ионов могло бы происходить только при возрастании концентрации анионов вследствие потока Cl^- по градиенту концентрации в клетку, но мембранный потенциал противодействует этому. Входящий ток Cl^- наблюдается только до тех пор, пока не будет достигнут равновесный потенциал для ионов хлора; это

происходит в тот момент, когда градиент ионов хлора равен градиенту ионов калия. Результатом является ограничение общего количества ионов в клетке.

Эти реакции происходят в клетке постоянно. Однако, ионы, в том числе и Ca^{2+} , окружены сильно связанной водой. При этом данная система совершает естественные механические и электромагнитные колебания с собственной частотой лежащей в диапазоне от долей Гц до 100 Гц. В каждой клетке имеется множество таких каналов, предназначенных каждый для определённого вещества, элемента или иона. Воздействуя на эту систему ЭМП с резонансной для этой системы частотой мы увеличиваем вероятность прохождения реакции вывода иона Ca^{2+} из клетки. Далее запускается естественный компенсационный механизм: с помощью ферментов вводятся внутрь клетки ионы Na^+ , а затем выводится ион K^+ . Учитывая различную гидратированность этих ионов происходит обезвоживание клетки, уменьшение её объёма, и как следствие уменьшение коэффициента поверхностного натяжения и увеличение диффузионной проницаемости.

3.3 Ускорение процесса экстрагирования ценных компонентов из растительного сырья с помощью ЭМП НЧ

Автором отмечено [89, 145, 146] значимое влияние обработки растительного сырья ЭМП НЧ на скорость реакции и выход конечного продукта.

Сущность интенсификации массообменных процессов с помощью воздействий ЭМП НЧ состоит в ускорении внешнего массообмена, обуславливаемого: ведением процесса во взвешенном слое частиц в жидкости, в создаваемом пульсациями режиме псевдооживления; уменьшением фильтрационного гидравлического сопротивления слоя твёрдых частиц в жидкости при пульсациях; увеличением интенсивности внешнего массообме-

на, вызываемого пульсационным смыванием взвешенных частиц; снижением толщины пограничного слоя у массообменных поверхностей при пульсациях; относительным перемещением твёрдых частиц, вызываемым пульсациями; увеличением градиента концентрации при пульсационном изменении направления обтекания частиц и другими факторами. Многие из них вытекают из реализации соответствующих математических моделей и теоретического исследования механизма процесса.

Процесс в экстракторе. Изменение концентрации экстрагируемого вещества в цилиндрической колонне радиусом R можно описать уравнением Фурье–Кирхгофа

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \omega \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (28)$$

где t – время; r, z – радиальная и продольная координаты; D – коэффициент радиальной (поперечной) диффузии; ω – скорость течения в колонне.

В случае пульсирующего течения в колонне скорость течения наряду с постоянной составляющей будет иметь периодическую

$$\omega = \omega_0 (1 + A \cos \omega t) \quad (29)$$

В (29) форма импульса принята косинусоидальной. Вопрос о влиянии формы импульса на интенсивность процесса и о выборе оптимальной формы имеет особое значение.

При переходе в (28) к безразмерным координатам применяются преобразования

$$\begin{aligned} \tau = F_0 = \frac{t \nu}{R^2 \text{Pr}_D} = \frac{Dt}{R^2}; \quad X = \frac{1}{\text{Pe}_D} \frac{z}{R}; \\ \rho = \frac{r}{R}; \text{Pe}_D = \frac{2R\omega_0}{D}; \quad \text{Sh} = \frac{wA}{\omega_0} \end{aligned} \quad (30)$$

где τ – температура, $F_0 = \frac{a_0 \tau}{\nu^2}$ – число Фурье, ν – плотность несущей среды.

В качестве граничных условий могут быть приняты в общем случае условия первого–третьего рода. Следует отметить условия, специфичные

для данной задачи. К ним относится условие непроницаемости стенок аппарата

$$\left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \quad (31)$$

а также условие симметрии поля концентрации на оси аппарата

$$\left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad (32)$$

Можно также указать начальное условие

$$C(r, z, 0) = C_0 \quad (33)$$

и условие первого рода в начальном сечении на входе $C(r, 0, \tau) = C_H$ или выходе $C(r, l, \tau) = C_B$ (здесь l – длина экстрактора). В общем случае последнее условие может быть записано в виде

$$C(r, 0, \tau) = \varphi(\tau) \quad (34)$$

т. е. концентрация вещества на входе является известной функцией времени.

Инспекционный анализ уравнения пульсирующей экстракции даёт связь между комплексами

$$Nu_D = f(Re_D, Re_n, Re_0, Sh, F_0, Pr_D), \quad (35)$$

где Nu_D , Re_D , Sh , F_0 и Pr_D — соответственно критерии Нуссельта, Пекле, Струхалья, Фурье и Прандтля; Re_n и Re_0 — критерии Рейнольдса, вычисленные по пульсационной и средней расходной скорости потока жидкости. Имея в виду, что $Sh = Re_n/Re_0$, один из критериев Re_n , Re_0 или Sh может быть исключён из (35).

Под действием пульсаций экстрагирующей жидкости в колонне твёрдые частицы, из которых извлекается экстрагируемое вещество, приходят во взвешенное состояние и гидравлическое сопротивление столба уменьшается, фильтрационная способность колонны возрастает, улучшаются условия смывания твёрдых частиц жидкостью, возрастает D и интенсифицируется процесс экстракции.

Изменение гидравлического сопротивления под действием пульсаций можно описать уравнением

$$\frac{d^2 P}{dz^2} = \frac{m_0 \mu c}{k} \frac{dP}{dt} \quad (36)$$

где P – давление; m_0 – порозность; μ – вязкость; k – коэффициент проницания. Последний коэффициент в общем случае является функцией давления $k = k(P)$.

Граничные условия к уравнению (36)

$$\begin{aligned} P(0, t) &= P_0 + \gamma h; \\ P(x_0, t) &= P'_0 + P_m \sin wt; \\ P(x, 0) &= -ax + b. \end{aligned} \quad (37)$$

Полученное в [159] решение уравнения (36) с условиями (37) даёт объёмный расход фильтра q :

$$\begin{aligned} q &= \frac{2k_0 A}{\mu} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\pi n} \left\{ \frac{1}{\pi n} (1 - e^{-Dt}) [P_0 + \gamma h - (-1)^n P_0] + \right. \\ &+ (-1)^{n-1} P_m \left[\frac{1}{D^2 + w^2} (D \sin wt - w \cos wt) + \frac{w e^{-Dt}}{D^2 + w^2} \right] + \\ &\left. + (-1)^n \frac{a e^{-Dt}}{\pi n} x_0 - \frac{b e^{-Dt}}{\pi n} [(-1)^n - 1] \right\} \cos \frac{\pi n}{x_0} x, \end{aligned} \quad (38)$$

$$\text{где } D = \frac{\pi^2 n^2}{x_0^2} \frac{k_0}{m_0 \mu c}.$$

Решим вначале стационарную задачу, описываемую уравнением (28)

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + \omega_0 \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right); \quad C = C(r, z, \tau) \quad (39)$$

с краевыми условиями:

$$C(r, z, 0) = C_0 \quad (40)$$

$$\left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \quad (41)$$

$$\left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad (42)$$

$$C(r, 0, \tau) = C_H \quad (43)$$

Для решения задачи (40) – (43) воспользуемся сочетанием двух методов: метода конечных интегральных преобразований и операционным методом – преобразованием Лапласа.

Вначале, для того чтобы избавиться от дифференциальных операций по r , воспользуемся методом конечных интегральных преобразований [97, 158]. Уравнение для ядра $K(r, \lambda)$ интегрального преобразования

$$\frac{d^2 K}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dK}{dr} + \lambda^2 K = 0. \quad (44)$$

К уравнению (44) присоединим граничные условия из условий задачи

$$\begin{aligned} r = 0; K < \infty; \\ \left. \frac{\partial K}{\partial r} \right|_{r=R} = 0. \end{aligned} \quad (45)$$

Уравнение (44) является уравнением Бесселя нулевого порядка и его решение, как известно, имеет вид

$$K = c_1 J_0(\lambda r) + c_2 Y_0(\lambda r). \quad (46)$$

Функция Бесселя нулевого порядка второго рода $Y_0(\lambda r)$ устремляется в бесконечность. Поэтому из ограниченности K (первое условие в (45)) следует, что в (46) $c_2 = 0$.

Поэтому ядро интегрального преобразования будет иметь вид

$$K(r, \lambda_n) = J_0(\lambda_n r). \quad (47)$$

Нормирующий делитель

$$C_n = \int_0^R r J_0^2(\lambda_n r) dr. \quad (48)$$

Согласно формуле

$$\int_0^R r J_0^2(\lambda_n r) dr = \int_0^R r J_0^2\left(\frac{\mu_n}{R} r\right) dr = \frac{R^2}{2} J_0^2(\mu_n), \quad (49)$$

где $\lambda_n = \frac{\mu_n}{R}$.

Таким образом, ядро интегрального преобразования по r

$$\beta = \frac{1}{C_n} K(r, \lambda_n) = \frac{2}{R^3 J_0^2(\mu_n)} J_0\left(\frac{\mu_n}{R} r\right). \quad (50)$$

Из граничного условия (45) получаем характеристическое уравнение для определения собственных чисел μ_n :

$$J_0^1(\lambda_n R) = 0. \quad (51)$$

Пользуясь равенством $J_0'(x) = -J_1(x)$ из (51), получаем $J_1(\lambda_n R) = 0$

или, имея в виду, что $\lambda_n = \frac{\mu_n}{R}$, находим

$$J_1(\mu_n) = 0. \quad (52)$$

Уравнение (52) и служит для определения собственных чисел μ_n .

Применяем к уравнению (39) интегральное преобразование

$$\bar{C} = \int_0^R C(r, z, \tau) \beta dr. \quad (53)$$

Тогда получаем уравнение

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} + \omega_0 \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} = -\frac{\mu_n^2}{R^2} \bar{C}, \quad (54)$$

в котором дифференциальные операции по r исключены. Граничные условия к (54) также подвергаются интегральному преобразованию (53):

$$\bar{C}|_{z=0} = \bar{C}_n; \quad \bar{C}|_{z=l} = \bar{C}_s; \quad (55)$$

где $\bar{C}_n = \frac{2C_n}{R^2 J_0^2(\mu)} \int_0^R r J_0\left(\frac{\mu}{R} r\right) dr$. Вычислим интеграл $J = \int_0^R r J_0\left(\frac{\mu}{R} r\right) dr$.

Произведем замену переменных $\frac{\mu}{R} r = y$. Тогда $dr = \frac{R}{\mu} dy$, а пределы

интегрирования соответственно будут при $r = 0, y = 0$, при $r = R, y = \mu$

$$J = \frac{R^2}{\mu^2} \int_0^\mu y J_0(y) dy = \frac{R^2}{\mu^2} y J_1(y) \Big|_0^\mu = \frac{R^2}{\mu} J_1(\mu). \quad (56)$$

Уравнение (54) перепишем в виде

$$\frac{\partial y}{\partial \tau} + \omega_0 \frac{\partial y}{\partial z} = ky. \quad (57)$$

Краевые условия

$$y|_{z=0} = y_1; \quad y|_{z=l} = y_2; \quad (58)$$

при $\tau = 0, y = y_0$.

Для исключения операции дифференцирования по τ воспользуемся преобразованием Лапласа $\int_0^{\infty} ye^{-p\tau} d\tau \rightarrow \bar{y}$, после чего получаем обыкновенное

дифференциальное уравнение. Имеем

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \frac{\partial y}{\partial \tau} e^{-p\tau} d\tau + \omega_0 \int_0^{\infty} \frac{\partial y}{\partial z} e^{-p\tau} d\tau &= k \int_0^{\infty} ye^{-p\tau} d\tau; \\ \int_0^{\infty} y'e^{-p\tau} d\tau &= \int_0^{\infty} e^{-p\tau} dy = ye^{-p\tau} \Big|_0^{\infty} + p \int_0^{\infty} ye^{-p\tau} d\tau = \\ &= p\bar{y} - y(0) = p\bar{y} - y_0; \\ p\bar{y} - y_0 + \omega_0 \frac{d\bar{y}}{dz} &= k\bar{y}; \quad \frac{d\bar{y}}{dz} + \frac{p-k}{\omega_0} \bar{y} = \frac{y_0}{\omega_0}. \end{aligned} \quad (59)$$

Из (59) находим

$$\begin{aligned} \bar{y} &= e^{-\int_0^z \frac{p-k}{\omega_0} dz} \left(\int_0^z e^{\int_0^z \frac{p-k}{\omega_0} dz} \frac{y_0}{\omega_0} dz + \bar{y}_1 \right) = \\ &= e^{-\frac{p-k}{\omega_0} z} \left(\frac{y_0}{\omega_0} \frac{\omega_0}{p-k} e^{\frac{p-k}{\omega_0} z} \Big|_0^z + \bar{y}_1 \right) = \\ &= \frac{y_0}{\omega_0} e^{-\frac{p-k}{\omega_0} z} \frac{\omega_0}{p-k} \left(e^{\frac{p-k}{\omega_0} z} - 1 \right) + \bar{y}_1 e^{-\frac{p-k}{\omega_0} z} = \\ &= \frac{y_0}{p-k} - \frac{y_0}{p-k} e^{-\frac{p-k}{\omega_0} z} + \bar{y}_1 e^{-\frac{p-k}{\omega_0} z}, \end{aligned}$$

где \bar{y}_1 – преобразованное по Лапласу граничное условие $y|_{z=0} = y_1$, т.е.

$$\bar{y}_1 = \int_0^{\infty} y_1 e^{-p\tau} d\tau = \frac{y_1}{p}. \text{ Имеем}$$

$$\bar{y} = \frac{y_0}{p-k} - \frac{y_0}{p-k} e^{-\frac{p-k}{\omega_0} z} + \frac{\bar{y}_1}{p} e^{-\frac{p-k}{\omega_0} z}. \quad (60)$$

Обозначим $\frac{z}{\omega_0} = \alpha$. Переходим в (60) от изображений к оригиналам

$F(p) \rightarrow f(\tau)$ имея в виду, что y_0, y_1 – постоянные, а $z \neq f(\tau)$.

Оригинал $\frac{1}{p-k}$ будет $e^{k\tau}$. Пользуясь свойством $Af(\tau) = AF(p)$, и наоборот, $Af(p) \rightarrow Af(\tau)$, находим $\frac{y_0}{p-k} = y_0 \frac{1}{p-k} \rightarrow y_0 e^{k\tau}$ — оригинал первого слагаемого.

Известно, что $\frac{1}{p} e^{-p\alpha}$ имеет оригинал 0 или 1 в зависимости от того, $\tau < \alpha$ или $\tau > \alpha$, т. е.

$$\frac{1}{p} e^{-p\alpha} \rightarrow \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < \tau < \alpha \\ 1 & \text{при } \tau > \alpha \end{cases}$$

Имея это в виду и пользуясь теоремой смещения,

$$F(p-k) = \int_0^{\infty} e^{-(p-k)\tau} f(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} e^{-p\tau} [e^{k\tau} f(\tau)] d\tau = L[e^{k\tau} f(\tau)],$$

т. е. находим оригинал второго слагаемого. Имеем

$$y_0 \frac{1}{p-k} e^{-(p-k)\alpha} \rightarrow \begin{cases} y_0 e^{k\tau} 0 = 0 & \text{и} \ddot{\text{д}} \ddot{\text{е}} \quad 0 < \tau < \alpha; \\ y_0 e^{k\tau} 1 = y_0 e^{k\tau} & \text{и} \ddot{\text{д}} \ddot{\text{е}} \quad \tau > \alpha. \end{cases}$$

Рассмотрим физический смысл в нашем случае. Согласно обозначению, параметр $\alpha = \frac{z}{\omega_0}$ показывает продолжительность времени τ_0 , по прошествии которого жидкость пройдёт весь аппарат. Так как $\omega = f(r)$, то в этой модели процесс протекает, как в аппарате идеального вытеснения. Поэтому можно ожидать, что после достижения $\tau \geq \tau_0$ неустановившийся процесс установится и распределение концентрации не будет зависеть от времени.

И действительно, для периода $\tau \geq \tau_0 = \alpha$ оригинал второго слагаемого численно равен оригиналу первого слагаемого в (60), имеющему обратный знак. Следовательно, члены, зависящие от τ , уничтожаются, и получаем выражение $C = C(r, z)$ для стационарного процесса. Нестационарность же проявляется только в период $0 < \tau < \tau_0 = \frac{z}{\omega}$. В этом случае оригинал второго слагаемого обращается в нуль, сохраняется первое слагаемое в (60), зави-

сящее от τ , и получаем $C = C(r, z, \tau)$. Для третьего слагаемого, имея в виду, что $\frac{1}{p} e^{-p\alpha} \rightarrow 1$, получим

$$y_1 \frac{1}{p} e^{-p\alpha} e^{k\alpha} \rightarrow y_1 e^{k\alpha} = y_1 e^{k \frac{z}{\omega_0}}.$$

Таким образом, после перехода в пространство оригиналов получим для периода $0 < \tau < \frac{z}{\omega}$

$$y = y_0 e^{k\tau} - 0 + y_1 e^{k \frac{z}{\omega_0}}; \quad (61)$$

$$\bar{C} = y_0 e^{-\frac{\mu^2}{R^2} \tau} + y_1 e^{-\frac{\mu^2}{\omega_0 R^2} z}. \quad (62)$$

Переходя к оригиналу в конечных интегральных преобразованиях, имеем

$$C(r, z, \tau) = \frac{2}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[y_0 e^{-\frac{\mu_n^2}{R^2} \tau} + y_1 e^{-\frac{\mu_n^2}{\omega_0 R^2} z} \right] \frac{1}{J_0^2(\mu_n)} J_0\left(\frac{\mu}{R} r\right). \quad (63)$$

Из (63) при $\tau \rightarrow \infty$ получаем распределение концентрации вещества в колонне при установившемся процессе. Пренебрегая пристенными эффектами, можно считать распределение концентрации по радиусу равномерным.

С учётом этих соображений запишем нестационарную задачу в виде

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + \omega(1 + A \cos w\tau) \frac{\partial C}{\partial z} = 0. \quad (64)$$

В качестве граничных условий принимаем распределение концентраций вещества в начальный момент до начала пульсаций, основываясь на стационарном решении, т. е. будем полагать, что по истечении $\tau_0 = t \rightarrow \infty$ в стационарном режиме без пульсаций наступает стабилизация распределения концентрации в колонне. После этого при $\tau_0 \geq 0$ осуществляется наложение пульсаций, и под их действием происходит изменение поля концентраций. Это изменение и найдём из решения уравнения (64).

Таким образом, начальное условие к (64) получаем из решения стационарной задачи

$$C(0, z) = f(z). \quad (65)$$

Граничным условием будет

$$C(\tau, 0) = C_H. \quad (66)$$

Для разделения переменных в уравнении (64) полагаем

$$C(z, \tau) = C_1(\tau) + C_2(z). \quad (67)$$

Подставляя (67) в (64), получаем

$$\frac{1}{\omega(1 + A \cos w\tau)} \frac{dC_1(\tau)}{d\tau} = -\frac{dC_2(z)}{dz} = a. \quad (68)$$

Поскольку в (68) в левой части содержатся только функции от τ а в правой только от z , то равенство (68) возможно тогда, когда обе части равны постоянной a . Эта постоянная образуется от разделения переменных и называется постоянной разделения. После интегрирования вводится ещё постоянная интегрирования b . Имеем

$$\begin{aligned} \tilde{N}_1(\tau) &= a\omega \int_0^\tau (1 + A \cos w\tau) d\tau = a\omega\tau + \frac{a\omega A}{w} \sin w\tau + b_1; \\ C_2(z) &= -az + b_2. \end{aligned} \quad (69)$$

Общее решение имеет вид

$$C(z, \tau) = C_1(\tau) + C_2(z) = a \left(\omega\tau - z + \frac{\omega A}{w} \sin w\tau \right) + b, \quad (70)$$

где $b = b_1 + b_2$. Постоянные a и b находим из краевых условий:

$$\text{при } \tau = 0 \quad f(z) = -az + b;$$

$$\text{при } z = 0 \quad C_i = a\omega \left(\tau + \frac{A}{w} \sin w\tau \right) + b. \quad (71)$$

Решая систему (71), относительно a и b находим

$$\begin{aligned} a &= \frac{C_i - f(z)}{z + \omega \left(\tau + \frac{A}{w} \sin w\tau \right)}; \\ b &= f(z) + \frac{C_i - f(z)}{z + \omega \left(\tau + \frac{A}{w} \sin w\tau \right)}. \end{aligned} \quad (72)$$

Окончательно получаем

$$\begin{aligned} \tilde{N}(z, \tau) = & \frac{(C_i - f(z)) \left(\omega\tau - z + \frac{\omega A}{w} \sin w\tau \right)}{z + \omega\tau + \frac{\omega A}{w} \sin w\tau} + \\ & + \frac{f(z) \left(z + \omega\tau + \frac{\omega A}{w} \sin w\tau \right) + C_i - f(z)}{z + \omega\tau + \frac{\omega A}{w} \sin w\tau}. \end{aligned} \quad (73)$$

Таким образом, получена математическая модель зависимости концентрации целевого компонента в экстракте в зависимости от времени процесса, начальной концентрации и скорости течения.

