

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И.Т.ТРУБИЛИНА»

На правах рукописи



Лоза Андрей Александрович

***ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ
ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ ОЗОНОМ ПЧЕЛИНЫХ УЛЬЕВ***

Специальность: 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и
энергоснабжение агропромышленного комплекса

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Оськин С.В.

Краснодар – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИИ.....	9
1.1 Состояние и перспективы пчеловодства в России.....	9
1.2 Существующие способы и исследования в области лечения болезней пчел.....	13
1.3 Состояние развития озонных технологий в пчеловодстве.....	29
1.4 Выводы и задачи исследований.....	36
2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОЗОНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ УЛЬЕВ.....	40
2.1 Разработка технологической схемы озонирования группы ульев.....	40
2.2 Моделирование физико-химических процессов в озонаторе.....	48
2.3 Обоснование геометрических параметров выходного блока озонатора для обработки группы ульев.....	61
2.4 Разработка алгоритма программы для микроконтроллера и принципиальной электрической схемы управления озонирующей установкой.....	65
2.5 Выводы по главе.....	72
3 МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ ОЗОНОМ ПЧЕЛИНЫХ УЛЬЕВ И ЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	74
3.1 Методика проведения экспериментальных исследований по подтверждению теоретических положений.....	74
3.2 Результаты экспериментальных исследований по подтверждению теоретических положений компьютерного моделирования физико-химических процессов в озонирующей установке.....	77
3.3 Результаты исследований влияния параметров озонирования на выживаемость гриба <i>Penicillium sp.</i>	80
3.4 Проведение испытаний разработанной установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев.....	84
3.5 Экономическая эффективность внедрения системы группового озонирования ульев на пасеке в 50 пчелиных семей.....	88
3.6 Выводы по главе.....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	97
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	100
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	120

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Эффективность пчеловодства находится в большой зависимости от здоровья пчелиных семей. Известно, что пчелы стараются сами бороться с болезнями, но это до определенного уровня заболевания. Во время сезона пчеловоды должны применять организационные мероприятия и различные лечебно-профилактические препараты. Основные усилия пчеловоды направляют на профилактику, так как большинство болезней легче победить на ранней стадии их развития. У пчеловодов профилактические мероприятия направляются против возникновения грибковых, инфекционных и инвазионных заболеваний. При наличии здоровых пчелиных семей и работе их на хороших медоносах можно ждать высокие медосборы. Сегодня в пчеловодстве для лечения и профилактики чаще используют химические препараты с антибиотиками. Это приводит к большой вероятности попадания лекарств в продукты пчеловодства, что снижает его качество и возможности реализации по более высоким ценам. Известно, что многие микроорганизмы привыкают к воздействию препаратов и пчеловоды вынуждены либо увеличивать дозу применения, либо менять лекарство. Все это приводит к поиску новых технологий профилактики и механизмов действия на вредителей и болезней. В Кубанском ГАУ проводятся исследования по применению в пчеловодстве электротехнологических методов борьбы с болезнями пчел, в том числе с использованием электроактивированных растворов и озона. Хорошие результаты получены по использованию озонирующих установок для стимуляции развития пчелиных семей и профилактики заболеваний пчел. Овсянниковым Д.А. была предложена целая технология применения озонирования пчелиных семей на всем этапе их содержания. Николаенко С.А. продолжил эти исследования с целью автоматизации работы озонирующего оборудования. Однако ими в большинстве случаев проводились эксперименты на отдельных ульях. Появление нестабильных результа-

тов озонирующей установки при обработке нескольких ульев показало необходимость проведения дополнительных исследований. При обработке несколько ульев одной установкой необходимо учитывать наличие пчелиных семей с разным количеством обсиживаемых пчелами рамок, и требуется корректировка работы установки при отключении отдельных семей.

Диссертационная работа выполнена по плану НИР Кубанского ГАУ ГР №121031700099-1 (2021-2025 г).

Степень разработанности темы. Большой вклад в развитие установок, облегчающих труд пчеловодов, внесли учёные ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Костычева (г. Рязань). Вопросами озонирования и эффективности работы электроозонаторных установок в сельском хозяйстве занимались: В.Ф. Сторчевой, А.В. Чернышов, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, Д.А. Нормов, Н.В. Ксенз и другие. Но, несмотря на глубину проводимых исследований и доказанную ими эффективность применения озона, в том числе и в пчеловодстве, установки для его получения требуют совершенствования, в частности решения проблемы групповой обработки пчелиных семей. Несмотря на большую работу, сделанную исследователями по внедрению озонирующих установок в пчеловодстве существующие озонаторы, не учитывают необходимость дозированной подачи озона в ульи с разным количеством рамок. Все это ведет либо к недополучению требуемой дозы озона ульями, либо к перерасходу электрической энергии с увеличением времени работы установки на пасеке.

Гипотеза. Исследование физико-химических процессов в установке для групповой обработки озоном разной силы пчелиных семей позволит определить параметры и режимы ее работы, повысит стабильность получаемого лечебно-профилактического эффекта в пчеловодстве.

Цель работы. Обоснование параметров и режимов работы установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев для повышения эффективности проведения лечебно-профилактических мероприятий на пасеке.

Задачи исследования.

1. Обосновать технологическую схему и процесс работы озонирующей установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев с разным количеством обсиживаемых пчелами рамок.

2. Разработать геометрическую модель установки для ее последующего математического описания и компьютерного моделирования физико-химических процессов в ней.

3. Разработать математическую модель, описывающую физико-химические процессы в озонаторе для ее реализации программном комплексе Comsol Multiphysics.

4. В программном комплексе Comsol Multiphysics провести компьютерное моделирование математической модели физико-химических процессов в озонирующей установке и получить ее рациональные параметры и режимы работы.

5. Разработать алгоритм и принципиальную электрическую схему управления установкой для групповой обработки озоном пчелиных ульев.

6. Изготовить установку для групповой обработки озоном пчелиных ульев, провести экспериментальные исследования по сопоставлению опытных данных с результатами моделирования.

7. Провести исследования по влиянию озона на выживаемость плесневых грибов, получить соответствующие регрессионные модели и на этой основе определить параметры и режимы работы озонирующей установки.

8. Обосновать экономическую эффективность использования установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев на пасеке.

Объект исследования — установка для групповой обработки озоном пчелиных ульев.