3.4 Проведение экстракции с наложением ЭМП НЧ

По внешнему виду полученные СО₂-экстракты представляют собой маслянистые жидкости с содержанием влаги 2,0 - 2,7% и характерным для исходного сырья запахом. При соотношении 1:1 полученные экстракты полностью растворяются в 96° этиловом спирте. Физико-химические свойства СО₂-экстрактов, получаемых по традиционной и по усовершенствованной технологии, приведены в таблице 5.

Как видно из табл.5, при воздействии на растительное сырье ЭМП НЧ происходит существенное увеличение выхода ПНЖК и уменьшение кислотного числа СО₂-экстракта.

Полученные по новой технологии СО₂-экстракты используются в качестве геропротекторного, радиопротекторного, антиоксидантного средства. С участием автора были разработаны способы приготовления геродитических продуктов с СО₂-экстрактами и получены 2 решения на выдачу патентов РФ на изобретения.

Таблица 5 – Физико-химические свойства CO₂-экстрактов

Наименование показателей	CO ₂ -экстракты	
	по традиционной технологии	по усовершенствованной технологии
<i>CO₂-экстракт из плодов можжевельной ягоды</i>		
Плотность при 20 °С	0,9500 – 0,9890	0,9852
Показатель преломления при 20 °С	1,4990 – 1,5100	1,5027
Кислотное число, мг КОН, не более	28	25
Содержание ПНЖК, %	4,1	6,3
<i>CO₂-экстракт из ягод рябины красной</i>		
Плотность при 20 °С	0,9440 – 0,9920	0,9857
Показатель преломления при 20 °С	1,4760 – 1,5150	
Кислотное число, мг КОН, не более	8,0	7,5
Содержание ПНЖК, %	3,8	5,7
<i>CO₂-экстракт из ягод рябины черноплодной</i>		
Плотность при 20 °С	0,9520 – 0,9740	0,9598
Показатель преломления при 20 °С	1,4580 – 1,4990	0,
Кислотное число, мг КОН, не более	9,5	8,9
Содержание ПНЖК, %	4,2	6,9
<i>CO₂-экстракт из семян расторопши пятнистой</i>		
Плотность при 20 °С	0,9310 – 0,9940	0,9873
Показатель преломления при 20 °С	1,4840 – 1,5140	
Кислотное число, мг КОН, не более	14,0	13,2
Содержание ПНЖК, %	5,3	7,4

Микробиологические показатели продуктов с CO₂-экстрактами приведены в табл.6. Как видно из табл.6, за счёт включения в состав конструированных продуктов новых видов CO₂-экстрактов достигается микробиологическая безопасность геродиетических продуктов.

Полученные по новой технологии CO₂-экстракты используются в качестве геропротекторного, радиопротекторного, антиоксидантного средства. С участием автора были разработаны способы приготовления геродиетических продуктов с CO₂-экстрактами и получены 2 решения на выдачу патентов РФ на изобретения.

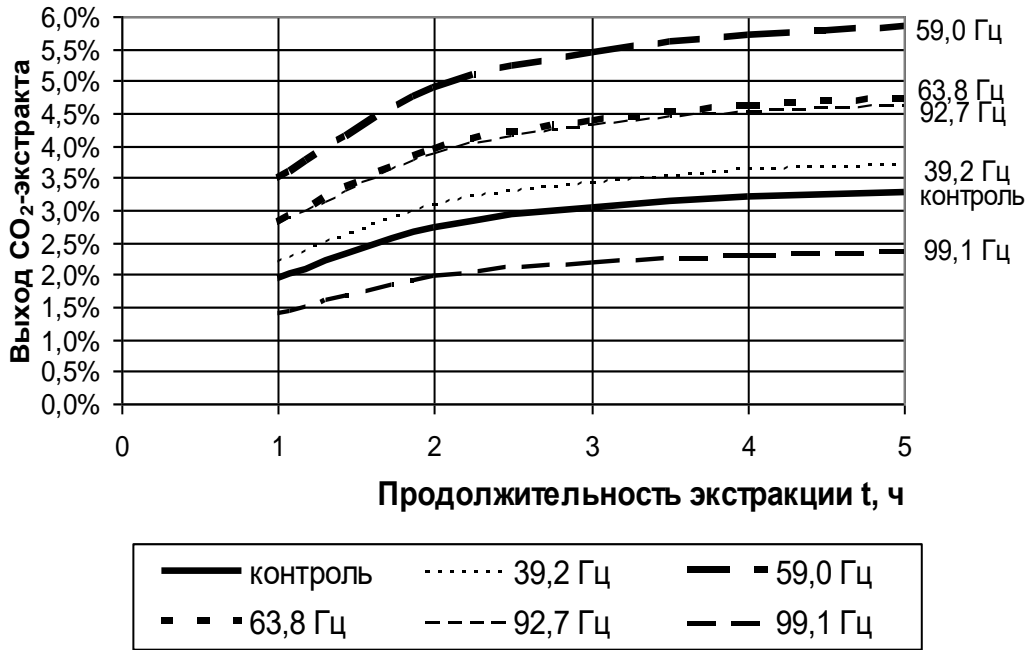
Таблица 6 – Микробиологические показатели продуктов с CO₂-экстрактами

Вид продукта	Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	Присутствие в исследуемом продукте		
		БГКП (количества), в 1 г	Сульфитредуцирующие клостридии, в 0,1 г	Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, в 25 г
Геродиетический продукт на мясорастительной основе	1·10 ²	нет роста	нет роста	нет роста
Комбинированный геродиетический продукт на рыбо-овощной основе	1·10 ²	нет роста	нет роста	нет роста

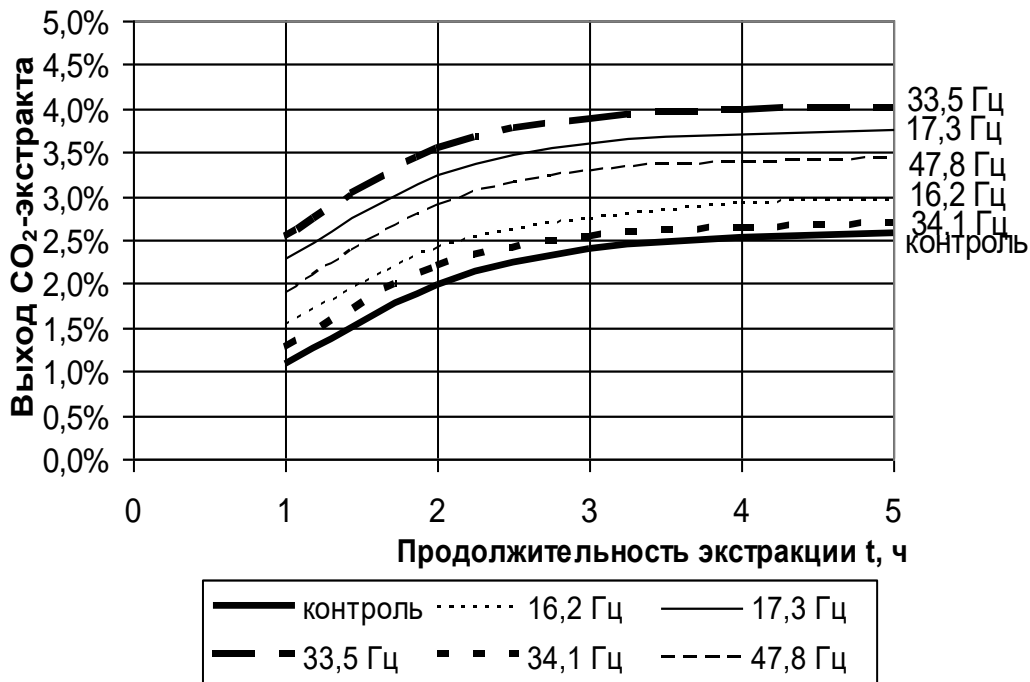
Зависимость выхода CO₂-экстракта от времени проведения экстракции при воздействии на можжевеловую ягоду и семена расторопши на индивидуально определённых резонансных частотах представлена на рис.12. Зависимости выхода CO₂-экстракта из ягод рябины красной и черноплодной имеют вид аналогичный представленным на рис.12 графикам.

Из графиков на рис.12 видно, что выход CO₂-экстракта существенно зависит от частоты, причем он может не только увеличиться, но и уменьшиться (рис.12(а), частота 99,1 Гц). Это подчеркивает важность предвари-

тельного исследования резонансных для конкретного вида сырья частот. А, ввиду высокой добротности биологических мембран растительных клеток, неправильный подбор частоты может не дать никакого результата при использовании маломощного ЭМП НЧ.



а)



б)

Рисунок 12 – Кинетика извлечения экстрактивных веществ при различных частотах предварительной обработки:

а) из можжевельной ягоды; б) из расторопши пятнистой.

3.5 Санитарно-гигиеническая оценка полученных CO₂-экстрактов

С использованием CO₂-экстрактов, полученных по новой технологии, были сконструированы новые геродиетические продукты [84, 135, 136].

На основании рекомендаций СанПиН 2.3.2.1078-01 и НРБ был определён уровень удельной активности радионуклидов цезия-137 и стронция-90. Кроме радионуклидов в сухом белковом полуфабрикате были определены среднегодовые значения токсичных элементов и микробиологические показатели.

Результаты токсикологических, радиологических и микробиологических исследований представлены в таблице 7.

Из таблицы 7 следует, что бактерии группы кишечных палочек отсутствуют в 0,01 г, а патогенные микроорганизмы, в т.ч. *Salmonella* в 25 г исследованных образцов. В ряде случаев (в 3 из 8 образцов, отобранных от разных партий), количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов достигало $1,1 \times 10^3$ КОЕ/г. Это может быть связано с эндогенным обсеменением белкового полуфабриката в процессе расфасовки, упаковки и хранения.

Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод, что сухой белковый полуфабрикат, полученный по усовершенствованной технологии, по комплексу санитарно-гигиенических показателей может использоваться при проектировании и производстве нового поколения продуктов функционального назначения.

Таблица 7 – Показатели безопасности СБП

Определяемые показатели, единицы измерения	Допустимый уровень, мг/кг, не более	Результаты испытаний
Свинец	0,5	0,01
Мышьяк	0,2	<0,0025
Кадмий	0,1	<0,001
Ртуть, мг/кг	0,03	<0,0015
Медь	10,0	1,1
Цинк	50	3,6
Цезий – 137, бк/кг	160	20
Стронций – 90, бк/кг	80	18
КМАФАнМ, КОЕ/г	1x10 ⁴	1,1x10 ³
Сульфатредуцирующие клостридии в 0,1 г	Не допускаются	Не обнаружено
Патогенные, в том числе сальмонеллы, в 25 г	Не допускаются	Не обнаружено

Глава 4 Практическая реализация результатов исследований

Опытно-промышленная апробация результатов диссертационной работы осуществлялась в условиях действующего цеха экстракции ООО «Компания Караван». Перенос результатов лабораторных исследований на опытные и опытно-промышленные экстракционные установки требует применения элементов теории подобия.

Операторная модель линии по производству CO_2 -экстрактов из растительного сырья на усовершенствованной установке приведена на рис.13.

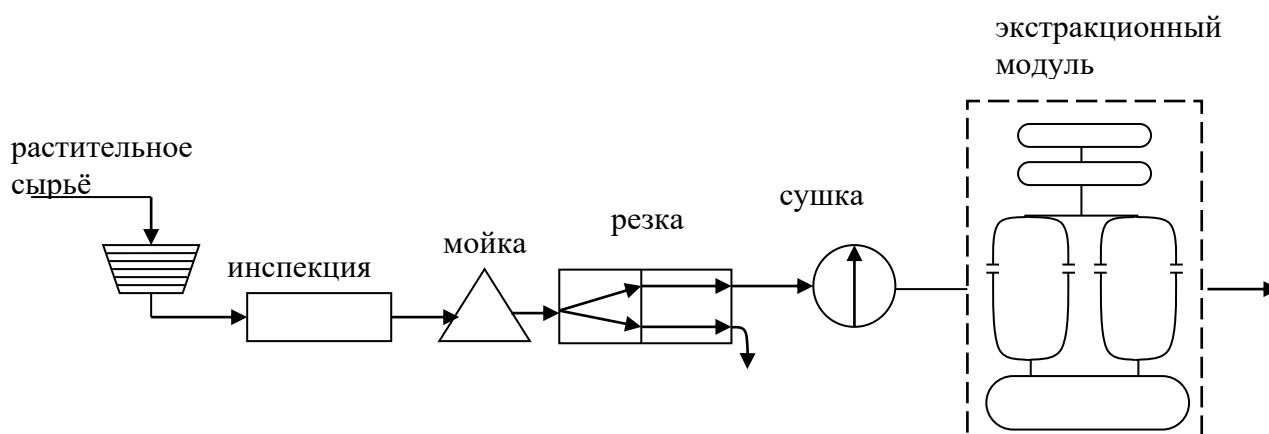


Рисунок 13 – Операторная модель линии по производству CO_2 -экстрактов

4.1 Совершенствование промышленных CO_2 -экстракторов за счёт подвода энергии ЭМП НЧ

На рис.14 представлена схема промышленной установки периодического действия для экстракции растительного сырья жидким диоксидом углерода с использованием в качестве интенсифицирующего фактора ЭМП НЧ.

Приведённая на рис.14 схема позволяет осуществлять процесс извлечения ценных компонентов из плодов можжевельника, рябины красной, рябины черноплодной и семян расторопши под воздействием ЭМП НЧ в диапазоне от 30 до 60 Гц.

В табл.8 представлены основные характеристики производства CO_2 -экстрактов.

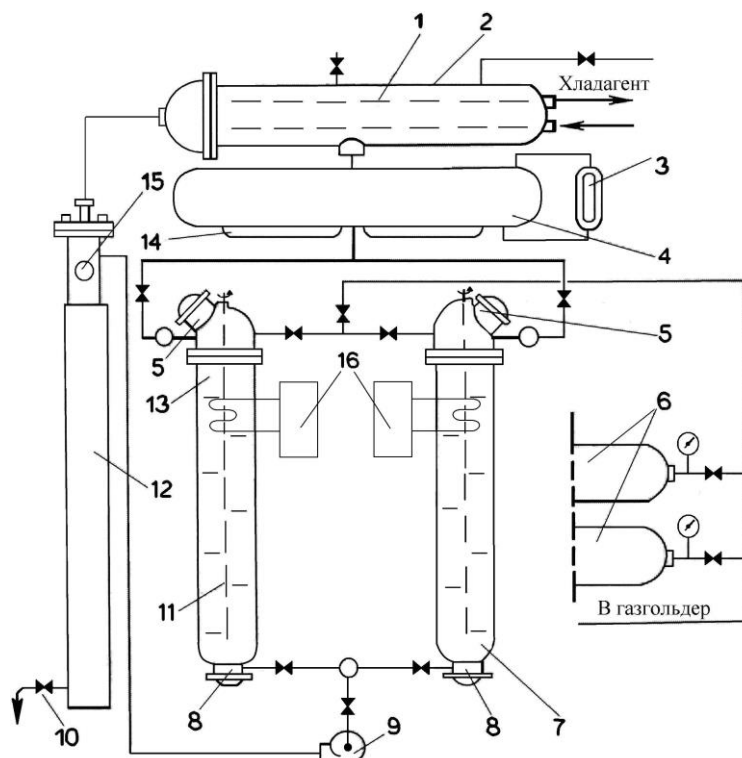


Рисунок 14 – Схема модернизированной установки периодического действия для экстракции растительного сырья жидким диоксидом углерода с наложением ЭМП НЧ:

1 – охлаждающий змеевик; 2 – конденсатор; 3 – смотровое окно; 4 – сборная ёмкость; 5 – загрузочные люки; 6 – ёмкости для паров CO_2 ; 7, 13 – экстракторы; 8 – выгрузочный люк; 9 – насос; 10 – вентиль отбора экстракта; 11 – мешалка; 12 – плёночный дистиллятор; 14 – подогревающая рубашка; 15 – дистиллятор; 16 – генератор ЭМП НЧ;

Таблица 8 – Основные характеристики CO_2 -экстракционной установки

№	Характеристики	Значения
1	Рабочее давление, МПа	5,0 - 7,0
2	Рабочая температура, К	273 - 303

Схема производства CO_2 -экстрактов представлена на рис.15.

Масса загрузки от 6 до 9 кг/цикл в зависимости от вида сырья.



Рисунок 15 – Схема производства СО₂-экстрактов

Далее приводится описание и инструкция по эксплуатации, необходимая для изучения конструкции и технического обслуживания экстракционной установки, предназначенной для обработки растительного сырья сжиженным диоксидом углерода. Описанная установка предназначена для технологических линий по производству экстрактов на специализированных предприятиях.

При эксплуатации и техническом обслуживании установки следует руководствоваться "Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением" Госгортехнадзора РФ, а также "Правилами безопасности в производствах экстрактов из пряно-ароматического сырья методом экстракции сжиженными газами". Процесс экстракции растительного сырья проходит в периодическом режиме. Климатическое исполнение установки V, категория размещения – 2, температура окружающего воздуха 15-30⁰С по ГОСТ 15150.

Основные параметры приведены в табл.9.

Таблица 9– Основные параметры установки для CO₂ - экстрагирования.

№	Наименование параметров	Значение параметров
1	Производительность по перерабатываемому сырью при трёхсменной работе (8 часов), кг	80 – 100
2	Давление, МПа рабочее испытательное гидравлическое	5 – 7 12
3	Рабочая температура растворителя, К	273 – 303
4	Расход растворителя на 1 кг перерабатываемого сырья, кг/кг	5 – 20
5	Номинальный объём, м ³	
	экстрактор	0,038
	сборник растворителя	0,34
	испаритель	0,036
	конденсатор	0,0035
	Поверхность теплообмена, м ²	
6	конденсатор	4,1
	испаритель	0,62
7	Рабочая частота генератора ЭМП НЧ, Гц	1 – 100 Гц
8	Расход электроэнергии, кВт·ч	2,0
	в том числе, генератор ЭМП НЧ, кВт·ч	8·10 ⁻³
9	Расход охлаждающей жидкости, м ³ /ч	2
10	Температура охлаждающей жидкости, К	279 – 285
11	Расход теплоносителя, м ³ /ч	0,6 – 1,2
12	Температура теплоносителя, К	333 – 343
13	Количество загружаемого в экстрактор сырья, кг	15 – 29

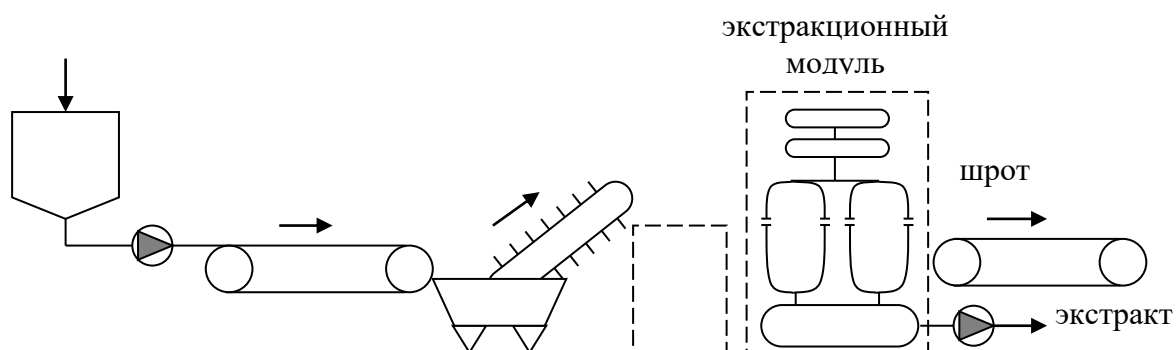


Рисунок 16 – Аппаратурно-технологическая схема производства CO₂-экстрактов с наложением ЭМП НЧ

4.2 Влияние ЭМП НЧ на биологические объекты

Так как человек тоже является биологическим объектом, необходимо экранировать человека от этого электромагнитного воздействия. Особенно важна защита от ЭМП обслуживающего персонала, работающего с ним постоянно. Учитывая, что ЭМП НЧ практически не экранируется, нами были применены амплитудная, фазовая и частотная модуляция сигнала, чтобы ослабить излучение ЭМП в окружающую среду.

С целью исследования безопасности для окружающей среды использования усовершенствованной CO₂-экстракционной установки производились замеры напряжённости ЭМП на различном расстоянии от установки, исследования возможного действия ЭМП генерируемого излучателем и не скомпенсированного стенками установки. Для осуществления опыта использовался характериограф СК4-56 работающий в диапазоне частот от 9 Гц до 60 кГц. К нему подключался датчик электромагнитного поля представляющий катушку, содержащую 10 витков провода толщиной 1,5 мм намотанных на картонное кольцо диаметром в 5 см. Исследования величины напряжённости поля проводилось на различных расстояниях и направлениях от экстрактора. Результаты этих экспериментальных исследований представлены на рис.17.

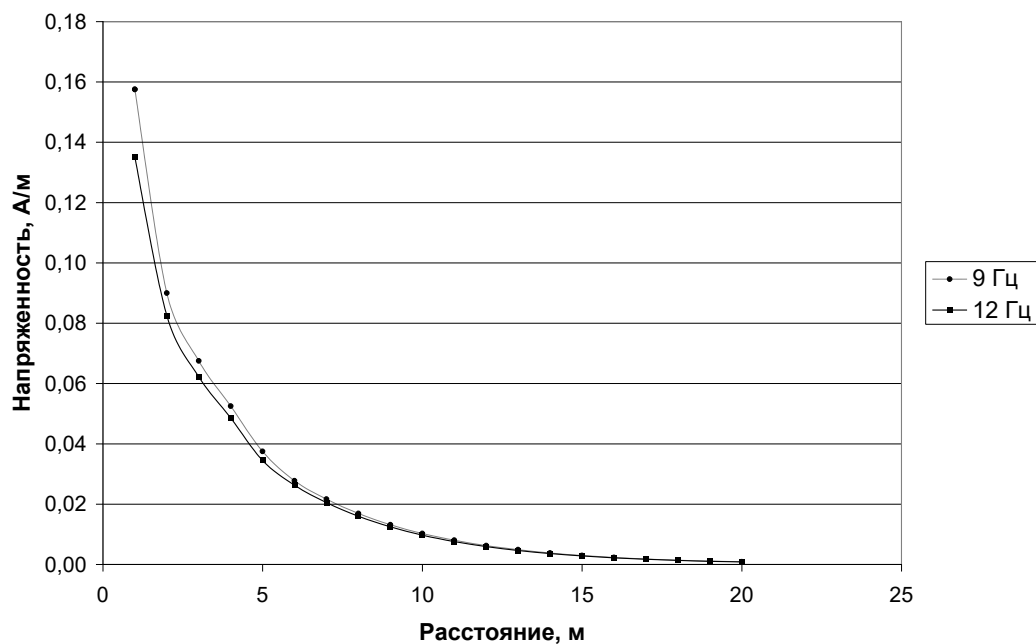


Рисунок 17 – Изменение напряжённости электромагнитного поля по мере удаления от экстрактора

Как видно из рис.17, при исходной напряжённости МП 150 А/м происходит ослабление стенками камеры более чем в 1000 раз, что составляет 30 дБ.

Для проведения замеров датчик ЭМП размещался по периметру экстрактора согласно рис 18, при этом минимальное расстояние составляло 1 м.

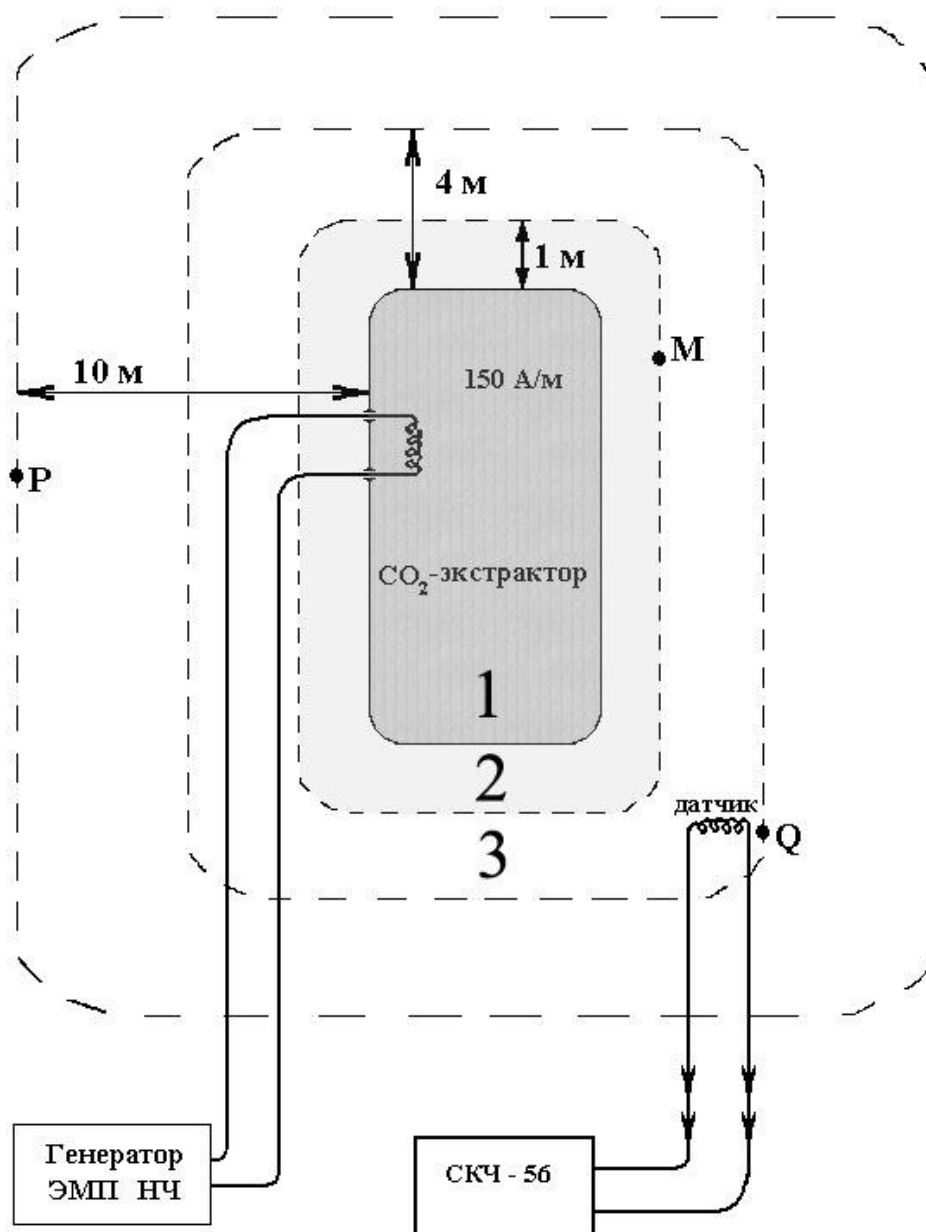


Рисунок 18 – Схема измерения ослабления ЭМП НЧ стенками экстрактора 1 – зона воздействия ЭМП НЧ; 2 – зона относительной безопасности; 3 – безопасная зона.

Ввиду наличия в научной литературе сообщений о чрезвычайно высокой чувствительности биообъектов к действию слабого ЭМП НЧ и размытости нижнего порога чувствительности биообъектов, авторами были проведены опыты по оценке возможного влияния ЭМП не скомпенсированного стенками камеры экстрактора на микроорганизмы. Причём микроорганизмы оказываются гораздо чувствительнее к воздействию ЭМП НЧ, чем млекопитающие (в том числе и человек). Поэтому, в качестве тестово-

го микроорганизма использовали 24-часовую культуру *Escherichia coli* помещенную в физиологический раствор. Колбы с культурой *Escherichia coli* устанавливались в тех же точках возле экстрактора, где производились замеры напряжённости поля, т.е. на расстоянии 1 м, 4 м и 10 м от экстрактора. Частоты ЭМП устанавливались в соответствии выявленными авторами в ходе исследований резонансными окнами чувствительности культуры *Escherichia coli*.

Результаты этого исследования представлены на рис.19. Как следует из результатов исследования, изменение числа колоний снаружи экстрактора незначимо отличается от контроля, т.е. поле не оказывает влияния на микроорганизмы находящиеся за пределами экстрактора.

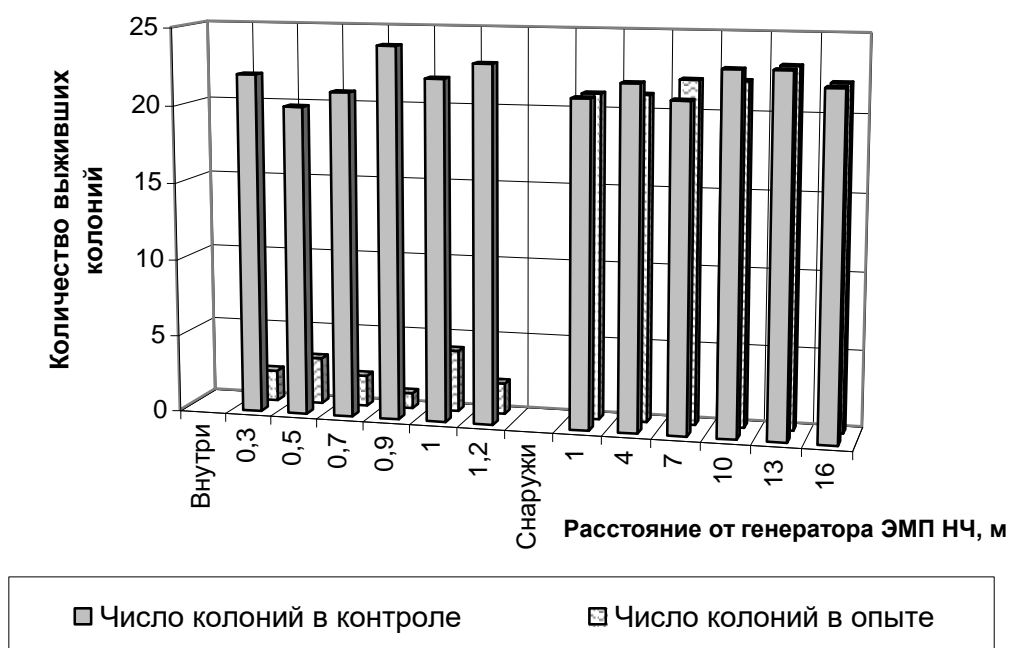


Рисунок 19 – Воздействие ЭМП НЧ на культуру *Escherichia coli* внутри и снаружи экстрактора

Таким образом, стенки экстрактора вполне удовлетворительно экранируют ЭМП НЧ.

При анализе, объяснении и применении данных о воздействии внешних воздействий, в частности, ЭМП НЧ на биологические объекты необходимо учитывать адекватность выбираемых тест-организмов поставленным

задачам и методологическим возможностям. Клетки микроорганизмов являются одной из самых удобных и полезных моделей не только в связи с относительной простотой их культивирования и поддержания в лабораторных условиях, но и в связи с их безусловной значимостью в медицинской практике. Непосредственно для усовершенствования мониторинговых и санитарно-эпидемиологических исследований необходимо учитывать особенности физиологического состояния микробных клеток.

Для оценки степени воздействия ЭМП НЧ нами использовался тест-организм *Tetrachimena pyriformis*. *Tetrachimena pyriformis* является весьма чувствительной к внешнему воздействию, поэтому данный тест-организм удобен для экологических опытов. Кроме того, *Tetrachimena pyriformis* является одноклеточным микроорганизмом с высокой подвижностью, поэтому нами также было исследовано влияния ЭМП НЧ на их активность.

Приведём методику проведения эксперимента. Нами была взята данная культура в питательной среде. Для оценки воздействия ЭМП внутри и снаружи камеры мы поместили раздавленную каплю под микроскоп (рис.20).

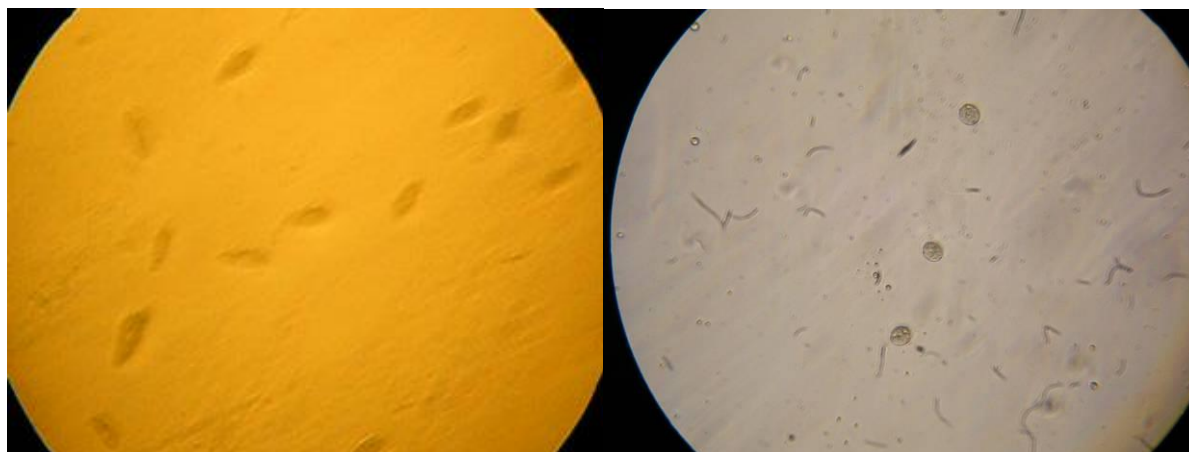


Рисунок 20 – Необработанные тест-организмы

Это наблюдение служило для контроля начального состояния микроорганизма. По рис.20 можно визуально отметить форму и количество тест-организмов.

Далее исследуемая культура была разделена на части. Одна часть не подвергалась обработке и служила для контроля состояния необработанной культуры. Другая часть была помещена внутрь экранированной камеры, содержащей генератор ЭМП НЧ, и в течении получаса подвергалась обработке ЭМП с частотой 37,0 Гц.

Далее снова было рассмотрено поведение тест-организма (рис.21). Контрольный образец сохранил подвижность и продолговатую форму, а обработанный имел различные изменения: сократилось количество бактерий находящихся в зоне видимости, резко уменьшилась их подвижность, кроме продолговатых тел появились неподвижные тела круглой формы (погибшие микроорганизмы).



а)

б)

Рисунок 21– Изменения тест-организмов *Tetrachimena pyriformis* после обработки ЭМП НЧ на частоте 37,0 Гц а) контрольный образец; б) обработанный образец

Для проведения количественного анализа мы замедлили движение микроорганизма. Для этого в питательную среду был введен 0,5 % Агар. Далее проведено аналогичное вышеописанному исследование. Контрольный образец сохранил свои характеристики, в то время как в обработанном ЭМП НЧ образце количество микроорганизмов в зоне видимости сократилось в 5 раз. Появились разрушенные клетки микроорганизмов (рис.22).

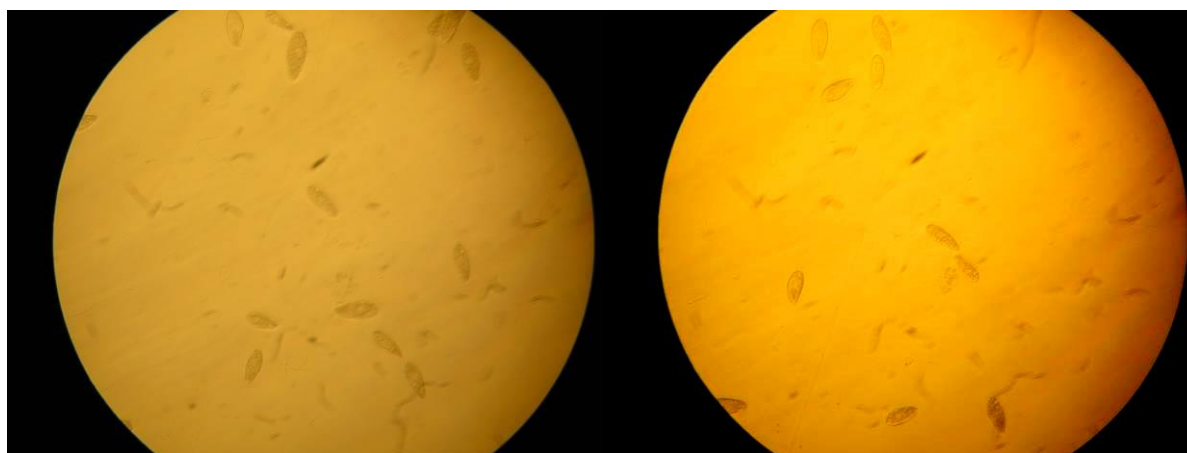


а)

б)

Рисунок 22– Изменения тест-организмов *Tetrachimena rugiformis* после обработки ЭМП НЧ на частоте 37,0 Гц а) контрольный образец; б) обработанный образец

Нами также был проведён опыт на частоте 17,5 Гц, показавший сохранение численности бактерий в зоне видимости, погибших бактерий не наблюдалось (рис.23), а подвижность возросла на 30% по сравнению с контролем.



а)

б)

Рисунок 23– Изменения тест-организмов *Tetrachimena rugiformis* после обработки ЭМП с частотой 17,5 Гц а) контрольный образец; б) обработанный образец

Таким образом, воздействие ЭМП НЧ способно как ускорить метаболизм бактерий, так и замедлить или даже убить их. Кроме того, герметичный корпус из ферромагнитного материала защищает окружающую среду от воздействия ЭМП НЧ, и следовательно, в данном случае нет необходимости применять дополнительные меры безопасности.

4.3 Экологическая безопасность применяемого ЭМП НЧ

Обработка сырья растительного и животного происхождения в производственных условиях налагает целый ряд ограничений на используемое оборудование, а именно: возможность работы в течение всего производственного цикла при отключении электроэнергии, а в связи с этим малое энергопотребление, экологическую безопасность и возможность обрабатывать различные объемы сырья в условиях отсутствия металлических экранов, компенсирующих воздействие МП на окружающую среду. Воздействие на открытом пространстве ЭМП НЧ диапазона в виду высокой проникающей способности поля может привести к нежелательным воздействиям на обслуживающий персонал и окружающую природную среду. Разрешить эту ситуацию возможно, используя АМ, ЧМ или ФМ ЭМП, которое будет обладать меньшей проникающей способностью по сравнению с ЭМП НЧ, так как проникновение вглубь биообъектов и затухание в пространстве будет определяться в данном случае несущей частотой модулированного ЭМП. При осуществлении модуляции электрические сигналы сообщения воздействуют на колебания несущей частоты, изменяя их амплитуду, частоту или начальную фазу. Несущую частоту и напряжённость поля можно подбирать таким образом, что за пределами и обрабатываемого пространства негативное воздействие на другие биообъекты будет сведено к минимуму или отсутствовать.

Поскольку МП НЧ распространяются практически без потерь через стены зданий (преградой является лишь замкнутая камера, выполненная из

магнитного материала), то использование АМ и ЧМ ЭМП, у которых в качестве несущих используются частоты выше 1 МГц, позволит сделать излучаемые АМ и ЧМ ЭМП узконаправленными. Это очень важно с экологической и технологической точек зрения, так как позволит в производственном процессе воздействовать узконаправленно на обрабатываемое сырьё, не затрагивая обслуживающий персонал.

Технически наиболее просто получить АМ колебания.

Рассмотрим воздействие на амплитуду несущих колебаний, т. е. амплитудную модуляцию (АМ). Приняв начальную фазу равной нулю, несущее колебание запишем в виде:

$$u(t) = U_m \cos \omega_0 t \quad (74)$$

При наличии сигнала сообщения $u_c(t)$, воздействующего на амплитуду несущих колебаний, представим последнюю в виде:

$$U_m = U_0 + \Delta U = U_0 + k u_c(t), \quad (75)$$

где $U_0 = \text{const}$, а $\Delta U = k u_c$ – приращение амплитуды, пропорциональное напряжению сигнала сообщения (k – постоянный коэффициент). Обычно сигнал сообщения $u_c(t)$ является сложной функцией времени, но для ознакомления с особенностями АМ колебаний рассмотрим простейший случай, когда сигнал является гармоническим:

$$u_c(t) = U_{m_c} \cos \Omega t \quad (76)$$

Начальная фаза сигнала сообщения в звуковом радиовещании интереса не представляет и для простоты она принята равной нулю. На основе (75), (76) амплитуда АМ сигнала может быть представлена в виде:

$$U_m = U_0 (1 + m \cos \Omega t), \quad (77)$$

где $m = \frac{k U_{m_c}}{U_0}$ – коэффициент модуляции. При осуществлении АМ коэффициент модуляции не должен превышать единицу ($m \leq 1$). Нарушение этого условия приводит к искажению передаваемого сообщения.