Предмет исследования — параметры и режимы работы установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев, зависимости влияния концентрации озона и времени обработки на выживаемость плесневых грибов.

Методология и методы исследования: конечных элементов с использованием современного ПО Comsol Multiphysics, законы физики плазмы, электротехники и гидравлики, методика проведения экспериментальных исследований.

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель физико-химических процессов в озонаторе установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев;
- алгоритм управления групповой обработкой пчелиных ульев, учитывающий: количество обсиживаемых пчелами рамок, изменение расхода озоновоздушной смеси при отключении отдельных воздухопроводов, получаемую дозу озона;
- регрессионные зависимости влияния концентрации озона и времени обработки на выживаемость плесневых грибов;
- обоснованные параметры и режимы работы установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- математическая модель физико-химических процессов, протекающих в озонаторе, позволяющая описать концентрации озона в геометрических частях конструкции и определить рациональные места подключения выходных патрубков;
- зависимости изменения расхода озоновоздушной смеси через воздухопроводы при их последовательном отключении от ульев, необходимые для определения дозы озона на отдельные ульи;
- алгоритм групповой обработки пчелиных ульев, дающий возможность разработать программу для системы управления процессом озонирования;

- обоснованные параметры и режимы работы установки для групповой обработки озонотерапевтическими ульев, позволяющие повысить эффективность проведения лечебно-профилактических мероприятий на пасеке;
- принципиальная электрическая схема системы управления озонирующей установкой, дающая возможность изготовить опытный образец с минимальными затратами;
- изготовленная система управления, которая проводит расчет времени обработки отдельных ульев и управляет подачей озонотерапевтической смеси в зависимости от числа рамок в них;
- регрессионная модель влияния концентрации озона и времени обработки на выживаемость плесневых грибов, позволяющая расширить функционал установки и получить обоснованную дозу озонотерапевтической обработки пчелиных ульев.

Реализация результатов исследований.

Результаты исследований внедрены в ИП глава КФХ Овсянников Дмитрий Алексеевич (Краснодарский край). Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе на факультете энергетике Кубанского ГАУ.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается: методами компьютерного моделирования в ПО Comsol Multiphysics 6.1 и обработкой экспериментальных данных с помощью ПО STATISTICA, использованием современной измерительной аппаратуры. Основные положения и выводы диссертации доложены и одобрены на ежегодных научных конференциях факультета энергетике КубГАУ (2020–2022 гг.); на XIV Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе» 28–29 мая 2021 г. (г. Ставрополь); на I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко 22 декабря 2023 г. (г. Саратов); на Меж-

дународной научной конференции «Научные исследования стран ШОС: Синергия и интеграция» 30 сентября 2023 г. (Китай); на XXXIII Международной научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии» 2-3 октября 2023 г. (Индия).

Публикации результатов работы. Основное содержание диссертации отражено в 13 печатных работах, в том числе: 8 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК России, 1 статья в международной базе данных Scopus, 4 статьи – в других изданиях.

На защиту выносятся следующие положения:

- математическая модель, описывающая физико-химические процессы в озонаторе, для обоснования параметров и режимов работы всей установки;
- регрессионная модель влияния концентрации озона и времени обработки на выживаемость плесневых грибов;
- алгоритм групповой обработки пчелиных ульев, учитывающий: количество рамок в каждом улье, изменение расхода озонозооной смеси через воздуховоды;
- обоснованные параметры и режимы работы установки для групповой обработки озонем пчелиных ульев;
- результаты экспериментальных исследований и их сопоставление с результатами моделирования.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Состояние и перспективы пчеловодства в России

Пчеловодство в России признано очень перспективным видом деятельности, но, тем не менее, переживает непростые времена. На сегодняшний день данная отрасль слабо развита, а популяция пчел сокращается с каждым годом. Так, согласно материалам круглого стола «Правоприменение и развитие законодательного регулирования пчеловодства в Российской Федерации», проводимого в Кубанском ГАУ в 2023, количество пчелосемей в России за последние десятилетия снизилось в три раза [114]. Согласно данным Министерства сельского хозяйства [20], наибольшее количество пчелосемей сосредоточено в хозяйствах населения (табл. 1.). Такая тенденция сохраняется и на сегодня.

Таблица 1 – Количество пчелосемей в Российской Федерации согласно данным Министерства сельского хозяйства

Объект переписи	1990	2010	2015	2016	2017	2018
Хозяйства всех категорий, тыс. пчелосемей	4503	3049	3458	3350	3211	3094
Хозяйства населения, тыс. пчелосемей	2771	2791	3220	3114	3003	2901

Например, по данным [114] в 1991 году на Кубани, входящей в пятерку регионов, на долю которых приходится треть всего объема пчеловодства страны, насчитывалось более 370 тысяч пчелосемей. Согласно данным Росстата в 2006 году их количество составляло 170,5 тысяч, а в 2016 сократилось до 158,1 тысяч [20]. Согласно [114] популяция пчел в крае продолжает сокращаться и в 2023 году их количество составляет 147 тысяч пчелосемей. Естественно, что более 90% семей содержатся в личных хозяйствах населения края. При этом ежегодный вклад отрасли в экономику региона составля-

ет около 30 миллиардов рублей, что говорит о высоких перспективах отрасли.

Сокращение пчел соответствующим образом повлияло на производство меда и других продуктов пчеловодства. Так в настоящее время в Краснодарском крае производится 3,4 тысяч тонн меда, что значительно уступает показателям советского периода развития отрасли. Также не стоит забывать, что основная задача пчеловодства не в получении продуктов питания, а в опылении сельскохозяйственных культур. Доля пчел в этом процессе составляет 85-90% и только 10-15% опыляют иные насекомые [45]. Благодаря развитию пчеловодства в советское время объем получаемого на полях урожая увеличивали на 40-50% [90]. Например, установлено, что благодаря пчелам повышается урожайность гречихи – на 50-70%, подсолнечника – на 40-50%, плодово-ягодных культур – на 50-60%. Необходимо учесть, что в крае произрастают культуры, которые и вовсе невозможно получить без опыления пчелами: огурцы, кабачки, тыквы, арбузы и дыни [97]. Помимо этого, семена растений, которые опылялись пчелами, имеют повышенные хозяйственные свойства. Так, например, у семян рапса энергия прорастания увеличивается на 11-12%, всхожесть – на 16-20%, наличие жиров в семенах – на 4-5%. При опылении яблонь увеличивается вес яблок на 26%, завязывание плодов – в 5,5 раз, а сохранение завязи – на 3,3%, улучшается вкус плодов и ягод в сравнении с культурами, где опыление пчелами не применялось [45]. Уже сейчас отмечается нехватка пчел на опыление садов, подсолнечника, рапса. В этой связи хозяйства пытаются переманить пасеки из соседних регионов, что никак не способствует решению проблемы [9]. Согласно данным [93] наибольший дефицит пчел в 2019 г. наблюдался при опылении подсолнечника (табл. 2). Следствием этого является недополучение растениеводами только Краснодарского края ежегодно более 5 млрд. руб. в год. Таким образом, развитие пчеловодства на Кубани является одной из приоритетных задач.