Используя (77), коэффициент модуляции можно выразить как

$$m = \frac{U_{m \max} - U_{m \min}}{U_{m \max} + U_{m \min}}$$

где $U_{m \max}$ и $U_{m \min}$ – наибольшее и наименьшее значения амплитуды модулированных колебаний. В соответствии с этим коэффициент модуляции часто называют глубиной модуляции.

Подставив (77) в (74), получим аналитическое выражение для АМ колебания:

$$u_{AM}(t) = U_0 (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t \quad (78)$$

В модулированном колебании (78) амплитуда не постоянна, а меняется во времени по закону изменения сигнала сообщения.

На рисунке 24 показаны в зависимости от времени графики напряжений, соответствующие сигналу сообщения $u_c(t)$, несущим колебаниям $u(t)$ и модулированным колебаниям $u_{AM}(t)$ при гармоническом сигнале сообщения.

Для определения спектрального состава АМ радиосигнала представим (78) в виде:

$$u_{AM}(t) = U_0 \cos \omega_0 t + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t \quad (79)$$

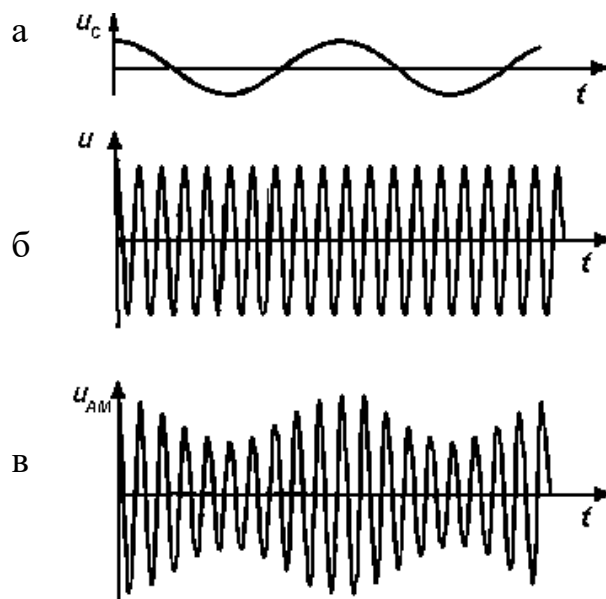


Рисунок 24 – Схема получения модулированного сигнала

а – модулирующие колебания (информационные); б – несущие колебания; в – модулированные колебания.

В соответствии с (79) спектр простейшего АМ колебания представляет собой сумму трех гармонических составляющих с частотами ω_0 , $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 + \Omega$ и амплитудами U_0 и $\frac{mU_0}{2}$. Информация о частоте и амплитуде сигнала сообщения заключена, как следует из (79), в смещении каждой боковой частоты относительно несущей и в соотношении между амплитудами колебаний на боковых и несущей частотах. Отметим, что амплитуды боковых частот равны между собой и пропорциональны коэффициенту модуляции m , т.е. в конечном итоге амплитуде сигнала сообщения. Смещение боковых частот относительно несущей равно частоте сигнала сообщения. На рисунке 25 приведена спектрограмма АМ колебания вида (78).

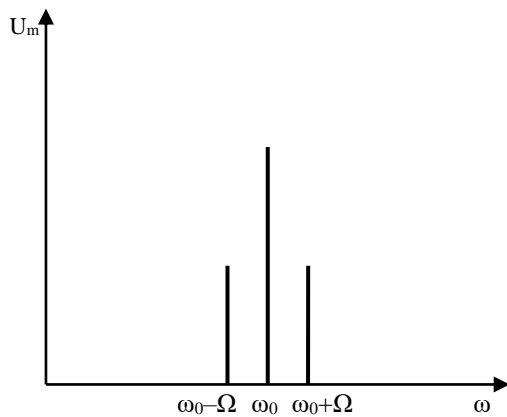


Рисунок 25 – Спектрограмма АМ сигнала

Выражение (79) представляет собой сумму трех некогерентных колебаний. Поэтому средняя мощность радиосигнала равна сумме средних мощностей этих колебаний:

$$P = P_{\omega_0} + P_{\omega_0 - \Omega} + P_{\omega_0 + \Omega}.$$

Так как мощность пропорциональна квадрату амплитуды колебаний, отношение мощности на каждой из боковых частот к мощности на несущей частоте равно $\frac{m^2}{4}$.

В случае сигнала сообщения, не являющегося гармоническим, а представляющего собой сложную периодическую функцию времени, его можно выразить в виде суммы гармонических составляющих:

$$u_c(t) = \sum_{i=1}^N U_{ci} \cos(\Omega_i t + \varphi_i).$$

Тогда вместо (78) получим:

$$u_{AM}(t) = U_0 \left[1 + \sum_{i=1}^N m_i \cos(\Omega_i t + \varphi_i) \right] \cos \omega_0 t,$$

а вместо (1.7) –

$$u_{AM}(t) = U_0 \cos \omega_0 t + \frac{U_0}{2} \left\{ \sum_{i=1}^N m_i \cos[(\omega_0 - \Omega_i)t + \varphi_i] + \sum_{i=1}^N m_i \cos[(\omega_0 + \Omega_i)t + \varphi_i] \right\} \quad (80)$$

На рис.26 приведен спектр АМ сигнала для случая, когда сигнал сообщения представляет собой сумму трех гармонических колебаний. Как видно из рис.26, спектр АМ сигнала содержит несущую частоту, три верхние и три нижние боковые частоты. В случае непериодического сигнала сообщения его спектр будет сплошным. При этом в спектре АМ сигнала вместо дискретных линий образуются верхняя и нижняя боковые полосы частот. Общая ширина спектра АМ сигнала равна удвоенной максимальной частоте сигнала сообщения: $\Delta\omega_{AM} = 2\Omega_{max}$

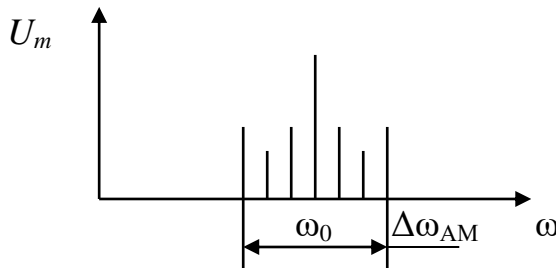


Рисунок 26 – Спектрограмма АМ сигнала для случая, когда сигнал сообщения представляет собой сумму трех гармонических колебаний

Во многих случаях электрические сигналы сообщения имеют вид последовательности импульсов. Модуляция высокочастотных колебаний этими сигналами называется импульсной. При импульсной модуляции радиосигнал имеет вид последовательности цугов колебаний радиочастоты (рис. 27), которые носят название радиоимпульсов. Такая последовательность характеризуется четырьмя параметрами: амплитудой импульса, его длительностью, частотой следования (или периодом повторения) и фазой. В соответствии с этим различают четыре вида импульсной модуляции: амплитудно-импульсную, широтно-импульсную, частотно-импульсную и фазо-импульсную. Примерами применения импульсной модуляции являются радиолокация и цифровые системы радиосвязи. Системы радиосвязи с импульсной модуляцией имеют более высокую помехозащищенность и ряд эксплуатационных преимуществ по сравнению с обычной непрерывной амплитудной модуляцией. Однако из-за большой ширины спектра импульсного сигнала полоса частот, отводимая каналу связи с импульсной модуляцией, во много раз больше, чем при амплитудной модуляции, что ограничивает выбор несущих частот при ее применении.

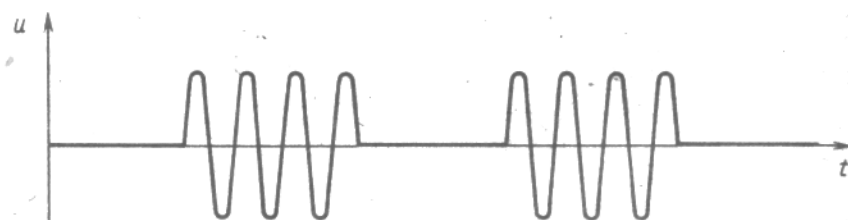


Рисунок 27 – Импульсная модуляция сигнала

При частотной модуляции (ЧМ) амплитуда несущих колебаний постоянна, а частота меняется пропорционально напряжению сигнала сообщения: Рассматривая для простоты гармонический сигнал сообщения, мгновенное значение угловой частоты ЧМ сигнала можно записать в виде:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega(t) = \omega_0 + kU_{mc} \cos \Omega t = \omega_0 + \Delta\omega_{\max} \cos \Omega t, \quad (81)$$

где ω_0 – частота несущих колебаний в отсутствие ЧМ, $\Delta\omega(t)$ – приращение частоты, зависящее от напряжения сигнала сообщения, k – коэффициент

пропорциональности, $\Delta\omega_{max} = \Delta\omega_{дев} = kU_{mc}$ — максимальное изменение (или девиация, от лат. *deviatio* — уклонение) частоты. Угловая частота является первой производной по времени от мгновенной фазы колебаний $\varphi(t)$. Следовательно, мгновенная фаза ЧМ сигнала может быть найдена следующим образом:

$$\varphi(t) = \int \omega(t) dt + \varphi_0 = \int (\omega_0 + \Delta\omega_{max} \cos \Omega t) dt + \varphi_0 \quad (82)$$

где φ_0 — постоянная интегрирования.

Выполнив интегрирование в (82), получим:

$$\varphi(t) = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega_{max}}{\Omega} \sin \Omega t + \varphi_0 \quad (83)$$

Выбирая начало отсчёта времени так, чтобы при $t = 0$ $\varphi(t) = 0$, получим $\varphi_0 = 0$.

Величину $m_\Omega = \frac{\Delta\omega_{max}}{\Omega} = \frac{kU_c}{\Omega}$ называют индексом частотной модуляции. Отметим, что его значение зависит не только от амплитуды, но и от частоты сигнала сообщения. На рис. 28 показаны зависимости частоты и мгновенной фазы колебаний ЧМ сигнала от времени.

Основываясь на (83), мгновенное значение напряжения ЧМ сигнала можно записать в виде:

$$u_{\times\tilde{E}}(t) = U_0 \cos \varphi(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + m_\Omega \sin \Omega t) \quad (84)$$

Преобразуем (1.12):

$$u_{\times\tilde{E}}(t) = U_0 \cos \omega_0 t \cos(m_\Omega \sin \Omega t) - U_0 \sin \omega_0 t \sin(m_\Omega \sin \Omega t) \quad (85)$$

Для нахождения спектра ЧМ радиосигнала надо в (85) множители $\cos(m_\Omega \sin \Omega t)$ и $\sin(m_\Omega \sin \Omega t)$ разложить в ряд Фурье. Коэффициентами ряда будут при этом функции Бесселя 1-го рода n -го порядка $J_n(m_\Omega)$, аргументом которых является индекс частотной модуляции:

$$\begin{aligned} \sin(m_\Omega \sin \Omega t) &= 2J_1(m_\Omega) \sin \Omega t + 2J_3(m_\Omega) \sin 3\Omega t + 2J_5(m_\Omega) \sin 5\Omega t + \dots, \\ \cos(m_\Omega \sin \Omega t) &= J_0(m_\Omega) + 2J_2(m_\Omega) \sin 2\Omega t + 2J_4(m_\Omega) \sin 4\Omega t + \dots \end{aligned} \quad (86)$$

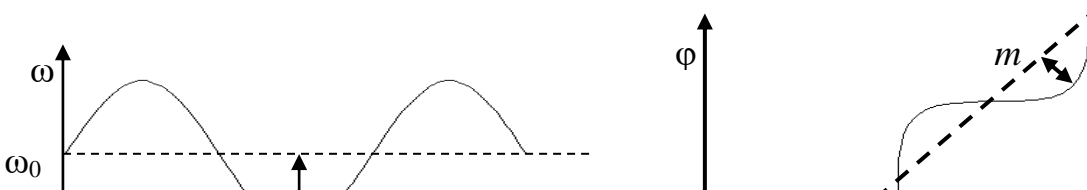


Рисунок 28 – Зависимости частоты ω и мгновенной фазы φ колебаний ЧМ сигнала от времени

Графики нескольких функций Бесселя 1-го рода приведены на рис.29. Подставив (86) в (85) и преобразовав члены с произведениями тригонометрических функций, получим, что спектр ЧМ сигнала при гармоническом сигнале сообщения содержит бесконечное число составляющих вида: ω_0 ; $\omega_0 \pm \Omega$; $\omega_0 \pm 2\Omega$ и т. д. Амплитуды гармонических составляющих спектра определяются – значениями функций Бесселя $J_n(m_\Omega)$. Важно отметить, что при больших значениях m_Ω амплитуды боковых частот могут превосходить амплитуду несущей, которая при некоторых значениях индекса модуляции обращается в нуль в соответствии с ходом функции $J_n(m_\Omega)$. Следовательно, в ЧМ сигнале существенно большая доля энергии сосредоточена в боковых частотах, т. е. частотная модуляция несущих колебаний энергетически более выгодна, чем амплитудная модуляция.

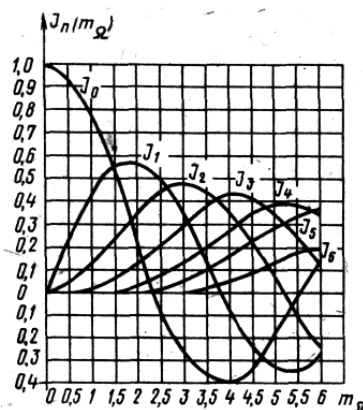


Рисунок 29 – Графики функций Бесселя 1-го рода

На рис. 30 приведены графики зависимости от времени напряжения ЧМ сигнала (временная характеристика) и его спектр при $m_\Omega = 5$. Спектр

ЧМ сигнала (рис. 30(б)) содержит несущую частоту ω_0 и боковые частоты $\omega_0 \pm \Omega$, $\omega_0 \pm 2\Omega$, $\omega_0 \pm 3\Omega$ и т. д.

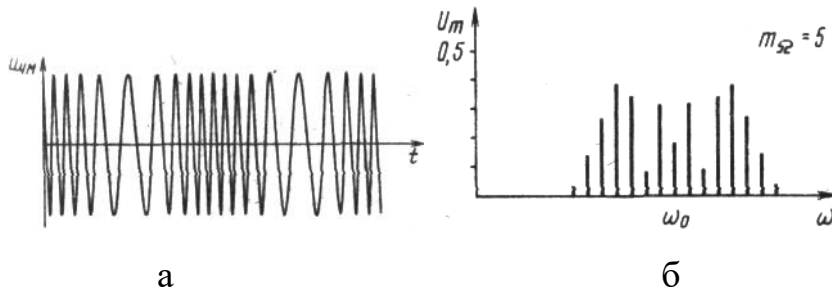


Рисунок 30 – а) Зависимости напряжения ЧМ сигнала от времени; спектр ЧМ сигнала при $m_\Omega = 5$

Рис.31 иллюстрирует изменение спектра ЧМ колебаний по мере увеличения индекса частотной модуляции.

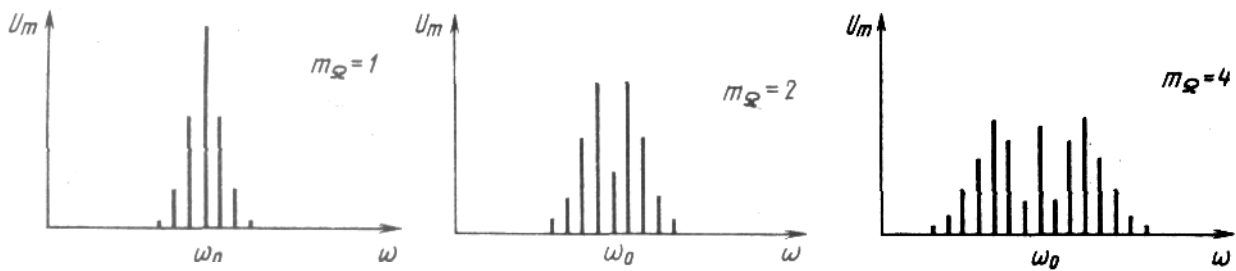


Рисунок 31– Спектра ЧМ колебаний в зависимости индекса частотной модуляции

При малом индексе модуляции $m_\Omega \ll 1$ спектр ЧМ сигнала такой же, как спектр АМ сигнала, т. е. состоит только из трех гармонических составляющих: ω_0 , $\omega_0 - \Omega$ и $\omega_0 + \Omega$. Амплитуды боковых составляющих при $m_\Omega \ll 1$ малы по сравнению с амплитудой несущей частоты. Практически при частотной модуляции $m_\Omega \gg 1$ с увеличением m_Ω спектр ЧМ сигнала расширяется. В то же время при каждом значении m_Ω участок спектра, занятый спектральными составляющими относительно большой амплитуды, ограничен. Принято считать, что спектр ЧМ сигнала достаточно точно воспроизводится несущей частотой и числом боковых частот, равным $2(m_\Omega + 1)$ занимающих область спектра:

$$\Delta\omega_{\times E} = 2(m_\Omega + 1)\Omega_{\max} = 2\Delta\omega_{\dot{a}i\dot{a}} \quad (87)$$

До сих пор мы рассматривали спектр ЧМ сигнала при гармоническом сигнале сообщения.

В случае реального сигнала сообщения спектр ЧМ сигнала является более сложным, так как каждой гармонической составляющей сигнала сообщения соответствует своя серия боковых спектральных составляющих ЧМ сигнала. Из (87) следует, что при $m_{\Omega} \gg 1$ для передачи с помощью ЧМ сигналов сообщения с наибольшей частотой Ω_{\max} требуется полоса частот $\Delta\omega_{\text{ЧМ}} \approx 2(m_{\Omega} + 1)\Omega_{\max} = 2\Delta\omega_{\text{АМ}}$, т.е. существенно бóльшая, чем при АМ, где эта полоса равна $2m_{\Omega}$. Это ограничивает возможность применения ЧМ областью достаточно высоких несущих частот, ибо при этом радиостанции проще отвести широкий интервал частот. Основным преимуществом ЧМ перед АМ является лучшая помехозащищенность канала радиосвязи, так как помехи в большей степени воздействуют на амплитуду колебаний, а информация о передаваемом сообщении содержится в изменении частоты ЧМ сигнала.

Фазовая модуляция (ФМ) во многом похожа на частотную. Как при ЧМ, так и при ФМ меняется мгновенная фаза радиосигнала $\varphi(t)$, поэтому ту и другую модуляции называют угловыми.

Форму огибающей частотно-модулированного колебания можно получить в соответствии со следующими рассуждениями.

При частотной модуляции частота изменяется согласно с законом изменения модулирующего сигнала в соответствии с формулой:

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \sin \Omega t, \quad (88)$$

где $\Delta\omega$ — максимальное значение отклонения частоты от её среднего значения (девиация частоты), Ω — частота модулирующего сигнала, ω_0 — угловая частота несущего колебания, t — время.

При частотной модуляции девиация частоты пропорциональна амплитуде модулирующего напряжения:

$$\Delta\omega = kU_{\Omega}, \quad (89)$$

где U_{Ω} — амплитуда модулирующего напряжения, k — коэффициент пропорциональности.

Само же частотно-модулированное колебание можно представить в виде:

$$U_{чм}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m_{чм} \sin \Omega t), \quad (90)$$

где $U_{чм}(t)$ — амплитуда частотно-модулированного колебания, U_m — амплитуда несущего колебания, $m_{чм}$ — индекс частотной модуляции, показывающий максимальное отклонение фазы колебания при частотной модуляции ($m_{чм} = \Delta\omega/\Omega$). Индекс частотной модуляции при использовании модулирующей частоты НЧ диапазона в проводимых экспериментах лежал в пределах от 37600 до 5.

Относительное изменение частоты или глубина частотной модуляции определяется как отношение девиации частоты к несущей частоте ($m_{отн} = \Delta\omega/\omega_0$).

Для вычисления напряжённости поля (или величины магнитной индукции), создаваемого излучателем, использовали значение напряжения, полученное по формуле (90).

Измерение девиации частоты $\Delta\omega$ производили с помощью амплитудного детектора. Схема установки изображена на рис.32.

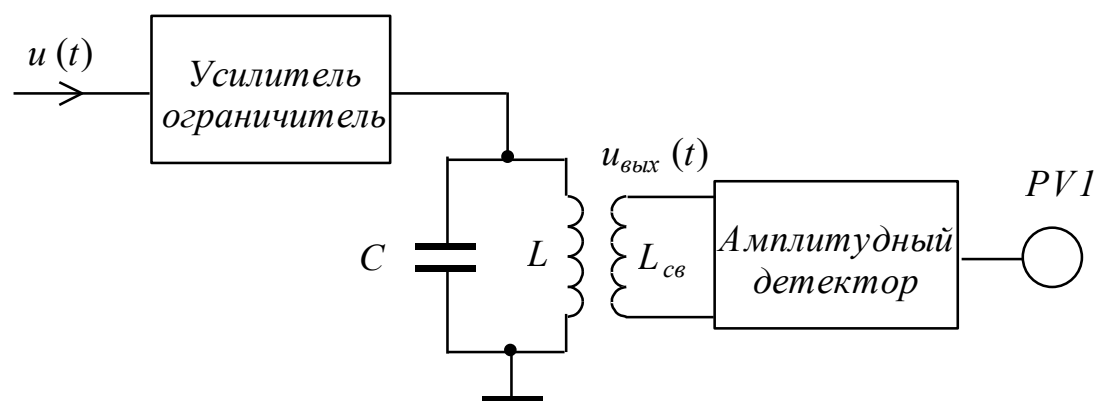


Рисунок 32 – Блок-схема устройства, применяемого для оценки изменения девиации частоты ЧМ сигнала

Усилитель-ограничитель устранял влияние паразитной амплитудной модуляции. Частотно-модулированный сигнал поступал на контур LC , настроенный на частоту $\omega_{рез}$. Вследствие изменения частоты входного сигнала напряжение выходного сигнала изменялось. Это переменное напряжение подавалось на амплитудный детектор с закрытым входом. Таким образом, амплитуда переменной составляющей U_m определяла значение девиации $\Delta\omega$ в исследуемом частотно-модулированном колебании.

Так как затухание поля в пространстве и проникновение в глубь биообъектов будет определяться в этом случае несущей частотой модулированного ЭМП. Несущую частоту и напряжённость поля можно подбирать таким образом, что за пределами обрабатываемого растительного сырья негативное воздействие на другие биообъекты будет сведено к минимуму или отсутствовать. Для этого нами была разработана установка, блок-схема которой представлена на рис.33.

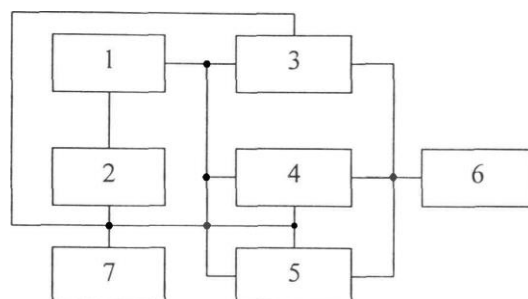


Рисунок 33 – Блок-схема генератора модулированного ЭМП

1 – генератор несущей частоты, 2 – генератор прямоугольных импульсов, 3 – амплитудный модулятор, 4 – частотный модулятор, 5 – фазовый модулятор, 6 – усилитель, 7 – генератор ЭМП НЧ

В настоящее время экстракционные аппараты часто выполняются из композиционных материалов, которые не обладают ферромагнитными свойствами, поэтому не экранируют ЭМП НЧ в достаточной мере. В связи с этим будет необходимо создание вокруг экстрактора громоздкого экранирующего устройства, что существенно увеличит цену оборудования и усложнит его эксплуатацию. В случае использования ЭМП высоких частот

необходимо, чтобы экранирующее устройство обладало способностью ослаблять, прежде всего, не магнитную, а электрическую составляющую ЭМП. Таким образом экранировать высокочастотное или модулированное ЭМП значительно проще, чем ЭМП НЧ, т.к. это требует использование электрических, а не магнитных экранов. Т.е. экран может быть выполнен в виде электропроводящей фольги, сетки и т.д. Магнитные же экраны, как правило, выполняют из стали толщиной как минимум 2 мм, поэтому они громоздки и дороги.

В связи с этим существует возможность перенесения информации НЧ колебаний на высокочастотные с помощью различных видов модуляции. Как показали ранее проведённые исследования, для воздействия на биологические объекты наиболее удобно использовать амплитудно-модулированные колебания.

С помощью этой установки (рис.33) были проведены испытания воздействия на сырьё. Излучатель помещался в экстрактор и получены результаты аналогичные использованию немодулированного ЭМП НЧ (рис.34).

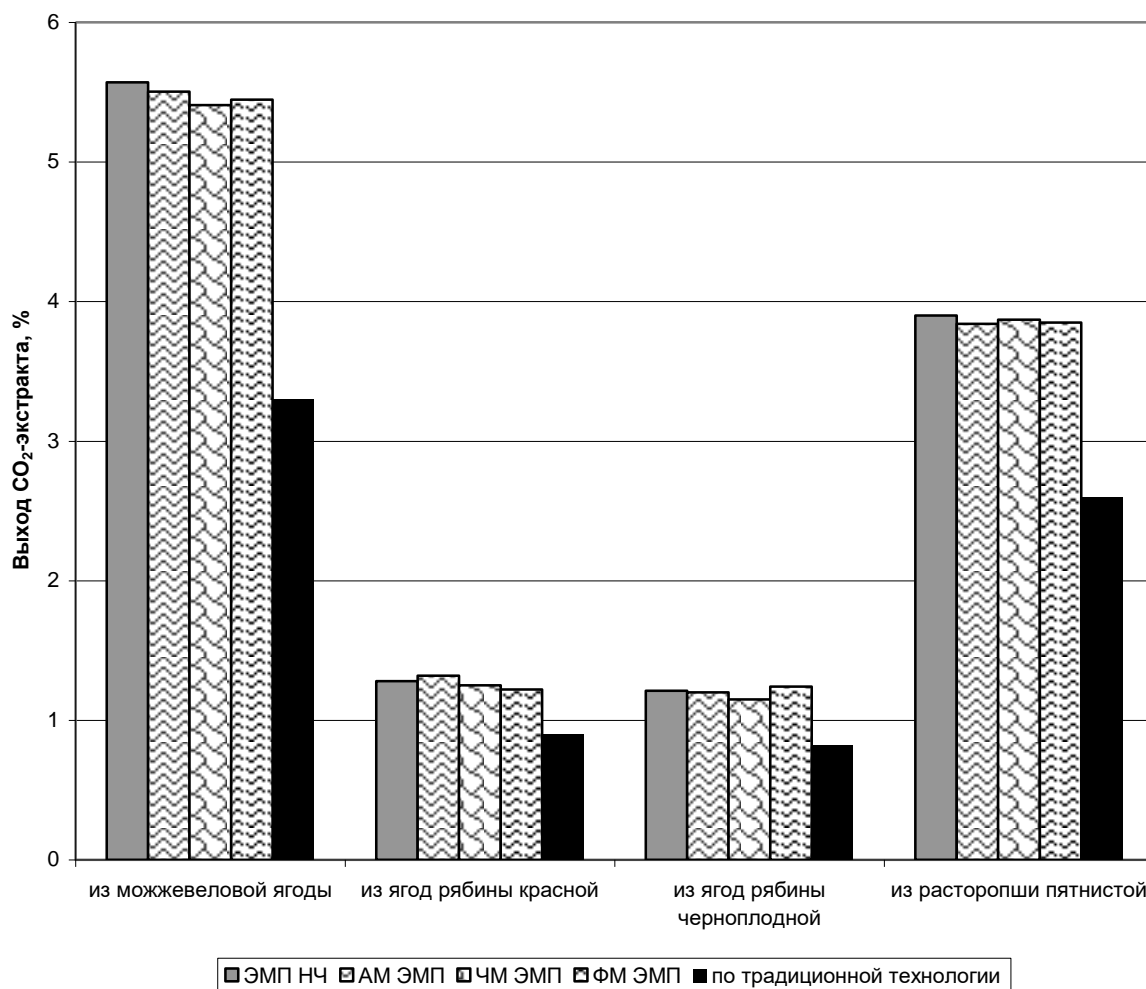


Рисунок 34 – Выход CO_2 -экстракта при использовании ЭМП НЧ и различных видов модуляции в сравнении с выходом по традиционной технологии

АМ ЭМП – амплитудно-модулированное ЭМП; ЧМ ЭМП – частотно-модулированное ЭМП; ФМ ЭМП – фазово-модулированное ЭМП

Биологические объекты помещались в металлическую камеру размерами 50 см × 45 см × 55 см, в которой располагался полуволновой вибратор на расстоянии 30 см от емкости с исследуемыми объектами. Частота несущей изменялась в диапазоне от 400 до 1200 МГц.

При осуществлении амплитудной модуляции колебания с выхода генератора несущей частоты поступают на вход амплитудного модулятора,

где осуществляется амплитудная модуляция, а затем колебания с выхода амплитудного модулятора поступают на вход усилителя.

При осуществлении частотной модуляции колебания с выхода генератора несущей частоты поступают на вход частотного модулятора, где осуществляется частотная модуляция, а затем колебания с выхода частотного модулятора поступают на вход усилителя.

При осуществлении фазовой модуляции колебания с выхода генератора несущей частоты поступают на вход фазового модулятора, где осуществляется фазовая модуляция, а затем колебания с выхода фазового модулятора поступают на вход усилителя.

При осуществлении амплитудно-импульсной модуляции генератор несущей частоты питается от генератора прямоугольных импульсов, а с выхода генератора несущей частоты пачки импульсов поступают на вход амплитудного модулятора, с выхода которого сигнал поступает на усилитель.

При осуществлении частотно-импульсной модуляции генератор несущей частоты питается от генератора прямоугольных импульсов. С выхода генератора несущей частоты пачки импульсов поступают на вход частотного модулятора, с выхода которого сигнал поступает на усилитель.

При осуществлении фазово-импульсной модуляции генератор несущей частоты питается от генератора прямоугольных импульсов. С выхода генератора несущей частоты пачки импульсов поступают на вход фазового модулятора, с выхода которого сигнал поступает на усилитель.

Генераторы сигналов несущей частоты работают в диапазоне частот от 100 кГц до 80 МГц. Принципиальная схема генератора сигналов приведена на рис.35.

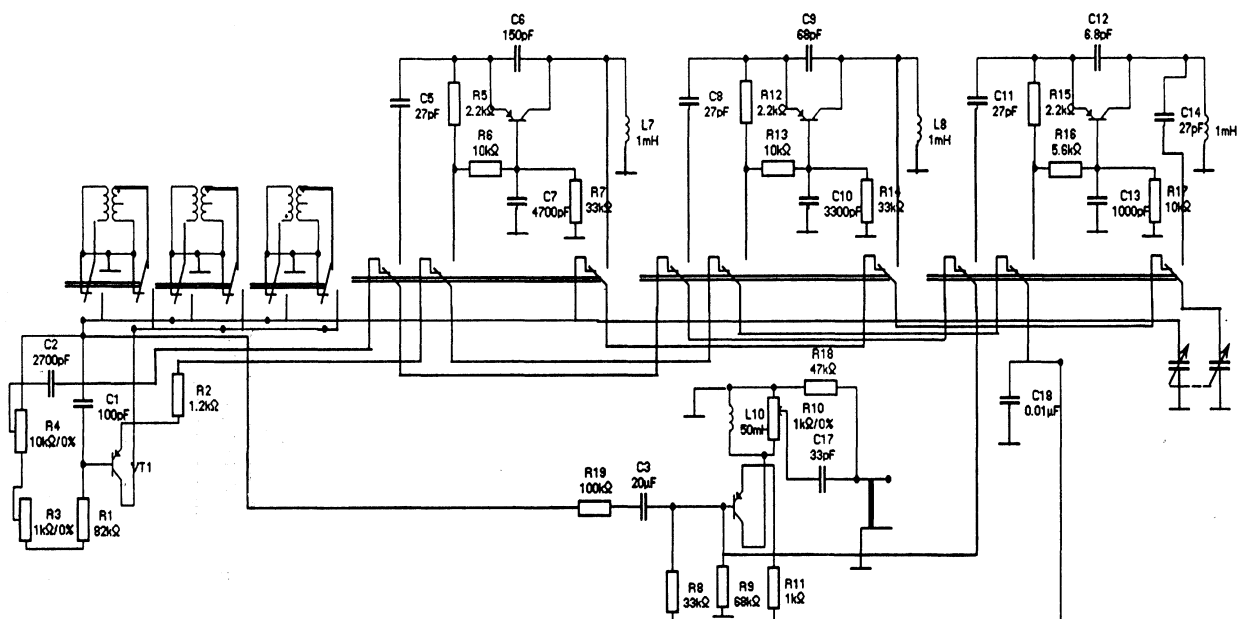


Рисунок 35 – Генератор сигналов несущей частоты и амплитудный модулятор

На трёх первых поддиапазонах (100-280 кГц, 270-750 кГц, 740-2100 кГц) используется один задающий генератор на транзисторе VT1 с индуктивной, положительной обратной связью и переключаемыми контурами. На остальных поддиапазонах (3-7,5 МГц, 7-22 МГц, 62-80 МГц) использованы отдельные задающие генераторы на транзисторах VT4, VT5 и VT6 соответственно. Для модуляции высокочастотных колебаний в генераторе предусмотрен встроенный модулятор на транзисторе VT3. Глубина амплитудной модуляции регулируется резистором R11 в пределах 10-100 %. Выходное напряжение генератора на первых трёх поддиапазонах не менее 400-500 мВ, на остальных – не менее 20-30 мВ. Для контурных катушек первых трёх поддиапазонов использованы каркасы с внешним диаметром 5 мм. Они снабжены ферритовыми подстроечниками. Катушки двух коротко волновых диапазонов L7, L8 намотаны на каркасах диаметром 7,5 мм от фильтров промежуточной частоты телевизионных приёмников. Контурная катушка ультракоротковолнового диапазона – бескаркасная. Дроссель L10 содержит 80-100 витков провода диаметром 0,1 мм,

намотанных на корпус резистора диаметром 3 мм. Его индуктивность около 50 мкГ.

Для создания амплитудно-импульсной, частотно-импульсной и фазово-импульсной модуляции использовался прибор функциональной электроники БИСПИН.

Частота генератора релаксационных колебаний регулировалась током в цепи р-п-перехода и цепочкой элементов VD1, R1, R2, R3. Внешний сигнал, подаваемый при осуществлении частотно-импульсной модуляции, поступал в цепь. Нагрузкой активного контакта служат резисторы. С выхода движка колебания поступают на базу и далее с коллектора поступают на другую базу.

При обработке ЭМП с несущей частотой от 0,1 МГц до 80 МГц исследуемые образцы находились внутри катушки, которая размещалась внутри экспериментальной камеры.

При обработке на f_n более 1 МГц исследуемые образцы помещались внутри экспериментальной камеры, в которой находился излучатель, выполненный в виде симметричного вибратора кратного длине волны.

Амплитудный модулятор собран на базе транзистора VT3 генератора несущей частоты.

С выхода генератора несущей частоты синусоидальные колебания поступают на вход фазового модулятора (рис.36) с фазовой модуляцией f и поступают через C1 на базу транзистора VT1. С коллектора VT1 колебания поступают на контур C2L1 и варикап VD1. Модулирующее напряжение поступает с входа 2 на варикап включенный последовательно с RC цепочкой. При изменении модулирующего напряжения изменяется ёмкость варикапа и соответственно контура C2L1. Изменяется резонансная частота усилителя и осуществляется фазовая модуляция, затем фазово-модулированные колебания поступают на вход ограничителя амплитуды собранного на транзисторе VT2 и колебательном контуре, состоящем из

включенных навстречу друг другу диодов VD2 и VD3, а также индуктивно связанных катушек L1 и L2. Питание устройства осуществляется от источника питания 8 В. С выхода ограничителя амплитуды колебания поступает на вход усилителя.

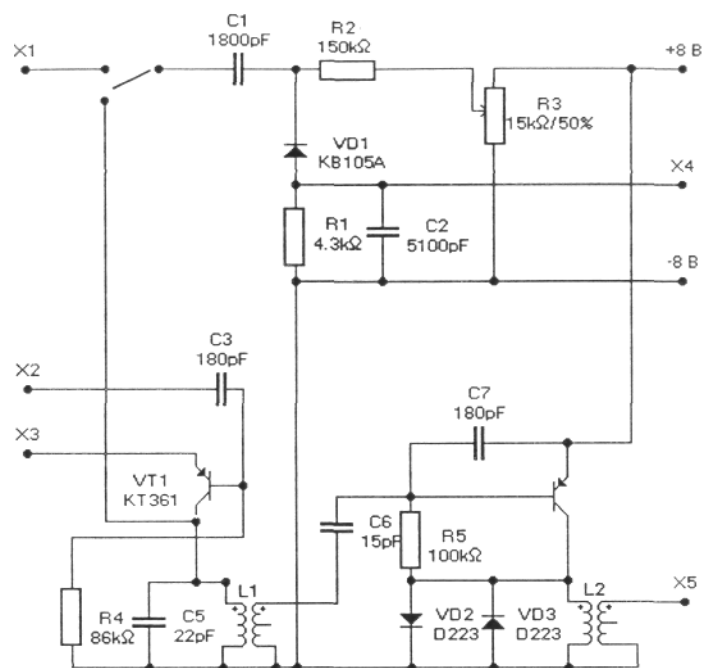


Рисунок 36 – Фазовый модулятор

Генератор сигналов НЧ позволяет вырабатывать сигналы с частотой от 1 Гц до 300 Гц.

Для генерирования импульсов прямоугольной и треугольной формы (рис.37) используется замкнутая релаксационная система, состоящая из интегратора и компаратора. Напряжение синусоидальной формы получается преобразованием треугольных импульсов.

На инверторах D1.1, D1.2 выполнен компаратор, на инверторе D1.3 и конденсаторах C2 - C5 собран интегратор, а на инверторе D1.5 собран преобразователь напряжения треугольной формы в синусоидальную. На инверторе D1.4 выполнен усилитель напряжения треугольной формы, а на инверторе D1.6 – узел для контроля частоты колебаний.

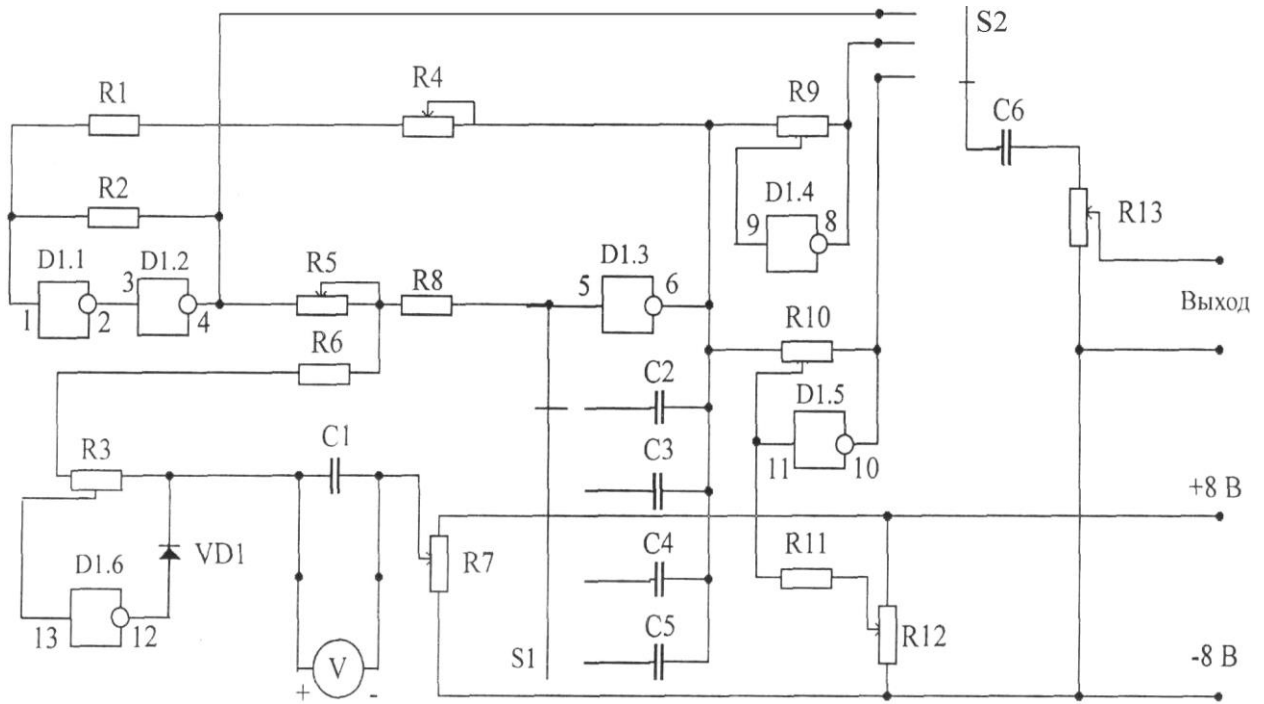


Рисунок 37 – Генератор сигналов модулирующей частоты

Так как напряжение на входе D1.3 выше этого напряжения, конденсатор C2 начнёт разряжаться через резисторы R5, R8 и выходное сопротивление D1.2. Напряжение на выходе интегратора при этом будет линейно возрастать. Когда оно достигнет верхнего порогового значения, компаратор возвратится в состояние с высоким уровнем выходного напряжения и напряжение на выходе интегратора вновь начнёт линейно спадать. Изменяя сопротивление R5 или ёмкость C2-C5, можно изменять скорость заряда ёмкости, а, следовательно, и частоту колебаний генератора.