Таблица 2 – Обеспеченность культур пчелами для опыления в 2019 г согласно [93]

Культура	Посевная площадь в 2019 г, тыс. га	Потребность при опылении, семей пчел на 1 га	Повышение урожайности, %	Потребность в семьях пчел, тыс. шт.	Обеспеченность, %
Рапс	27,1	0,5-1,0	25,0-30,0	13,6-27,1	536,9-1069,9
Плодового-ягодные	42,5	2,0-3,0	25,0-50,0	85,0-170,0	85,6-171,1
Бахчевые	6,6	0,3-0,5	80,0-100,0	2,0-3,3	44090-72000
Подсолнечник	444,5	0,5-1,0	40,0-50,0	222,3-444,5	32,7-65,5

Для решения этого вопроса в первую очередь необходимо определить основные проблемы развития отрасли. Согласно [50] к ним можно отнести:

- отсутствие стабильного рынка сбыта готовой продукции;
- отсутствие развитого рынка средств производства;
- экологические проблемы, связанные с насыщением территорий ядохимикатами;
- низкая квалификация пчеловодов;
- болезни пчел, отсутствие четкой схемы применения ветеринарных препаратов, отсутствие квалифицированной помощи при возникновении болезней на пасеке.

Первые четыре проблемы можно решить с помощью государственной поддержки пчеловодов Краснодарского края, и такая работа уже ведется. Так, например, принят краевой закон «О пчеловодстве» [44], в котором описываются способы поддержки лиц, занимающихся пчеловодством. Имеется научная база пчеловодства, основанная на Краснополянской опытной станции и АПИ лаборатории КубГУ, в которых проводятся исследования в области технологии содержания, селекции и генетики пчел, а также обучение пчеловодов.

Проблема же с болезнями пчел в крае с каждым годом растет. Напряженная эпизоотическая ситуация создает большой ущерб пчеловодам [111].

Среди всех болезней на пасеках можно выделить следующие (рис. 1.1): варроатоз, аскосфероз, нозематоз, американский и европейский гнильцы [35, 89]. Кроме того, появилась разновидность варроатоза – Троби и с этими клещами пока не найдены эффективные способы борьбы. [106].

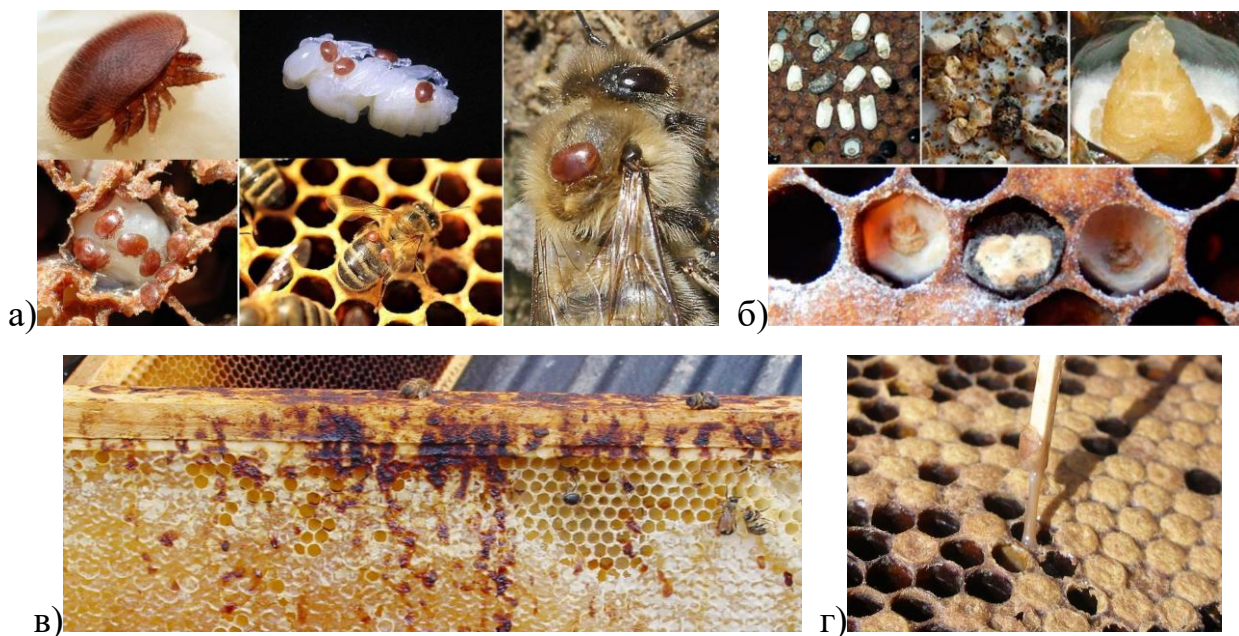


Рисунок 1.1 – Фотографии распространенных болезней пчел: а) варроатоз; б) аскосфероз; в) нозематоз; г) гнильцы

Большинство болезней пчел, на данный момент лечится различными антибиотиками. Их использование вызвано тем, что данные болезни плохо, а то и вообще не поддаются лечению с помощью обычных лекарственных средств (настоек полыни, чеснока, сульфаниламидных препаратов и т.п.) [22]. В краткосрочной перспективе их лечение антибиотиками приведет к получению необходимого эффекта. Нужно отметить, что в долгосрочной перспективе это приведет к снижению эффективности антибиотиков за счет привыкания. Это в свою очередь вынуждает пчеловодов к увеличивать вносимые дозы этих лекарств. В конечном итоге антибиотики неизменно попадают в продукты пчеловодства [3, 12, 22, 49, 101]. Также известно, что далеко не всегда пчеловоды выдерживают указанное в инструкции к препаратам время между их применением и реализацией меда [111]. Поэтому проведение

на пасеке профилактических мероприятий с помощью антибиотиков, т.е. скормливание антибиотиков здоровым семьям, только ухудшает и без того непростую ситуацию в пчеловодстве. Отчасти ситуация ухудшается ещё и потому, что, как было показано выше, основное количество пчелосемей содержится в личных хозяйствах населения. При этом единой системы правил, которая бы точно регламентировала порядок эффективных действий при борьбе с той или иной болезнью нет [92]. Это приводит к тому, что каждый пчеловод сам выбирает методику лечения пчел и не всегда полезную как для самих пчел, так и для человека. Порой и сам пчеловод выступает переносчиком болезней своих подопечных [100]. Поэтому переход к интенсивному пчеловодству на Кубани и в России невозможен без применения простых в использовании, эффективных и экологически чистых способов профилактики и лечения болезней пчел.