Преобразователь колебаний треугольной формы в синусоидальную представляет собой усилитель-ограничитель на инверторе D1.5, усилитель работает как линейный инвертирующий усилитель. Когда начинается насыщение транзисторов, верхушки треугольных импульсов скругляются, и напряжение на выходе усилителя становится близким к синусоидальным. Изменяя резистором R10 коэффициент усиления усилителя можно добиться наиболее точного соответствия формы выходного сигнала синусоидаль-

ной формы. Резистором R12 добиваются симметричного ограничения выходного сигнала.

На элементе D1.6 выполнен узел контроля частоты колебаний генератора. Частота колебаний прямо пропорциональна входному току интегратора, задаваемого резисторами R5, R6. Поэтому падение напряжения на резисторе R6 пропорционально этому току. Поскольку инвертор D1.3 охвачен параллельной, отрицательной обратной связью по напряжению, переменное напряжение на его входе близко к нулю. Поэтому переменное напряжение в точке соединения резисторов R5, R6 пропорционально частоте колебаний. На элементе D1.6 выполнен пиковый вольтметр, измеряющий это напряжение. Таким образом, показания вольтметра пропорциональны частоте колебаний. Резистором R7 производится установка нуля вольтметра.

Установка позволяет генерировать амплитудно-, частотно- и фазово-модулированные сигналы, у которых частота несущей лежит в диапазоне от 100 кГц до 80 МГц. Нестабильность несущей частоты представлена в табл.11.

Таблица 11 – Нестабильность несущей частоты

Диапазон несущей частоты	Нестабильность, %
100 – 280 кГц	$2 \cdot 10^{-2}$
270 – 750 кГц	$1 \cdot 10^{-2}$
740 – 2100 кГц	$5 \cdot 10^{-3}$
3 – 7,5 МГц	$4 \cdot 10^{-3}$
7 – 22 МГц	$1 \cdot 10^{-4}$
62 – 80 МГц	$9 \cdot 10^{-5}$

Нестабильность модулирующей частоты представлена в табл.12.

Таблица 12 – Нестабильность модулирующей частоты

Диапазон модулирующей частоты	Нестабильность, %
2 – 50 Гц	0,2
50 – 100 Гц	0,1
100 – 300 Гц	0,08

Частота следования импульсов при частотно-импульсной модуляции составляла от 10 до 100 кГц при нестабильности частоты 1 %.

При амплитудной манипуляции прямоугольными импульсами их длительность составляла 5-100 мс и длительность паузы между импульсами от 5 до 100 мс.

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики представлена в табл.13.

Таблица 13 – Неравномерность амплитудно-частотной характеристики

Диапазон несущей частоты	Неравномерность, дБ
100 – 280 кГц	0,5
270 – 750 кГц	1,0
740 – 2100 кГц	1,5
3 – 7,5 МГц	2,0
7 – 22 МГц	1,8
62 – 80 МГц	1,0

Диапазон изменения напряжения поступающего на излучатель лежал в пределах от 0,1 В до 5,5 В. Величина паразитной амплитудной модуляции амплитудно- и фазово-модулированного сигнала поступающего на излучатель не превышала 1 %.

Максимальная мощность, отдаваемая усилителем в нагрузку, составляла 0,4 Вт. Максимальная потребляемая мощность установки составляет 2 Вт. В качестве резервного источника питания использовались 6 элементов 373.

Так как сопротивление соленоида возрастает с частотой подаваемых на них электрических сигналов, то из-за роста индуктивного сопротивления соленоида использование катушек индуктивности в качестве излучателей на частотах выше 0,5 МГц становится нецелесообразным ввиду большого затухания в них сигнала и необходимо использовать дипольные излучатели. Таким образом, в случае использования амплитудно- и частот-

но-модулированных ЭМП, частоты несущих которых лежат в коротковолновой области и выше, необходимо использовать излучатели в виде антенн, которые в зависимости от конструкции обладают различной диаграммой направленности излучения.

Нами использовалась антенна являющаяся четырёхволновым диполем. В зависимости от выбора частоты несущей, длина антенны изменялась так, чтобы выполнялось условие длина антенны равна четверти длины волны излучения.

Использование высокочастотных амплитудно- и частотно- модулированного ЭМП позволит сделать излучаемые амплитудно- и частотно-модулированное ЭМП узко направленным, что очень важно с экологической и технологической точек зрения, так как позволит стимулировать или ингибировать только отдельные участки технологических циклов.

4.4 Расчёт экономической эффективности

Расчёт экономической эффективности предприятия по производству CO₂-экстрактов представлен в табл.14.

Таблица 14 – Расчёт экономической эффективности предприятия по производству CO₂-экстрактов

Показатели	Можжевельная ягода	Рябина красная	Рябина черноплодная	Семена расторопши
Выход CO ₂ -экстрактов по традиционной технологии, %	3,3	0,9	0,8	2,6
Выход CO ₂ -экстрактов по усовершенствованной технологии, %	5,6	1,3	1,2	3,9
Сокращение времени экстракции по сравнению с традиционной технологией, %	20	30	20	25
Цена готовой продукции, тыс.руб./т	7200	4500	6100	6600
Оплата труда дополнительного персонала,	300	300	300	300

руб/т ¹				
Чистая прибыль, тыс.руб/т	3300	1600	2300	2500

Таким образом, прибыль предприятия образуется благодаря увеличению выхода СО₂-экстракта и уменьшению времени проведения СО₂-экстрагирования. Из табл.14 следует, что чистая прибыль от освоения новой технологии в условиях цеха экстракции ООО «Компания Караван» позволяет получить среднюю прибыль 2,4 млн.руб. на 1 т экстракта.

Выводы

1 Впервые в экстракционной технологии для интенсификации извлечения жидким диоксидом углерода ценных компонентов из растительного сырья применено электромагнитное поле низких частот в диапазоне от 1 до 100 Гц. Установлено, что при частоте 59,0 Гц достигается наибольший выход СО₂-экстракта из можжевельной ягоды, при 40,1 Гц – из ягод рябины красной, при 21,2 Гц – из ягод рябины черноплодной, при 33,5 Гц – из семян расторопши.

2 Научно обоснован механизм влияния электромагнитного поля низких частот на клетки растительного сырья, основанный на увеличении диффузионной проницаемости клеток под действием принудительной миграции ионов Ca²⁺, Na⁺, и K⁺.

3 Теоретически и экспериментально определена оптимальная продолжительность воздействия электромагнитного поля низких частот на сырьё – 25-35 мин., позволяющая увеличить коэффициент диффузии биологически активных веществ из капиллярно пористой структуры растительной клетки.

4 Определены оптимальные параметры СО₂-экстрагирования веществ из растительного сырья при воздействии на сырьё электромагнитного поля низких частот в диапазоне от 20 до 60 Гц: для можжевельной ягоды, рябины красной и черноплодной при 18°С, 5,4 МПа в течение 2,9 ч, для семян расторопши при 22°С, давлении 6 МПа в течение 3,1 ч – позволяющие уменьшить продолжительность извлечения экстрактивных веществ из сырья на 20%.

5 Усовершенствована СО₂-экстракционная установка: включен генератор электромагнитного поля низких частот (1 – 100 Гц) и амплитудно-модулированного электромагнитного поля с несущей частотой 26,7 МГц, диапазоном модулирующих частот 1 Гц – 100 Гц, глубиной модуляции изменяющейся в пределах от 30% до 70%. На усовершенствованную установку получен патент РФ на полезную модель.

6 Усовершенствована технология производства СО₂-экстрактов из ма-

¹ При мощности предприятия 150 т/год

лоизученных видов растительного сырья с повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, антиоксидантов и флавоноидов, обладающих Р-витаминной активностью: плодов можжевельника обыкновенного, рябины красной и черноплодной и семян расторопши пятнистой путём воздействия на растительное сырьё электромагнитным полем низких частот.

7 Проведена сравнительная оценка физико-химических и микробиологических свойств СО₂-экстрактов, полученных под воздействием электромагнитного поля низких частот (1-100 Гц) и по традиционной технологии показывающая улучшение качественного состава экстрактов полученных по усовершенствованной технологии за счет более полного извлечения полиненасыщенных жирных кислот.

8 Получены новые данные по пищевой безопасности СО₂-экстрактов, получаемых по усовершенствованной технологии, свидетельствующие об отсутствии или чрезвычайно малом содержании потенциально опасных компонентов растительного сырья.

9 Проведён анализ безопасности для обслуживающего персонала при работе на усовершенствованной СО₂-экстракционной установке, подтвержденный санитарно-гигиенической оценкой с использованием тест-микроорганизмов *Escherichia coli* и *Tetrachimena pyriformis*.

10 Получена новая информация о возможности использования различных видов модуляции электромагнитного поля для повышения экологической безопасности применения электромагнитного поля в усовершенствованной технологии.

11 Разработана техническая документация на СО₂-экстракты, полученные по новой технологии, ТУ 9169-171-04801346-04, апробированная в производственных условиях цеха экстракции ООО «Компания Караван».

12 На основе полученных СО₂-экстрактов созданы новые продукты геродиетического питания и получены 2 положительных решения Роспатента о выдаче патентов РФ на изобретения.

13 Освоение новой технологии в условиях цеха экстракции ООО «Компания Караван» позволяет получить прибыль 2,4 млн.руб. на 1 т экстракта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Adair, R.K.** Constraints on biological effects of weak extremely low-frequency electromagnetic fields [Text] / R.K.Adair // *Phys. Rev. A.*– 1991. Vol. 43.– P. 1039-1040.
- 2 **Ashraf-Khorassan, M.** Analysis of Fat of Food Matrices Using Supercritical Fluid Extraction [Text] / M.Ashraf-Khorassan, R.Hellmer, L.Taylor.– Pittsburgh Conf. Anal. Chem. and Appl. Spectrosc.– Orlando, Fla, March 7-12, 1999: PITTCON'99: Book Abstr.– [Orlando (Fla)].– P. 596.
- 3 **Audus, L.J.** Magnetotropism: a new plant-growth response [Text] / L.J.Audus // *Nature.*– 1960.v.185,N 4707.– P. 131.
- 4 **Berman, E.** Development of chicken embryos in a pulsed magnetic field [Text] /E.Berman, L.Chacon, D.House et al.// *Bioelectromagnetics.*– 1990. Vol. 11, № 2.– P. 169-187.
- 5 **Bezrukov, S.M.** Stochastic resonance in non-dynamical systems without response thresholds [Text] / S.M.Bezrukov, I.Vodyanoy // *Nature.*– 1997. Vol. 385.– P. 319-321.
- 6 **Blackman, C.F.** The influence of 1.2 mT, 60 Hz magnetic fields on melatonin- and tamoxifen-induced inhibition of MCF-7 cell growth [Text] / C.F.Blackman, S.G.Benane, D.E.House // *Bioelectromagnetics.*– 2001. Vol. 22, № 2.– P. 122-128.
- 7 **Chanamai, R.** Ultrasonic Attenuation of Edible Oils [Text] / R.Chanamai, D.Julian McClements.– *H J.Amer. Oil Chem. Soc.*– 1998.– № 10.– P. 1447 - 1448.
- 8 **Cocero, M.** Supercritical fluid extraction of sunflower seed oil with CO₂-ethanol mixtures [Text] / M.Cocero, L.Calvo // *J. Amer. Oil Chem. Soc.*– 1996.– №11.– P. 1573 - 1578.
- 9 **Cook, L.L.** Suppression of experimental allergic encephalomyelitis is specific to the frequency and intensity of nocturnally applied, intermittent magnetic fields in rats [Text] /L.L.Cook, M.A.Persinger // *Neurosci. Lett.*– 2000. 13/292, N 3.– P. 171-174.
- 10 **Cuperus, F.** Supercritical carbon dioxide extraction of *Dimorphotheca pluvialis* oil seeds [Text] / F.Cuperus, G.Boswinkel // *J. Amer. Oil Chem. Soc.*– 1996.– №12.– P.1675-1679.
- 11 **Gadow, A.** Effect of extraction time and additional heating on the antioxidant activity of rooibos tea extracts [Text] / A.Gadow, E.Joubert // *J. Agr.and Food Chem.*– 1997.– №4.– P.1370 - 1374.
- 12 **Harland, J.D.** Evidence for a slow time-scale of interaction for magnetic fields inhibiting tamoxifen's antiproliferative action in human breast cancer cells [Text] / J.Harland, S.Eugstrom, R.Liburdy // *Cell Biochem. Biophys.*– 1999. Vol. 31, N 3.– P. 295-306.
- 13 **Harland, J.D.** Environmental magnetic fields inhibit the antiproliferation action of tamoxifen and melatonin in a human breast cancer cell line [Text] / J.D.Harland, R.P.Liburdy // *Bioelectromagnetics.*– 1997. Vol. 18, N 8.– P. 555-562.
- 14 **Illes, V.** Csipkebogyo extrakcioja szen-dioxid, propan-szen-dioxid es propan oldozerekkel [Text] / V.Illes, O.Szalai, M.Then // *Olaj, szapp., kozmet.*– 1995.– №3.– P. 94-100.
- 15 **Ishido, M.** Magnetic fields (MF) of 50 Hz at 1.2 μ T as well as 100 μ T cause uncoupling of inhibitory pathways of adenylyl cyclase mediated by melatonin 1a receptor in MF-sensitive MCF-7 cells [Text] / M.Ishido, M.Kabuto // *Carcinogenesis.*– 2001. Vol. 22, N 7.– P. 1043-1048.
- 16 **Juutilainen, J.** Relationship between field strength and abnormal development in chick embryos exposed to 50 Hz magnetic fields [Text] / J.Juutilainen, E.Laara, K.Saali // *Int. J. Radiat. Biol. Relat. Stud. Phys. Chem. Med.*– 1987. Vol. 52, N 5.– P. 787-793.

17 **Karplus, R.** Frequency modulation in microwave spectroscopy [Text] / R.Karplus // Phys. Rev.– 1948. Vol. 73, N 9.– P. 1027-1034.

18 **Kruglikov, I.L.** Stochastic resonance as a possible mechanism of amplification of weak electric signals in living cells [Text] / I.L.Kruglikov, H.Dertinger // Bioelectromagnetics.– 1994. Vol. 15.– P. 539-547.

19 **Lednev, V.V.** Effects of weak combined magnetic fields on actin-activated ATP-ase activity of skeletal myosin [Text] / V.V.Lednev, S.L.Malyshev // Abstract Collection Bioelectromagnetics Society Annual Meeting.– St Paul, Minnesota, USA.– 2001.– P. 3-4.

20 **Liburdy, R.P.** EMF magnetic fields, breast cancer, and melatonin: 60 Hz fields block melatonin's oncostatic action on ER+ breast cancer cell proliferation [Text] / R.P.Liburdy, T.R.Sloma, R.Sokolic, P.Yaswen // J. Pineal. Res.– 1993. Vol. 14.– P. 89-97.

21 **Luben, R.A.** Replication of 12 mG EMF effects on melatonin responses of MCF-7 breast cancer cells in vitro [Text] / R.A.Luben, S.Saraiya, A.P.Morgan // Abstract A-1. Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery & Use of Electricity. San Antonio, TX.– 1996, Nov.– P. 19-21.

22 **Martin, A.H.** Development of chicken embryos following exposure to 60-Hz magnetic fields with different waveforms [Text] / A.H.Martin // Bioelectromagnetics.– 1992. Vol. 13, N 3.– P. 223-230.

23 **Mehr, C.** Supercritical carbon dioxide extraction of caffeine from Guarana [Text] / C.Mehr, R.Biswal, J.Collins // J.Supercrit. Fluids.– 1996.– №3.– P. 185 - 191.

24 **Min, K.** Particai Transport and Heat Transfer in Gas - Solid Suspension Flow under the Influence of an Electric Field. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in mechanical engineering [Text] / K.Min.– Urbana, 1991.– 172 p.

25 **Peredi, V.** Ertekes Anyagok Knyerese napraforgobol szendioxid, propan es alkohol keverek oldoscerekkel [Text] / V.Peredi, V.Illes, I.Elias // Olaj, szapp., kozmet.– 1996.– 45.– P. 26-32.

26 **Persinger, M.A.** Suppression of experimental allergic encephalomyelitis in rats exposed nocturnally to magnetic fields [Text] / M.A.Persinger, L.L.Cook, S.A.Koren // Int. J. Neurosci.– 1999. Vol. 100, N 1/4.– P. 107-116.

27 **Pittman, U.J.** Growth reaction and magnetism in roots of Winter wheat [Text] / U.J.Pittman // Canad.J.Plant Sci.– 1962, v. 42, № 3.– P. 430.

28 Radiofrequency Radiation Standards. Biological Effects, Dosimetry, Epidemiology and Public Health Policy/ Edited by B.J.Klaunberg, M. Grandolfo and D.N.Erwin [Text] // Series A: Life Sci.– New York: Plenum Press, 1995.– Vol.274.– 455 p.

29 **Roy, B.** Extraction of dinger oil with supercritical carbon dioxide: experiments and modeling [Text] / B.Roy, M.Goto, T.Hirose // Ind. and Eng. Chem. Res.– 1996.– №2.– P.607 - 612.

30 **Schenk, M.** Extraction und Aromen [Text] / M.Schenk.– Ernahrungsindustrie.– 1997.– № 11.– P. 78-82.

31 **Shahidi, F.** Extraction and Analysis of Lipids [Text]/ F.Shahidi, J.P.D.Wanasudara.– Food Sci. and Technol.– New York - Marcel DeKker.– 1998.– P. 115-136.

32 Supercritical Extraction Produces Purer Tonic from Ginseng [Text] // Chem. Eng. (USA).– 1995.– 102, № 8.– P.23.

33 Uhde baut Ahlage zur Hochdruckextraction [Text] // Chem. - Ing. - Techn.– 1996.– №10.– P.1222.

34 **Valberg, P.A.** Can low-level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects? [Text] / P.A.Valberg, R.Kavet, C.N.Rafferty // Radiat. Res.– 1997.– Vol. 148, N 1.– P. 2-21.

- 35 **Wan, Peter I.** Extraction Solvents for oilseeds [Text] / Peter I. Wan, Robert I.Hron // *INFORM: int. News Fats, Oils and Relat. Mater.*– 1998.– № 7.– P. 707 - 709.
- 36 **Wiesenfeld, K.** Stochastic resonance and the benefits of noise: from ice ages to crayfish and SQUIDS [Text] / K.Wiesenfeld, F.Moss // *Nature.*– 1995. Vol. 373.– P. 33-36.
- 37 **Айнштейн, В.Г.** Общий курс процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / В.Г.Айнштейн.– М.: Химич. технология, 1999.– 808 с.
- 38 **Аксельруд, Т.А.** Массообмен в системе твёрдое тело – жидкость [Текст] / Т.А.Аксельруд.– Львов: Изд. ЛГУ, 1971.– 864 с.
- 39 **Алавердян, Ж.Р.** Влияние магнитных полей на фазы роста и кислотообразующую способность молочно-кислых бактерий [Текст] / Ж.Р.Алавердян, Л.Г.Акопян, Л.М.Чарян, С.Н.Айрапетян // *Микробиология.*– 1996. Т.65. № 2.– С.241-244.
- 40 **Александров, Е.Б.** К теории модуляции люминесценции, возникающей при интерференции когерентно возбужденных невырожденных состояний [Текст] / Е.Б.Александров, В.П.Козлов // *Оптика и спектроскопия.*– 1964. № 3.– С. 533-535.
- 41 **Александров, Е.Б.** Лазерная магнитная спектроскопия [Текст] / Е.Б.Александров, В.С.Запаский.– М.: Наука, 1986.– С. 224-237.
- 42 **Александров, Е.Б.** Модуляция рассеянного света с помощью параметрического резонанса [Текст] / Е.Б.Александров, О.В.Константинов, В.И.Перель, В.А.Ходовой // *Журн. exper. и теор. физики.*– 1963. Т. 45, вып. 3. № 9.– С. 503-510.
- 43 **Аминов, М.С.** Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / М.С.Аминов и др.– М.: Колос, 1999.– 503 с.
- 44 **Антонов, О.Е.** Разрушение микроскопических организмов путём их облучения СВЧ электромагнитными сигналами специальной формы [Текст] / О.Е.Антонов, Е.В.Козырева, Т.Я.Свинцева, Н.В.Гончарова // *Известия А.Н.СССР. Серия Биологическая.*– 1997.– № 6.– С. 728-734.
- 45 **Аристахов, В.М.** О возможном молекулярном механизме биологического действия магнитного поля [Текст] / В.М.Аристахов, Л.А.Пирузян // *Матер. Всесоюз. науч.-тех. симпоз. Физико-математические и биологические проблемы действие электромагнитных полей и ионизации воздуха.*– М.: Наука, 1975.– Т. 1.– 179 с.
- 46 **Барышев, М.Г.** Влияние электромагнитного поля на биологические системы растительного происхождения [Текст] / М.Г.Барышев.– Краснодар: КГУ, 2002.– 297 с.
- 47 **Барышев, М.Г.** Моделирование электрических колебаний в биологических системах, вызванных воздействием электромагнитного поля [Текст] / М.Г.Барышев, В.Н.Савин // «Развитие современных технологий обработки сырья растительного и животного происхождения»: Сборник трудов.– Краснодар: ГУ КНИИХП, 2004.– С.38-39.– 200 экз.
- 48 **Белова, Н.А.** Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на гравитропизм растений [Текст] / Н.А.Белова, В.В.Леднёв // *Биофизика.* 2001. Т. 46, № 1. С. 122-125.
- 49 **Белоглазов, И.Н.** Твёрдофазные экстракторы [Текст] / И.Н.Белоглазов.– Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1985.– 240 с.
- 50 **Бержанская, Л.Ю.** Биолюминесцентная активность бактерий как индикатор геомагнитных возмущений [Текст] / Л.Ю.Бержанская, В.Н.Бержанский, О.Ю.Белоплотова, Т.Г.Пильникова, Т.Н.Метляев // *Биофизика.*– 1995.– Т. 40. Вып. 4.– С. 778-781.
- 51 **Бержанская, Л.Ю.** Влияние электромагнитных полей на биолюминесцентную активность бактерий [Текст] / Л.Ю.Бержанская, В.Н.Бержанский, О.Ю.Белоплотова // *Биофизика.*– 1995.– Т.40. Вып.4.– С. 974-977.

52 **Бержанская, Л.Ю.** Нестационарный характер бактериальной биолюминесценции в периоды возмущений геомагнитного поля [Текст] / Л.Ю.Бержанская, В.Н.Бержанский, Т.Г.Старчевская // Биофизика.– 1998.– Т.43. Вып.5.– С. 779-782.

53 **Бернов, А.А.** Распределение концентрации электропроводных частиц при автоколебательном движении в плоском конденсаторе / А.А.Бернов, М.К.Болога, З.Р.Горбис, В.В.Пушнов // Электрон. обработка материалов.– 1989.– № 6.– С. 38 - 44.

54 **Бинс, К.** Анализ и расчёт электрических и магнитных полей [Текст] / К.Бинс, П.Лауренсон.– М.: Энергия, 1970.– 350 с.

55 **Болога, М.К.** Электросепарация восков из подсолнечного масла [Текст] / М.К.Болога, Берил И.И. // Электрон. обработка материалов.– 1995.– №2.– С. 59 - 61.

56 **Бреус, Т.К.** Влияние солнечной активности на физиологические ритмы биологических систем. [Текст] / Т.К.Бреус, Ф.Халберг, Ж.Корнелиссен // Биофизика.– 1995.– Т. 40. Вып. 4.– С. 737-738.

57 **Вайнштейн, М.Б.** К разнообразию магнитобактерий [Текст] / М.Б.Вайнштейн, Н.Е.Сузина, Е.Б.Кудряшов, Е.В.Арискина, В.В.Сорокин // Микробиология.– 1998.– Т. 67. №6.– С. 807-814.

58 **Вернадский, В. И.** Научная мысль как планетное явление [Текст] / В.И.Вернадский.– М.: Наука, 1991.– С. 24.

59 **Гапаев, А.Б** Резонансные эффекты модулированного КВЧ поля низкой интенсивности. Изменение двигательной активности одноклеточных простейших *Paramecium caudatum* [Текст] / А.Б.Гапаев, Н.К.Чемерис, Е.Е.Фесенко, Р.Н.Храмов // Биофизика.– 1994.– Т. 39. Вып. 1.– С. 74-82.

60 Гидродинамика и теплообмен в химической технологии: Межвуз. сб. науч. тр. /Тверской политехн. ин-т.– Тверь, 1992.– 164 с.

61 **Гичев, Ю.П.** Влияние электромагнитных полей на здоровье человека [Текст] / Ю.П.Гичев, Ю.Ю.Гичев.– Новосибирск: Ин-т регион. патологии и патоморфологии СО РАМН, 1999.– 84 с.

62 **Говорун, Р.Д.** Влияние флуктуаций геомагнитного поля и его экранирования на ранние фазы развития высших растений. [Текст] / Р.Д.Говорун, В.И.Данилов, В.М.Фомичева, Н.А.Белявская, С.Ю.Зинченко // Биофизика.– 1992.– Т. 37. Вып. 4.– С. 738-743.

63 **Голикова, Т.И.** Каталог планов второго порядка [Текст] / Т.И.Голикова, Л.А.Панченко, М.З.Фридман.– Т. 1, 2. Вып. 47.– М.: МГУ.– 1974.

64 **Голованчиков, А.Б.** Экстрагирование активных компонентов из лекарственных растений в электрическом поле [Текст] / А.Б.Голованчиков, М.В.Попов // Химико-фармацевт. журн.– 1998.– №8.– С. 31 - 33.

65 **Горшков, Э.С.** О возможном механизме воздействия оператора на магнитоизмерительные системы [Текст] / Э.С.Горшков, В.В.Кулагин // Биофизика.– 1995.– Т. 40, вып. 5.– С. 1025-1030.

66 **Григорьев, Ю.Г.** Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное пособие [Текст] / Ю.Г.Григорьев, В.С.Степанов, О.А.Григорьев, А.В.Меркулов.– Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 1999.– 146 с.

67 **Давыдов, Б.И.** Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений [Текст] / Б.И.Давыдов, В.С.Тихончук, В.В.Антипов.– М.: Энергоатомиздат, 1984.– 177 с.

68 **Девятков, Н.Д.** Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности [Текст] / Н.Д.Девятков, М.Д.Голант, О.В.Бецкий.– М.: Радио и связь, 1991.– 169 с.

- 69 **Дронина, Т.В.** Действие миллиметровых электромагнитных волн на люминесценцию бактерий [Текст] / Т.В.Дронина, Л.Ю.Попова // Биофизика.– 1998.– Т.43. Вып. 3.– С. 522-525.
- 70 **Дытнерский, Ю.И.** Процессы и аппараты химической технологии [Текст] / Ю.И.Дытнерский.– М.: Химия, 1995.Ч.4.– 368 с.
- 71 **Дятлов, В.Л.** Поляризация модель неоднородного физического вакуума [Текст] / В.Л.Дятлов.– Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1998.– 184 с.– (Серия "Проблемы неоднородного физического вакуума")
- 72 **Евстратова, К.И.** Физическая и коллоидная химия [Текст] / К.И.Евстратова и др.– М.: Высш. шк., 1990.– 486 с.
- 73 **Жадин, М.Н.** Действие магнитных полей на движение иона в макромолекуле. Теоретический анализ [Текст] / М.Н.Жадин // Биофизика.– 1996.– Т.41, вып. 4.– С.832-849.
- 74 **Желяснoв, М.П.** Теплообмен в суспензиях под воздействием электрических полей [Текст] / М.П.Желяснoв.– Киев: Вища шк., 1993.– 120 с.
- 75 **Закревский, В.В.** Безопасность пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище [Текст] / В.В.Закревский.– СПб.: ГИОРД, 2004.– 280 с.
- 76 **Ильченко, Г.П.** Биорезонансная стимуляция увеличения урожайности сельскохозяйственных культур [Текст] / Г.П.Ильченко, Г.И.Касьянов, М.Г.Барышев // Хранение и переработка сельхозсырья.– 2001.№ 2.– Москва.– С.17.
- 77 **Ильченко, Г.П.** Интенсификация процесса CO₂ экстракции с помощью переменного магнитного поля [Текст] / Г.П.Ильченко, Г.И.Касьянов, С.В.Бутто, В.Н.Савин // Пищевая промышленность.– 2002, №11.– С.36.
- 78 **Ильченко, Г.П.** Применение электромагнитного поля для предпосевной обработки семян [Текст] / Г.П.Ильченко, М.Г.Барышев // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология.– 2000, №5-6.– Краснодар: КубГТУ, 2000.
- 79 **Исаченко, В.П.** Теплопередача [Текст] / В.П.Исаченко, А.С.Сукомел.– М.: Энергоиздат, 1991.– 380 с.
- 80 **Кавецкий, Г.Д.** Процессы и аппараты пищевой технологии [Текст] / Г.Д.Кавецкий, Б.В.Васильев.– М.: Колос, 1997.– 551 с.
- 81 **Капель-Боут, К.** Факторы окружающей среды, ответственные за флуктуационные явления. Трудности восприятия соответствующих факторов научным сообществом [Текст] / К.Капель-Боут // Биофизика.– 1995.– Т. 40. Вып. 4.– С. 732-735.
- 82 **Кардашев, Г.А.** Физические методы интенсификации химической технологии [Текст] / Г.А.Кардашев.– М.: Химия, 1990.– 206 с.
- 83 **Касьянов, Г.И.** Биотехнология получения и применения экстрактов и структурообразователей [Текст] / Г.И.Касьянов, М.Ю.Тамова.– Краснодар: КНИИХП, КубГТУ, 2002.– С.201-202.– Библиогр.: с. 156-183.– 100 экз.
- 84 **Касьянов, Г.И.** Новые геродиетические продукты [Текст] / Г.И.Касьянов, М.Г.Михайлова, В.Н.Савин // «Развитие современных технологий обработки сырья растительного и животного происхождения»: Сборник трудов.– Краснодар: ГУ КНИИХП, 2004.– С.52-53.– 200 экз.
- 85 **Касьянов, Г.И.** Обработка растительного сырья сжиженными и сжатыми газами [Текст] / Г.И.Касьянов.– М., 1993.– 41 с.
- 86 **Касьянов, Г.И.** Перспективы CO₂-технологии при переработке растительного сырья [Текст] / Касьянов Г.И.// Проблемы энергетики теплотехнологии в отраслях АПК, перерабатывающих растительное сырьё: Материалы республ. науч.-техн. конф.– М.: БИОЛАРУС, 1994.– С.48-50.

- 87 **Касьянов, Г.И.** Теоретическое обоснование эффекта соэкстракции при обработке каратин- и эвгенолсодержащего сырья жидким диоксидом углерода [Текст] / Г.И.Касьянов, И.А.Круглова.– Краснодар: КНИИХП, 1999.– 35 с.
- 88 **Касьянов, Г.И.** Техника и технология производства CO₂-экстрактов [Текст] / Г.И.Касьянов, В.П.Криулин, Б.И.Леончик.– М.: АгроНИИТЭИПП, 1992.– 35 с.
- 89 **Касьянов, Г.И.** Эффективность воздействия электромагнитных полей на растительное сырьё [Текст] / Г.И.Касьянов, В.Н.Савин, Д.С.Джаруллаев// Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пищевая промышленность: интеграция науки, образования и производства».– Краснодар: КубГТУ, 2005.– С. 309-311.
- 90 **Кислухина, О.** Биотехнологические основы переработки растительного сырья [Текст] / О.Кислухина, И.Кюдулас.– Каунас: Технология, 1997.– 183 с.
- 91 **Ключкин, В.В.** Перспективы использования CO₂ в качестве растворителя растительных масел [Текст] / В.В.Ключкин, С.Ф.Быкова.– М., 1991.– 27 с.
- 92 **Кожухарь, И.А.** Теплообмен в эмульсиях диэлектрических жидкостей под воздействием электрического поля [Текст] / И.А.Кожухарь.– Киев: Вища шк., 1992.– 240 с.
- 93 **Комаров, В.И.** Основные направления НТП в пищевых отраслях [Текст] / В.И.Комаров.– М.: Пищепромиздат, 1990.– 240 с.
- 94 **Копытенко, Ю.А.** О возможной связи ультранизкочастотных электромагнитных литосферных эмиссий с необычным поведением биологических систем перед сильными землетрясениями. [Текст] / Ю.А.Копытенко, Н.И.Комаровских, П.М.Воронов, Е.А.Копытенко // Биофизика.– 1995.– Т. 40. Вып. 5.– С. 1114-1115.
- 95 **Корицкий, Ю.В.** Основы физики диэлектриков [Текст] / Ю.В.Корицкий.– М.: Энергия, 1990. – 256 с.
- 96 **Коробкин, В.И.** Экология. Конспект лекций [Текст] / В.И.Коробкин, Л.В.Передельский.– Ростов н/Д: Феникс, 2004.– 224 с.
- 97 **Кошляков, Н.С.** Основные дифференциальные уравнения математической физики [Текст] / Н.С.Кошляков, Э.Б.Глинер, М.М.Смирнов.– М.: Физматгитиз, 1962.– 767 с.
- 98 **Краснов, К.С.** Физическая химия [Текст] / К.С.Краснов.– М.: Высш. шк., 1995.– 512 с.
- 99 Краткая химическая энциклопедия в 5 т. / Под ред. И.Л. Кнунянц и др.–М.: Сов. энцикл., 1961 - 1967, т.1.– 1961.– С. 66; С. 71; С. 279; С. 491; т.4.– 1965.– С. 351.
- 100 **Кузнецов, А.Н.** Механизмы действия магнитных полей на биологические системы [Текст] / А.Н.Кузнецов, В.К.Ванаг // Известия. АН. СССР. Серия Биологическая.– 1987.– №6.– С. 814-827.
- 101 **Кутателадзе, С.С.** Гидродинамика газожидкостных систем [Текст] / С.С.Кутателадзе, М.А.Стырикович.– М.: Энергия, 1991.– 180 с.
- 102 **Кучма, Т.Н.** Исследования механизмов комбинированного действия электромагнитного излучения СВЧ и перекиси водорода на жизнеспособность микроорганизмов [Текст] / Т.Н.Кучма, И.И.Самойленко, Е.Д.Алипов, В.Н.Лысцов // Биофизика.– Т. 41. Вып. 2.– С. 433-439.
- 103 **Леднёв, В.В.** Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей [Текст] / В.В.Леднёв // Биофизика.– 1996.– Т.41, вып. 1.– С. 224-231.
- 104 **Леднёв, В.В.** Биоэффекты слабых переменных магнитных полей и биологические предвестники землетрясений [Текст] / В.В.Леднёв, Н.А.Белова, З.Е.Рождественская, Х.П.Тирас // Геофизические процессы и биосфера. 2003. Т. 2, № 1. С. 3-11.– (<http://sky.chph.ras.ru/~uld/facts/Lednev1.html>)

105 **Леднёв, В.В.** Магнитный параметрический резонанс в биосистемах: экспериментальная проверка предсказаний теории с использованием регенерирующих планарий *Dugesia Tigrina* в качестве тест-системы [Текст] / В.В.Леднёв, Л.К.Сребницкая, Е.Н.Ильясова, З.Е.Рождественская, А.А.Климов, Н.А.Белова, Х.П.Тирас // Биофизика.– 1996.– Т.41, вып.4.– С.815-825.

106 **Леончик, Б.И.** Некоторые особенности термической обработки пищевого сырья в многошаговом электромагнитном поле СВЧ / Б.И.Леончик, Ю.К.Губиев, С.Г.Усачев //Изв. ВУЗов «Пищевая технология».– № 5, 1984.

107 **Леончик, Б.И.** Новые направления повышения эффективности сушки и термовлажностной обработки при переработке пищевого растительного сырья [Текст] /Б.И.Леончик // Труды 1-й межд. научно-практ. конф., т. 4, Проблемные доклады, С.113-115, М., 2002.

108 **Леончик, Б.И.** Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы [Текст] / Б.И.Леончик, Г.И.Касьянов, Р.И. Шаззо.– М.: МГУПП. 1998.– 104 с.

109 **Макаревич, А.В.** Влияние магнитных полей магнитопластов на процессы роста микроорганизмов [Текст] / А.В.Макаревич // Биофизика.– 1999.– Т.41. Вып.1.– С. 70-74.

110 **Маркитантов, И.Б.** Исследование организационно-технологических процессов на основе методов планирования эксперимента с использованием трёхуровневых планов Бокса-Бенкена (на примере шоколадного производства). Методика [Текст] / И.Б.Маркитантов.– Санкт-Петербургский инженерно-экономический университет Кафедра коммерческой деятельности и предпринимательства, 2003 г.– 50 с.

111 **Маркитантов, И.Б.** Эффективность и качество шоколадного производства [Текст] / И.Б.Маркитантов.– СПб.: Агентство РДК-Принт, 2002.– 176 с.

112 **Маркова, Е.В.** Планирование эксперимента в условиях неоднородностей [Текст] / Е.В.Маркова, А.Н.Лисенков.– М.: "Наука", 1973.

113 **Матрончик, А.Ю.** Модель фазовой модуляции высокочастотных колебаний нуклеотида в реакции клеток *E.coli* на слабые постоянные и низкочастотные магнитные поля [Текст] / А.Ю.Матрончик, Е.Д.Алипов, Е.Д.Беляев // Биофизика.– 1996.– Т. 41. Вып. 3.– С. 642-649.

114 **Месеняшин А.И.** О действии электрических сил на частицы у электрода [Текст] / А.И.Месеняшин // Электрон. обработка материалов.– 1990.– №4.– С. 65-69.

115 Методы биохимического исследования растений – М.: Агропромиздат, 1997. – 430 с.

116 **Минина, С.А.** Оптимизация процесса экстрагирования корня женьшеня [Текст] / С.А.Минина, Л.В.Шигорова, В.А.Вайништен // Химико-фармацевт. журн.– 1998.– №7.– С. 42 - 45.

117 **Налимов, В. В.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В.В.Налимов, Н.А.Чернова.– М.: "Наука", 1965.

118 **Николаев, Ю.А.** Дистанционные информационные взаимодействия у бактерий [Текст] / Ю.А.Николаев // Микробиология.– 2000.– Т.69. №5.– С. 567-605.

119 **Николайкин, Н.И.** Экология: Учеб. для вузов [Текст] / Н.И.Николайкин, Н.Е.Николайкина, О.И.Мелехова.– 3-е изд., стереотип.– М.: Дрофа, 2004.– 624 с.

120 **Новиков, В.В.** Зависимость влияния слабых комбинированных магнитных полей на интенсивность бесполого размножения планарий *Dugesia tigrina* от величины переменного поля [Текст] / В.В.Новиков, И.М.Шейман, А.С.Лисицын, А.В.Клюбин, Е.Е.Фесенко // Биофизика.– 2002.– Т. 47, вып. 3.– С. 564-567.

121 **Новиков, В.В.** Молекулярные механизмы биологического действия слабых магнитных полей. I. Устойчивость хроматина клеток асцитной карциномы Эрлиха и

мозга мышцей к ДНКазе I при комбинированном действии на организм слабых постоянного и низкочастотного переменных магнитных полей, настроенных на резонанс полярных аминокислот [Текст] / В.В.Новиков, Ю.П.Швецов, Е.Е.Фесенко, Н.И.Новикова // Биофизика.– 1997. Т. 42, № 3.– С. 733-737.

122 **Носов, А.М.** Лекарственные растения официальной и народной медицины [Текст] / А.М.Носов.– М.: Изд-во Эксмо, 2005.– 800 с.

123 **Остроумов, Г.А.** Взаимодействие электрических и газодинамических полей [Текст] / Г.А.Остроумов.– М.: Наука, 1992.– 320 с.

124 **Патент РФ №2104733, МПК⁶ B01D11/02, B01J19/10.** Способ экстракции из твёрдого растительного сырья [Текст] / М.Г.Сульман, Т.В.Анкудинова, Д.Н.Пирог, Э.М.Сульман, Н.В.Семагина; заявитель и патентообладатель М.Г.Сульман; заявл.06.11.1996; опубл.20.02.1998.– Бюл. изобрет., №5.