1.2 Существующие способы и исследования в области лечения болезней пчел

В связи с повсеместным использованием антибиотиков при лечении болезней пчел, загрязняющих продукты пчеловодства и тем самым угрожающих здоровью человека актуален поиск других экологически чистых способов лечения. Так, например, существует немедикаментозный способ, заключающийся в сочетании различных зоотехнических приемов [22]. Во время лечения, во-первых, изымают матку из больной семьи. При этом предполагается, что через 21 день при выводе новой матки пчелы вырабатывают иммунитет к заболеванию. Далее пчел переселяют в новый чистый улей. Старые ульи дезинфицируют: тщательно выскрабливают, обжигают, обрабатывают дезинфицирующим раствором. Для лечения пчел от нозематоза, вирусных заболеваний, варроатоза их подвергают термической обработке в

специальной камере при температурах 46-48°C в течение 10-12 минут. Также пчелам в зиму не оставляют падевый мед.

Как видно такие способы лечения пчел отличается большой трудоемкостью, а также опасностью, связанной с их термической обработкой. Дело в том, что высокие температуры губительны для пчел. Также вызывает сомнения воздействие температур до 50°C на возбудителя нозематоза, так как его споры погибают при более высоких температурах от 57°C до 65°C в течении 10-15 минут [14]. Стоит отметить, что существует множество различных вариантов тепловых камер для обработки пчел (рис. 1.2).

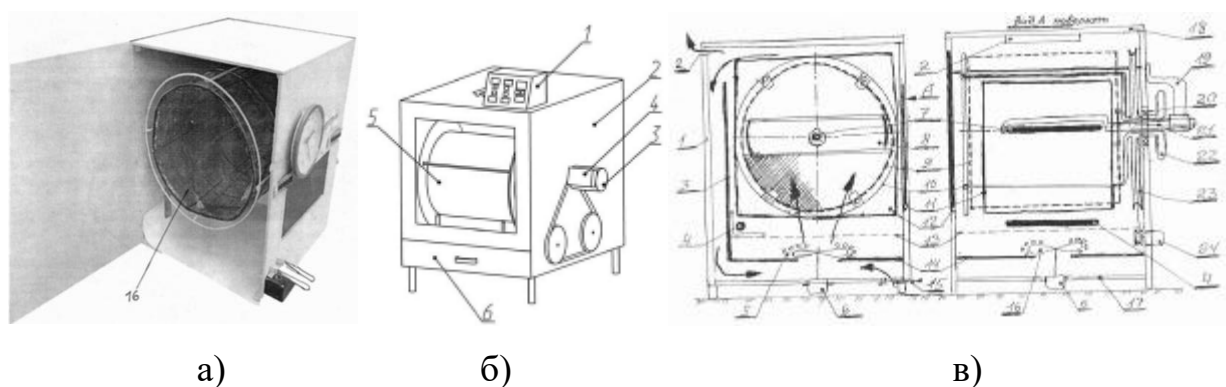


Рисунок 1.2 – Фотография и схемы различных вариантов тепловых камер для лечения пчел: а) из [84], б) из [85], в) из [79]

Некоторые из них имеют возможность проводить тепловую обработку в импульсном режиме, при котором температуры могут кратковременно достигать более 80°C [79]. Такая обработка скорее вредит и калечит семью, чем помогает полностью избавиться от того же нозематоза.

Также существуют способы, повышающие иммунитет пчел к болезням. Они основаны на добавлении в подкормки различных натуральных компонентов. Так, например, известен способ включающий скармливание пчелам в конце зимовки углеводной подкормки канди с добавлением в нее кислотного гидролизата крови убойных животных с включением молочной, бензойной и янтарной кислот, который вводят в количестве 1,5-2 л на 35 кг канди [74]. Есть способ, включающий подкормку пробиотическим препаратом [71].

Также для повышения пчелиного иммунитета и борьбы с европейским гнильцом и нозематозом может быть использован ряд растительных средств, таких как чеснок, ромашка, хвощ полевой, лук репчатый и полынь горькая [99]. Против аскофероза применяют различные водно-спиртовые экстракты на основе растительных средств: травы вероники, листа березы, травы лабазника, цветков календулы, хвои ели или пихты, травы эхинацеи, листьев эвкалипта, травы хвоща, цветков бессмертника, травы мелиссы, травы чабреца, коры осины, травы чистотела, слоевища исландского мха, чеснока [77]. Все эти способы узконаправлены, применимы в большей степени только для профилактики конкретных заболеваний пчел и зачастую используемые в них компоненты труднодоступны или же требуют специального приготовления перед применением.