125 **Пермяков, С.Е.** Использование методов белковой инженерии в исследовании кальций связывающих белков [Текст] / С.Е.Пермяков, Е.А.Пермяков // Биофизика.– 2000.– Т. 45. Вып. 6.– С. 990-1006.

126 **Плеханов, Г.Ф.** Основные закономерности низкочастотной электромагнито-биологии [Текст] / Г.Ф.Плеханов.– Томск: Изд-во Томского ун-та, 1990.– 187 с.

127 **Подгорецкий, М.И.** К вопросу о модуляции и "биениях" в квантовых переходах: Препр. Р-491 [Текст] / М.И.Подгорецкий.– Дубна: Объединенный международный институт ядерных исследований, 1960.– 73 с.

128 **Померанцев, Н.М.** Физические основы квантовой магнитометрии [Текст] / Н.М.Померанцев, В.М.Рыжков, В.В.Скродский.– М.: Наука, 1972.– 124 с.

129 **Поплавко, Ю.М.** Физика диэлектриков [Текст] / Ю.М.Поплавко.– Киев: Вища шк., 1989.– 410 с.

130 **Потапенко, Н.Г.** Антимикробное действие электромагнитных излучений и обеззараживание воды [Текст] / Н.Г.Потапенко, О.С.Савлук // Биологические методы очистки воды. Химия и технология воды.– 1990.– Т.12. №10.– С. 939 -951.

131 **Пушнов, В.В.** Об интенсификации теплопередачи через газозвесь в однородном электрическом поле [Текст] / В.В.Пушнов, М.К.Болога, К.В.Сюткин // ИФЖ.– 1994.– Т.27.– №2.– С. 182 - 187.

132 **Р 2.2.755-99** Руководство. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряжённости трудового процесса [Текст] / М.: Госсанэпиднадзор РФ, 1999.

133 Разработка процессов экстракции растительного масла, очистки жиров и мисцеллы в электростатических полях с высокой степенью интенсификации и создание оборудования для этих процессов [Текст]: отчёт о НИР/ Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции; исполн.: Сердюк В.И., Мгебрешвили Т.В.– Краснодар, 1972.– 59 с.

134 **Репало, А.Г.** Совершенствование процесса экстрагирования с дискретным отводом вещества [Текст] / А.Г.Репало, Б.А.Вороненко, В.Н.Марков// Науч. основы прогрессивных технологий хранения и переработки сельхозпродукции: Тез. докл. науч.-техн. конф.– Углич, 1995.– С. 252 - 253.

135 **Решение о выдаче патента РФ на изобретение по заявке №2003101095/13, МПК⁷ А 23 L 1/29, 1/30, 1/325, 1/212, С 12 Р 1/02.** Способ приготовления геродиетического продукта [Текст] / Квасенков О.И., Касьянов Г.И., Савин В.Н.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т консервной и овощесушильной промышленности (гос.науч.учрежд.); заявл.16.01.2003; опубл.28.09.2004.

136 **Решение о выдаче патента РФ на изобретение по заявке №2003102061/13, МПК⁷ А 23 L 1/29, С 12 Р 1/02.** Способ получения комбинированного продукта для ге-

родиетического питания [Текст] / Квасенков О.И., Касьянов Г.И., Савин В.Н.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т консервной и овощесушильной промышленности (гос.науч.учрежд.); заявл.27.01.2003; опубл.01.02.2005.

137 **Решение о выдаче патента РФ на полезную модель по заявке №2005116542/22, МПК⁷ В01D 11/02.** Установка для газожидкостной экстракции растительного сырья [Текст] / Савин В.Н.; заявитель и патентообладатель Гос. науч. учрежд. высш. проф. образования «Кубанский гос. технол. ун-т»; заявл.30.05.2005; опубл.06.07.2005.

138 **Рогов, И.А.** Электрофизические методы обработки пищевых продуктов [Текст] / И.А.Рогов.– М.: Агропромизд, 1988.– 272 с.

139 **Романков, П.Г.** Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой) [Текст] / П.Г.Романков, В.Ф.Фролов.– Л.: Химия, 1990.– 384 с.

140 **Рудаков, М.Л.** Электромагнитные поля и безопасность населения [Текст] / М.Л.Рудаков.– С.-Пб.: Русское географическое общество, 1998.– 32 с.

141 Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов // Под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна.– М.: Брандес, Медицина, 1998.– 340 с.

142 **Савельев, А.П.** Ритмика зонообразования колоний стрептомицета и состояние околоземного космического пространства [Текст] / А.П.Савельев, В.Н.Карнаухов // Биофизика.– 1999.– Т. 44. Вып. 2.– С. 318-324.

143 **Савин, В.Н.** Воздействие низкочастотного электромагнитного поля на извлечение ценных компонентов из растительного сырья [Текст] / В.Н.Савин // «Новые технологии – будущее пищевой промышленности», сборник трудов.– Краснодар: ГУ КНИИХПСИ, 2002.– С.182.

144 **Савин, В.Н.** Изучение влияния энергоинформационных полей крайне низкой частоты на биологические объекты [Текст] / В.Н.Савин, Г.П.Ильченко // Материалы международной научной конференции «Информационный подход в естественных, гуманитарных и технических науках», часть 2.–Таганрог:ТРТУ, 2004.– С.77-78.– ISBN 5-88040-041-7

145 **Савин, В.Н.** Интенсификация процесса извлечения ценных компонентов из сырья методами газожидкостного экстрагирования [Текст] / В.Н.Савин // «Совершенствование технологии переработки сырья животного и растительного происхождения»: сборник научных трудов.– Краснодар: Кубан. гос. технол. ун-т, 2002.– С.57-59.– 100 экз.– ISBN 5-8333-0097-5.

146 **Савин, В.Н.** Использование слабых энергоинформационных полей для увеличения выхода экстракта из растительного сырья [Текст] / В.Н.Савин, Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пищевая промышленность: интеграция науки, образования и производства».– Краснодар: КубГТУ, 2005.– С. 335-337.

147 **Савин, В.Н.** Математическое планирование активного эксперимента и обработка его результатов [Текст] / В.Н.Савин, Г.И.Касьянов, А.М.Савина, К.А.Кирий.– Краснодар: КубГТУ, 2003.– 44 с.– Библиогр.: с. 38.

148 **Савин, В.Н.** Повышение эффективности процесса СО₂-экстракции [Текст] / В.Н.Савин // «Современные технологии переработки животноводческого сырья в обеспечении здорового питания: наука, образование и производство», материалы Международной научно-технической конференции.– Воронеж, 2003 г., С.126-127.

149 Санитарные правила и нормы выполнения работ в условиях воздействия переменных магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) [Текст] / СанПиН 2.2.4.723-98.– М.: МЗ РФ, 1998.

150 **Сидоренко, В.М.** Механизм влияния слабых электромагнитных полей на живой организм [Текст] / В.М.Сидоренко // Биофизика.– 2001.– Т.46, вып. 3.– С.500-504.

151 **Скамбов, А.А.** Интенсификация теплоотдачи воздействия электрического поля [Текст] / А.А.Скамбов, М.К.Болога // Изв. АН МССР, сер. физ.-техн. и мат. наук.– 1989.– №2.– С. 75 -78.

152 **Суворов, Г.А.** Неионизирующие электромагнитные излучения и поля (экологические и гигиенические аспекты) [Текст] / Г.А.Суворов, Ю.П.Пальцев, Л.Л.Хунданов и др.– М., 1998.– 102 с.

153 **Талашова, С.В.** Интенсификация и унификация производства официальных препаратов валерианы [Текст] / С.В.Талашова, Н.С.Фурса, Т.П.Попова и др.// Человек и лекарство: 3 Рос. нац. конгр.– М., 1996.– с. 15.

154 **Темурьянц, Н.А.** Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире [Текст] / Н.А.Темурьянц, Б.М.Владимирский, О.Г.Тишкин.– Киев: Наукова думка, 1992.– 187 с.

155 **Тютюнников, Б.Н.** Химия жиров [Текст] / Б.Н.Тютюнников, Ф.Ф.Гладкий, З.И.Буштаб и др.– 3-е изд., доп. и перераб.– М.: Колос, 1992.– 350 с.

156 **Тягун, Н.Ф.** Общие периодичности вращения солнечной атмосферы и функционирования человеческого организма. [Текст] / Н.Ф.Тягун // Биофизика.– 1995.– Т. 40. Вып. 4.– С. 822-824.

157 **Узун, Л.Н.** Влияние электромагнитного поля на ферментативные процессы, протекающие при производстве вин [Текст] / Л.Н.Узун, В.Т.Христюк, М.М. Шакун // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пищевая промышленность: интеграция науки, образования и производства».– Краснодар: КубГТУ, 2005.– С. 432-434.

158 **Федоткин, И.М.** Асимптотические методы в задачах тепломассопереноса [Текст] / И.М.Федоткин, А.М.Айзен.– Киев: Вища школа, 1975.– 198 с.

159 **Федоткин, И.М.** Интенсификация технологических процессов [Текст] / И.М.Федоткин.– Киев: Вища школа, 1979.– 344 с.

160 **Федоткин, И.М.** Использование кавитации в технологических процессах [Текст] / И.М.Федоткин, А.Ф.Немчин.– Киев: Вища шк., 1988.– 75 с.

161 **Фесенко, Е.Е.** Структурообразование в воде при действии слабых магнитных полей и ксенона. Электронно-микроскопический анализ [Текст] / Е.Е.Фесенко, В.И.Попов, С.С.Хуцян, В.В.Новиков // Биофизика.– 2002.– Т. 47, вып. 3.– С. 389-394.

162 Физиология человека [Текст] / В 3-х томах.– Т.1. Пер с англ./ Под ред. Р.Шмидта и Г.Тевса.– М.: Мир, 1996.– С. 9-25.– ISBN 5-03-002544-8.– ISBN 5-03-002545-6 (русск.)– ISBN 0-387-19432-0 (англ.)

163 **Фомичева, В.М.** Динамика синтеза РНК и белков в клетках корней меристемы гороха, чечевицы и льна [Текст] / В.М.Фомичева, В.А.Заславски, Р.Д.Говорун, В.И.Данилов // Биофизика.– 1992.– Т. 37. Вып. 4.– С. 750-758.

164 **Хартман, К.** Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / Хартман К. и др.– М.: "Мир", 1977.–176 с.

165 **Холодов, Ю.А.** Влияние электромагнитных полей на ЦНС [Текст] / Ю.А.Холодов.– М.: Наука 1966.– 283 с.

166 **Целемекский, В. А.** Построение математической модели с использованием аппроксимирующего полинома 2-го порядка [Текст] / В.А.Целемекский, Г.С.Ясаков // Вопросы судостроения. Серия: Математические методы. Программирование. Эксплуатация ЭВМ, выпуск 23. ЦНИИ "Румб", 1980.– С. 37-46.

167 **Чижевский, А.Л.** Земное эхо солнечных бурь [Текст] / А.Л.Чижевский.–М.: "Мысль", 1976.– 336 с.

168 **Чижевский, А.Л.** Об одном виде специфически биоактивного или Z-излучения солнца [Текст] / А.Л.Чижевский.– М.: Мысль, 1964.– 342 с.

169 **Шакун, М.М.** Влияние электромагнитного поля на патогенные микроорганизмы вина [Текст] / М.М. Шакун, В.Т.Христюк, Л.Н.Узун // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пищевая промышленность: интеграция науки, образования и производства».– Краснодар: КубГТУ, 2005.– С. 434-435.

170 **Шашин, В.М.** Гидромеханика [Текст] / В.М.Шашин.– М.: Высш. шк., 1990.– 383 с.

171 **Швецов, Ю.П.** Молекулярные механизмы биологического действия слабых магнитных полей. V. Инактивация *in vitro* рекомбинантной обратной транскриптазы вируса саркомы Рауса при комбинированном действии слабых постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей, настроенных на циклотронный резонанс ионов полярных аминокислот [Текст] / Ю.П.Швецов, В.В.Новиков, Е.Е.Фесенко, А.П.Чернов, В.А.Иванов // Биофизика.– 1998.– Т.43. Вып. 6.– С. 977-980.

172 **Шейдлин, А.Е.** Техническая термодинамика [Текст] / А.Е.Шейдлин, В.А.Кирилин.– М.: Энергия, 1987.– 452 с.

173 **Шервуд, Т.** Свойства газов и жидкостей [Текст] / Т.Шервуд, Дж.Праусниц.– Л.: Химия, 1993.– 340 с.

174 **Щелкунов, С.А.** Влияние магнитных полей на кишечную палочку *Escherichia Coli* K-12 [Текст] / С.А.Щелкунов, Д.Д.Денгев, Л.А.Баденко, Р.И.Семенов // Биофизика.– 1970.– Т. 25. Вып. 4.– С. 665-668.

175 **Щербаков, В.Г.** Технологический контроль производства жиров и жирозаместителей [Текст] / В.Г.Щербаков.– М.: Колос, 1996.– 208 с.

176 **Щукин, Е.Д.** Коллоидная химия [Текст] / Е.Д.Щукин и др.– М.: Высш. шк., 1992.– 414 с.

Приложения

Приложение А

Таблица – Алгоритм и реализация эксперимента на основании планов Бокса-Бенкена для $k = 4$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	A	B	C	D	E							
2	1/3	1/12	1/8	1/16	1/6							
3	№	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₁₁	x ₂₂	x ₃₃	x ₄₄	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄
4	1	+1	+1	0	0	+1	+1	0	0	+1	0	0
5	2	+1	-1	0	0	+1	+1	0	0	-1	0	0
6	3	-1	+1	0	0	+1	+1	0	0	-1	0	0
7	4	-1	-1	0	0	+1	+1	0	0	+1	0	0
8	5	0	0	+1	+1	0	0	+1	+1	0	0	0
9	6	0	0	+1	-1	0	0	+1	+1	0	0	0
10	7	0	0	-1	+1	0	0	+1	+1	0	0	0
11	8	0	0	-1	-1	0	0	+1	+1	0	0	0
12	9	+1	0	0	+1	+1	0	0	+1	0	0	+1
13	10	+1	0	0	-1	+1	0	0	+1	0	0	-1
14	11	-1	0	0	+1	+1	0	0	+1	0	0	-1
15	12	-1	0	0	-1	+1	0	0	+1	0	0	+1
16	13	0	+1	+1	0	0	+1	+1	0	0	0	0
17	14	0	+1	-1	0	0	+1	+1	0	0	0	0
18	15	0	-1	+1	0	0	+1	+1	0	0	0	0
19	16	0	-1	-1	0	0	+1	+1	0	0	0	0
20	17	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	0	+1	0
21	18	+1	0	-1	0	+1	0	+1	0	0	-1	0
22	19	-1	0	+1	0	+1	0	+1	0	0	-1	0
23	20	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	0	+1	0
24	21	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	0	0
25	22	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1	0	0	0
26	23	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1	0	0	0
27	24	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	0	0
28	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Сумма	0	0	0	0	12	12	12	12	0	0	0
32												
33	23,288	-1,274	0	0	0	10,173	10,226	10,226	10,226	0	0	0
34	0,954	-0,106	0	0	0	-0,056	-0,050	-0,050	-0,050	0	0	0

	M	N	O	P	Q	R	S
1							
2							
3	X_{23}	X_{24}	X_{34}	Y_3	Y_p	$Y_3 - Y_p$	$(Y_3 - Y_p)^2$
4	0	0	0	0,742	0,742	0	0
5	0	0	0	0,742	0,742	0	0
6	0	0	0	0,954	0,954	0	0
7	0	0	0	0,954	0,954	0	0
8	0	0	1	0,854	0,854	0	0
9	0	0	-1	0,854	0,854	0	0
10	0	0	-1	0,854	0,854	0	0
11	0	0	1	0,854	0,854	0	0
12	0	0	0	0,742	0,742	0	0
13	0	0	0	0,742	0,742	0	0
14	0	0	0	0,954	0,954	0	0
15	0	0	0	0,954	0,954	0	0
16	1	0	0	0,854	0,854	0	0
17	-1	0	0	0,854	0,854	0	0
18	-1	0	0	0,854	0,854	0	0
19	1	0	0	0,854	0,854	0	0
20	0	0	0	0,742	0,742	0	0
21	0	0	0	0,742	0,742	0	0
22	0	0	0	0,954	0,954	0	0
23	0	0	0	0,954	0,954	0	0
24	0	1	0	0,854	0,854	0	0
25	0	-1	0	0,854	0,854	0	0
26	0	-1	0	0,854	0,854	0	0
27	0	1	0	0,854	0,854	0	0
28	0	0	0	0,954	0,954	-2,442E-15	5,97E-30
29	0	0	0	0,954	0,954	-2,442E-15	5,97E-30
30	0	0	0	0,954	0,954	-2,442E-15	5,97E-30
31	0	0	0	23,288			1,79E-29
32							
33	-1,274	0	0				
34	-0,106	0	0				

Приложение Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 48804

**УСТАНОВКА ДЛЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ
ЭКСТРАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU)*

Автор(ы): *Савин Владимир Николаевич (RU)*

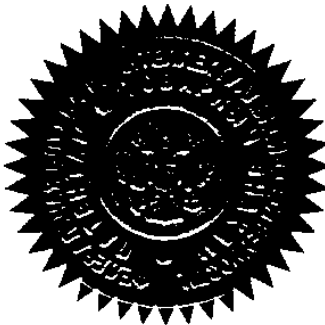
Заявка № 2005116542

Приоритет полезной модели 30 мая 2005 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 ноября 2005 г.

Срок действия патента истекает 30 мая 2010 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

Приложение В



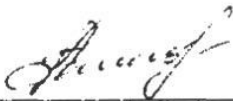

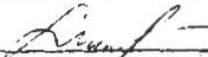
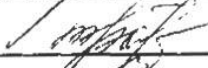
Приложение Г

Акт

внедрения в учебный процесс методики обработки биологических объектов низкочастотными электромагнитными полями в лабораториях факультета пищевой биотехнологии и ресторанного бизнеса КубГТУ

- 1) Испытана установка «Био-М-Резонатор», сконструированная В.А. Запорожским и Г.П. Ильченко, предназначенная для обработки винограда, корнеплодов, мяса, рыбы и другого пищевого сырья, с целью снижения микробиальной обсеменности и интенсификации процессов биосинтеза в растительном сырье.
- 2) Воздействовали амплитудно-модулированным ЭМП с несущей частотой 26,7 МГц, модулирующей частотой ЭМП в диапазоне 12-40 Гц, глубиной модуляции, изменяющейся в пределах от 30 % до 70%, на биологические объекты. При этом установлена возможность существенного увеличения сроков хранения сырья по сравнению с контролем. В технологических испытаниях принимали участие асс. Решетняк А.И., асп. Савин В.Н., асп. Михайлова М.Г., асп. Троянова Т.Л.

Использование результатов позволило повысить теоретический уровень читаемых спецкурсов.

Авторы:		асс. Решетняк А.И.
		асп. Савин В.Н.
		асп. Михайлова М.Г.
		асп. Троянова Т.Л.

Использование результатов НИР подтверждает

Декан ФПБРБ, профессор

Зав. кафедрой, профессор



В.Т. Христюк

Г.И. Касьянов

Приложение Д

Акт

испытания низкочастотного электромагнитного генератора в технологической лаборатории кафедры технологии мясных и рыбных продуктов факультета пищевой биотехнологии и ресторанного бизнеса КубГУ

В рамках НИР кафедры аспирантом Савиным В.Н. была испытана установка, включающая генератор низкочастотного электромагнитного поля (конструкции канд.физ.-мат.наук Ильченко Г.П.) Изучено влияние ЭМП низких частот на повышение выхода экстрактивных веществ из растительного сырья. На объекты исследования (можжевельная ягода, рябина красная и черноплодная, семена расторопши) воздействовали ЭМП низкой частоты и амплитудно-модулированным ЭМП с несущей частотой 26,7 МГц, модулирующей – 3-100 Гц, глубиной модуляции изменяющейся в пределах от 30% до 70%. Было установлено увеличение выхода экстрактивных веществ по сравнению с контролем до 53% (при равной продолжительности экстрагирования).

Результаты эксперимента позволяют прогнозировать величину выхода экстрактивных веществ за счёт обработки растительного сырья ЭМП низких частот. Эти сведения положены в основу лабораторной работы по курсу «Основы научных исследований и защита интеллектуальной собственности».

Декан ФПБиРБ,
профессор

В.Т.Христюк

Зав.кафедрой
ТМиРП, профессор

Г.И.Касьянов

ПОДПИСАТЬ: В.Т. Христюк, Г.И. Касьянов