Одним из основных мероприятий профилактики и борьбы с болезнями пчел является дезинфекция зараженных ульев и пчелоинвентаря. Для этого пчел из ульев изымают, их жилище разбирают и обрабатывают различными химически активными веществами, чаще всего методом опрыскивания или окуливания. Так, например, известен способ дезинфекции ульев и пчелоинвентаря с помощью диоксида серы концентрацией 120-180 г/м³ в течение 24-40 часов. Обработку проводят в закрытом помещении с работающей рециркуляционной вентиляцией 3 раза с интервалом 7 и более дней. Несмотря на высокую эффективность применения диоксида серы при борьбе с широким спектром вредителей и возбудителей болезней пчел, высокие трудозатраты и концентрации серы, длительная экспозиция и необходимость особого помещения делают такой способ, по нашему мнению, чрезвычайно трудоемким и сложным [66]. К менее сложным в использовании можно отнести способы дезинфекции ульев и пчеловодческого инвентаря путем их орошения специальными антисептиками с последующей выдержкой опрысканных частей под пленкой. Например, применяют водный раствор препарата «Новодез-50» с концентрацией 0,1-1%, с экспозицией 1-2 часа из расчета 0,25 л/м² [70], или

водный раствор мирамистина с концентрацией 1,6; 1,8; 2% с экспозицией соответственно 12, 6 и 4 часа [65]. К достоинствам данных способов стоит отнести нетоксичность используемых дезинфицирующих средств по отношению к людям и насекомым, а к недостаткам отсутствие длительного действия на болезнетворные микроорганизмы, использование только при лечении аскофероза пчел. Причем действие того же мирамистина на организм пчел ещё до конца не изучено [26]. Для борьбы не только с аскоферозом, но и с гафниозом пчел возможно использование состава, включающего в себя в следующих процентных соотношениях: перекись водорода – 20-30%, уксусную кислоту – 5,0-8,0%, воду – оставшаяся часть [57]. Для дезинфекции при гнильцовых заболеваниях, таких как американский и европейский гнильцы, используют водные растворы 4,5,6-трихлорбензоксазолона-2 в концентрации 0,005-0,05% которыми путем трехкратного опрыскивания с интервалом в 6 дней обрабатывают пчел, находящихся на соторамках, и внутреннюю поверхность ульев. Помимо этого, данные растворы вводят в состав лечебного корма на сахарном сиропе, который скармливают из расчета 50 г на одну соторамку при трехкратной раздаче с интервалом между кормлениями в 5 дней [58]. Также из [14] известны и другие похожие составы для дезинфекции:

- 10% раствор перекиси водорода с добавлением в него 0,5% муравьиной кислоты, с экспозицией 4 часа;
- 15% раствор формальдегида с добавлением в него 5% едкого натра, с экспозицией 6 часов;
- 10% раствор однохлористого йода, с экспозицией 5 часов.

Во всех вышеперечисленных способах дезинфекции в состав входят вещества токсичные, как для пчел, так и для человека. По той же причине в данной работе не рассматривается использование хлора в качестве дезинфектанта. Стоит также отметить, что, например использование того же 4,5,6-трихлорбензоксазолона накладывает ограничение на откачку меда [1].

Кардинально отличающимся от других способов дезинфекции пчелиных ульев является способ, при котором они подвергаются специальной обработке ещё на стадии своего создания. Ульям придаются устойчивые во времени бактерицидные и фунгицидные свойства. Это достигается за счет добавления в материал, из которого состоит улей наноразмерных частиц таких металлов, как золото, платина, серебро, медь [72]. Предполагается, что данные металлы препятствуют развитию патогенной микрофлоры улья и, соответственно, вызываемым ею болезням пчел. Так в качестве нанокompозитного материала авторами предлагается использование Повиаргола. Установлено, что данный материал обладает широким антимикробным эффектом по отношению к микроорганизмам и дрожжеподобным грибам [91]. Но такой способ подходит только для ульев, изготавливаемых из пенополистирола и по нашему мнению может использоваться не как основное, но как дополнительное дезинфицирующее средство.

В последние два десятилетия в пчеловодстве также широко и успешно распространяются электротехнологические способы профилактики и борьбы с болезнями пчел. Они заключаются в получении лекарственного препарата с помощью специальной установки. Как правило, это электрохимическое, электротермическое и электрофизическое оборудование. В большинстве случаев получаемый лекарственный препарат, как правило, служит и в качестве добавки в подкормку и как дезинфицирующее средство. Либо же действие оказывается за счет газации ульев вместе с пчелами. К электротехнологическим способам можно также отнести и тепловую обработку пчел, рассмотренную ранее.

Одним из известных электротехнологических способов является способ получения и использования растворов, обогащенных серебром в качестве внутриульевого дезинфектанта и подкормки. Доказано, что такие растворы способны вызывать гибель самых разных микроорганизмов. Ионы серебра проникают в клетки патогенной микрофлоры и разрушают их [109]. В [116]

отмечается антибактериальный эффект водных растворов и водных диализованных растворов наночастиц серебра на рост бактериальных клеток *E.coli*. Установлено, что бактериальный эффект по отношению к кишечной палочке наблюдается при использовании 3, 2, 1 %-х водных растворов и водных диализованных растворов наночастиц серебра (табл. 1.3).

Таблица 1.3 - Антибактериальный эффект водных дисперсий наночастиц серебра на клинические штаммы *E. coli* [116]

Опытные растворы	Контроль	3 %	2 %	1 %	0,5 %	0,25 %	0,125 %
	Число колоний						
Водный ($C_{Ag} = 3,9$ мМ, $C_{АОТ} = 37$ мМ)	685,0 ± 58,7	-	-	-	3,2 ± 1,1	72,1 ± 24,8	198,0 ± 46,3
Водный диализованный ($C_{Ag} = 4,3$ мМ, $C_{АОТ} = 5$ мМ)	820,6 ± 81,2	-	-	-	25,4 ± 7,3	241,7 ± 79,1	707,0 ± 76,3

В работе [30] авторами утверждается, что при использовании серебряной воды производство меда на пасеках увеличивается на 10-15%, а подверженность болезням пчел сокращается на 20-30%. Разработаны и получены свидетельства на установки для получения растворов с необходимыми параметрами для использования в пчеловодстве [29, 82, 83]. Такие установки основаны на процессе электролиза воды и выполнены в виде корпуса, в котором размещаются два электрода: серебряный и стальной. Основным требованием является выполнение серебряного электрода из чистого серебра во избежание попадания в воду ненужных примесей. Данные установки, нам не удалось найти в продаже, но на рынке существует широкий ряд бытовых установок, подходящих для применения в пчеловодстве, к тому же простота их конструкции позволяет легко повторить данные устройства в домашних условиях (рис. 1.3).

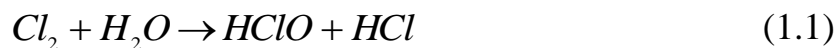


Рисунок 1.3 – Внешний вид бытовых приборов для насыщения воды ионами серебра методом электролиза: а) Невотон; б) Серебрин; в) Сильва-936

Основным и существенным недостатком применения данных устройств в пчеловодстве является возможность попадания частиц серебра в продукты пчеловодства и с ними в организм человека. Исследований по остаточному серебру в улье и продуктах пчеловодства после обработки нами не были найдены, а значит гарантировать безопасность применения такой воды на пасеке несмотря на ее положительный эффект на данный момент невозможно.

Другим электротехнологическим способом нетоксичным и имеющим широкий спектр воздействия на патогенную микрофлору является способ обслуживания пчел предложенный в [60]. В основе способа лежит установка схожая по конструкции с установками для получения серебряной воды, т.к. принцип ее действия основан на всё том же процессе электролиза, но уже диафрагменного. Наличие полунепроницаемой диафрагмы между электродами позволяет получить из исходной воды два раствора с низким (анолит) и высоким (католит) уровнем pH. Получаемый раствор анолита является отличным дезинфектантом и широко используется в сельском хозяйстве: при выращивании телят, для предпосевной обработки семян, приготовления силоса, дезинфекции помещений и оборудования, приготовления гербицидов, обработки яиц [7, 8, 27, 28, 39, 51, 55, 80, 104,]. Его дезинфицирующие свойства объясняются тем, что в воде всегда есть небольшое количество ионов

хлора (Cl), либо же их увеличивают, добавляя в исходную воду ($NaCl$). Благодаря этому в анодной камере образуются такие активные дезинфектанты, как соляная кислота HCl , хлорноватистая кислота $HClO$ и гипохлорит ионы ClO^- :



Получаемый катодит напротив является хорошим биостимулятором [56, 76, 78].

На рынке существует большое количество доступных для пчеловодов электролизеров диафрагменного типа. Как правило, это бытовые непроточные установки типа «Ива», «Мелеста» и т.д. (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Фотографии бытовых непроточных диафрагменных электролизеров воды: а) «Ива», б) «Мелеста»

Согласно [60] профилактику болезней пчел осуществляют путем получения анолита с рН 5,0-8,2 и окислительно-восстановительным потенциалом 250-900 мВ. С помощью диафрагменного электролиза водного раствора хлорида натрия $NaCl$ с концентрацией 0,2 – 5,0 г/л получают раствор с высоким содержанием ионов хлора. Анолит добавляют в корм или воду и его количество в них должно составлять 20-60%. Профилактику проводят в течение 1-3 недель. Одновременно с этим проводят обработку пчел и сотов путем мелко-

капельного орошения этим же раствором в количестве 15-20 мл на одну рамку. Орошение проводят 3-5 раз за одну процедуру с периодичностью 5-6 дней. При лечении болезней пчел в корм или воду добавляют католит с рН 7,5-9,5 и окислительно-восстановительным потенциалом от -250 до -550 мВ. По всей видимости, такой подход авторов позволяет избежать солевого токсикоза у пчел, который наблюдается при скармливании или даче им воды с содержанием поваренной соли более 0,5% [6]. Дело в том, что при электролизе воды католит ещё более насыщается солями по сравнению с исходной водой, а анолит напротив обессоливается.

Для дезинфекции при лечебных мероприятиях используется анолит из воды с концентрацией $NaCl$ 2,5 – 5,0 г/л для получения большего количества хлорсодержащих соединений. Обработка ульев производится после их механической очистки с экспозицией 3 часа. Последующее проветривание и сушка ульев и соторамок осуществляется в течении суток. Такой способ обслуживания пчел в результате их болезни нельзя назвать простым, но он эффективен. Проведенные авторами эксперименты показали, что при заражении пчел нозематозом анолит имеет почти такое же действие, как и антибиотик фумагилин (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Гибель пчел от нозематоза при использовании разных добавок в подкормки [60]

№ группы	Добавки в корм	Гибель пчел после инвазии	
		Через 1 неделю	Через 3 недели
1	Анолит	25	50
2	Фумагилин	25	55
3	Сахарный сироп без добавок	50	65

Эффективность снижения микробной обсемененности с помощью анолита также подтвердилась при лечении американского гнильца, вызываемого бактерией *Bacillus larvae* и аскофероза вызываемого грибом *Ascospaera apis* (табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Результаты исследования эффективности использования анолита в качестве дезинфектанта при лечении американского гнильца и аскофероза [60]

Тест культуры и используемое дезинфицирующее средство	Концентрация микробных клеток, м.кд/г		Эффективность, %
	До опыта	После опыта	
Анолит Bacillus larvae Ascospaera apis	$2 \cdot 10^9$	нет	100
	$2 \cdot 10^4$	нет	100
Перекись водорода + муравьиная кислота + однохлористый йод Bacillus larvae Ascospaera apis	$2 \cdot 10^9$	еденич. колонии	90
	$2 \cdot 10^4$	еденич. колонии	90
Контроль Bacillus larvae Ascospaera apis	$2 \cdot 10^9$	характерный рост	0
	$2 \cdot 10^4$	характерный рост	0

Авторами [60] доказано, что анолит в 2 раза эффективнее применения антибиотиков при лечении смешанных заболеваний пчел (аскосфероз+американский гнилец и нозематоз+американский гнилец). От групп, которые лечились анолитом было получено 40-45 кг меда, что соответствовало результатам, полученным от контрольных здоровых групп пчел. От групп, лечившихся антибиотиками (тетрациклин, нистатин, фумагилин) получили 20-22 кг меда. Что ещё раз подтверждает, что в настоящий момент существуют эффективные немедикаментозные способы лечения пчел, а применение антибиотиков наносит вред, как минимум производительности пасеки, а максимум здоровью пчел и людей.

Также известен способ дезинфекции ульев и соторамок от варроатоза после зимовки путем их выдерживания в анолите с содержанием *NaCl* 0,8-1,5 г/л, имеющим температуру 30-45°C в течении 30-45 минут [75]. Но на наш взгляд, такой способ обработки не подходит для деревянных ульев, т.к. чрезмерное, хоть и краткое увлажнение такого материала приводит к его постепенному разрушению. Имеются также противоречивые данные по приме-

нию анолита против варроатоза методами подкормки, орошения и вливания в улочки [23].

Таким образом, применение электроактивированных растворов, в частности анолита является экологически безопасным, как для пчел, так и для человека. Его применение эффективно против бактериозов и микозов пчел. К недостаткам способа следует отнести следующее: трудоемкость и слабая эффективность при борьбе с варроатозом и вирусными заболеваниями.

Известны способы, при которых проводят лечение и профилактику озоном. Это газообразное вещество с характерным острым запахом. Озон является сильным дезинфектантом и эффективно разрушает болезнетворные микроорганизмы за счет их окисления (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Выживаемость тест культур при воздействии на них озоном [4]

Концентрация озона, мг/м ³	Экспозиция, мин											
	2,5	5,0	7,5	10,0	20,0	30,0	2,5	5,0	7,5	10,0	20,0	30,0
	Шигеллы (<i>Sh. sonnel</i>)						Сальмонеллы (<i>S. java</i>)					
5	–	0,81	–	0,56	0,24	0,06	–	0,78	–	0,74	0,57	0,37
15	–	0,71	–	0,21	0,00	0,00	–	0,66	–	0,49	0,00	0,00
25	0,47	0,10	–	0,00	0,00	0,00	0,51	0,09	–	0,01	0,00	0,00
35	0,40	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,08	0,002	0,00	0,00	0,00
45	0,26	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,02	0,001	0,00	0,00	0,00
	2,5	5,0	7,5	10,0	20,0	30,0	2,5	5,0	7,5	10,0	20,0	30,0
	Стафилококк (<i>St. aureus</i>)						Антропоид (<i>B. cereus</i>)					
5	–	0,68	–	0,41	0,32	0,21	–	0,55	–	0,21	–	0,08
15	–	0,65	–	0,19	0,03	0,00	–	0,53	–	0,14	–	0,03
25	0,41	0,28	–	0,05	0,00	0,00	0,64	0,36	–	0,03	0,01	0,00
35	0,40	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,28	0,07	0,01	0,00	0,00
45	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,11	0,01	0,00	–	0,00
	2,5	5,0	7,5	10,0	20,0	30,0	2,5	5,0	7,5	10,0	20,0	30,0
	Кишечная палочка (<i>E. coli</i>)						Дикие дрожжи, молочно- и уксуснокислые бактерии (<i>Micrococcus</i> , <i>Sarcinia</i> , <i>Lactobacillus</i>)					
5	–	–	1,00	0,93	0,85	0,39	–	1,00	–	1,00	0,90	0,63
15	–	–	1,00	0,56	0,37	0,00	–	1,00	–	0,71	0,40	0,00
25	0,9	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00	0,53	0,27	–	0,07	0,00	0,00
35	0,15	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00	0,44	0,20	0,11	0,00	0,00	0,00
45	0,1	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00

При комнатной температуре и выше он достаточно нестабилен и легко разрушается, образуя высокоактивные атомы кислорода, из которых он состоит (химическая формула озона – O_3). В сельском хозяйстве он используется для обеззараживания воды, хранения продуктов, дезинфекции помещений, тары, инвентаря, обработки семян, кормов для животных, стимулирования роста растений, также он получил распространение в медицине, в пищевой и легкой промышленности [24, 117]. Высокие окислительные свойства озона позволяют ему не только разрушать клеточные стенки бактерий, но и структурные единицы вирусов гепатитов Эбола и по некоторым данным его применение играет положительную роль в терапии всем известного COVID-19 [2, 95]. Кроме этого, озон разлагает токсины и эффективно уничтожает запахи [95]. Данный газ получают с помощью специальных устройств, называемых озонаторами. Их принцип действия заключается в получении озона с помощью разрядов между электродом и диэлектрическим барьером или между двумя диэлектрическими барьерами (рис. 1.5).

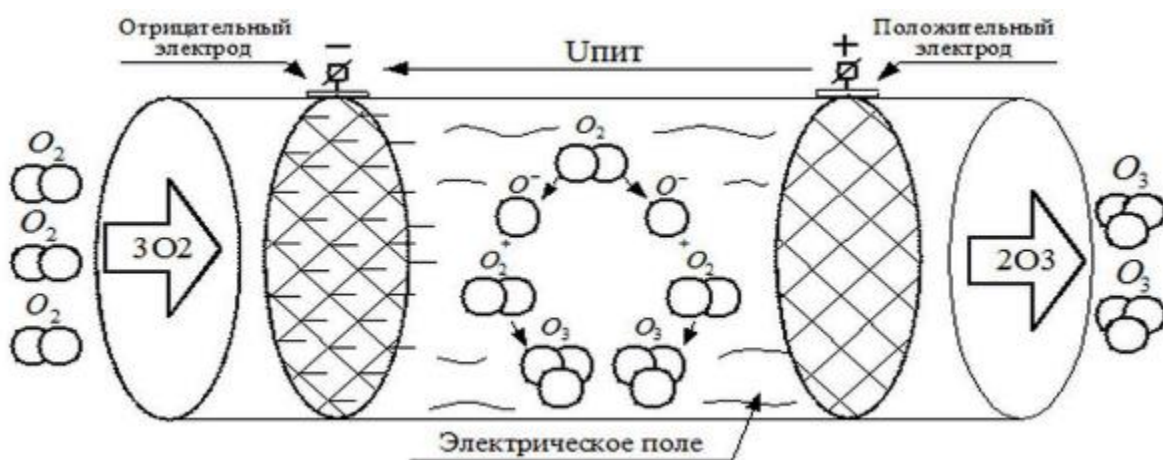


Рисунок 1.5 – Принцип работы озонатора из [24]

В результате разряда в воздушном пространстве между диэлектрическими барьерами протекает следующая реакция образования озона:

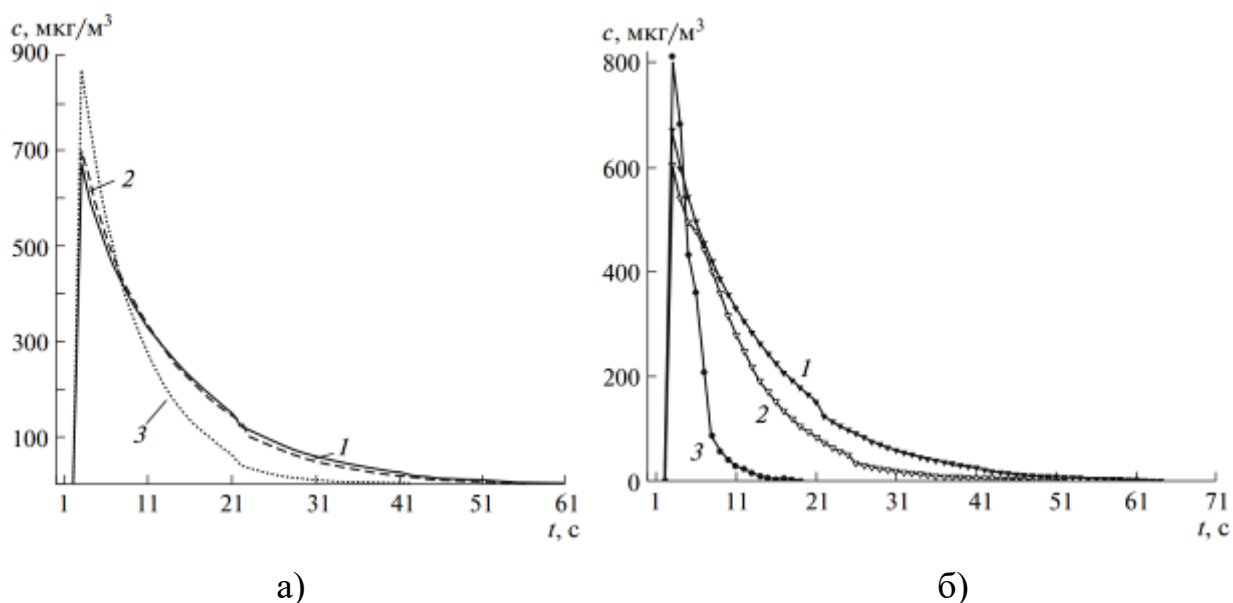


Сильные окислительные свойства озона позволяет существенно расширить эффективность анолита. Так в [69] в борьбе с варроатозом пчел предлагается использовать опрыскивание рамок водным раствором анолита предварительно барботированного озоном концентрацией 5 г/м^3 в течение 30 минут. Требуемое количество раствора на 1 рамку составляет 10-12 мл. Однако в [73] заявляется, что при таких параметрах не достигается необходимый акарицидный эффект и для этого авторы увеличивают концентрацию озона при барботаже анолита до 15 г/м^3 , а время уменьшают до 12 минут. При этом на одну рамку достаточно 6-8 мл такого раствора. При таких параметрах эффективность обработки составляет более 90%, а индекс встречаемости клещей Варроа на пчелах составляет около 1%. Авторами установлено, что озон вызывает ожог слизистых оболочек присосок клещей, что приводит к тому, что они не удерживаются на пчелах и падают на дно улья, где и погибают от голода.

Озон, как известно, очень плохо растворяется в воде [18]. Поэтому чтобы получить необходимый эффект от связки «анолит-озон» при лечении того же варроатоза, как было показано выше, требуются очень высокие концентрации газа. Этот факт, а также трудоемкость обработки ульев анолитом делают нецелесообразным применение таких больших концентраций озона. На наш взгляд, гораздо эффективнее использовать сам озон для дезинфекции ульев, при этом: улей не увлажняется; не разбирается; озон проникает во все трудноступные места улья; газ в отличие от анолита может использоваться не только для лечения бактериальных заболеваний, но также вирусных и инвазионных.

Стоит отметить, что при всех достоинствах озона он обладает единственным недостатком, который является следствием его высоких окислительных свойств – в высоких концентрациях он опасен для человека. Предельно допустимая концентрация озона по санитарным нормам, принятым в России, составляет в воздухе рабочей зоны $0,1 \text{ мг/м}^3$ [13]. Впрочем, данный

недостаток компенсируется сильной нестабильностью газа. На разложение озона действует температура, влажность воздуха. На рис. 1.6 а показаны кривые разложения газа в зависимости от влажности воздуха, а на рис 1.6 б в зависимости от насыщения воздуха аэрозолями различной дисперсности. Опыты проводились в реакционной камере объемом $0,048 \text{ м}^3$ из полиметиметакриалата [25].



1 – исходный воздух с относительной влажностью 40%; 2 – микроаэрозоль;
3 – наноаэрозоль.

Рисунок 1.6 – Графики разложения озона в воздушной среде при температуре 20°C и давлении 750 мм рт. ст. [25]: а) в воздухе при разной влажности: 1 – 40%; 2 – 70%; 3 – 100%; б) в воздухе при его различной дисперсности водным аэрозолем и в его отсутствие.

Как видно из представленных графиков (рис. 1.6 а) $0,7-0,9 \text{ мг}/\text{м}^3$ озона разлагается менее чем за 1 минуту, увеличение гетерогенной составляющей путем добавления водной поверхности в виде аэрозолей ускоряет процесс распада газа в 2-5 раз (рис. 1.6 б). Объем используемой в экспериментах камеры сопоставим с ульем на 10 рамок. Но при этом пчелиный улей содержит больше поверхностей для разложения в виде соторамок и самих

пчел. Учитывая также внутриульевой воздухообмен и дыхание пчел можно заключить, что озон достаточно быстро распадается после отключения подачи в улей. Таким образом, применение этого газа в пчеловодстве безопасно при отсутствии пчеловода во время обработки, что решается установкой таймера на генераторе озона.

Что касается здоровья самих пчел, то в результате исследования микрофлоры кишечного тракта медоносных пчел карпатской породы до и после озонирования И.В. Сердюченко доказано, что при озонировании ульев достигаются наиболее благоприятные условия для увеличения медопродуктивности пчелиных семей [94].

Таким образом, на сегодняшний день можно представить следующую классификацию способов профилактики и лечения пчел (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Классификация способов профилактики и лечения пчел.

Проведенный литературный анализ показал, что экологически чистым и безопасным для пчел и человека является использование озона на пасеке. При его применении на пасеке не требуется открывать или разбирать ульи, тем самым мешая пчелам работать. Достаточно подвести заранее в улей воздухопровод для подачи озона. Данный газ позволяет проводить:

- стимуляцию весеннего развития пчелиных семей в малых концентрациях [47];
- профилактику и лечение бактериальных заболеваний, например, таких распространенных на пасеках, как американский и европейский гнильцы [98];
- профилактику и лечение микозов пчел, например аскофероза [64];
- профилактику и лечение вирусных заболеваний пчел, например, мешотчатого расплода [62];
- профилактику и лечение инвазионных заболеваний, например варроатоза [67];
- борьбу с восковой молью [61].

Помимо этого озон благоприятно влияет на климат внутри улья, снижает влажность в нем и тем самым экономит силы пчелиной семьи. Также согласно исследованиям проведенным в [110] озон может использоваться для консервации пчелиной обножки.

Но несмотря на доказанную высокую эффективность озона в пчеловодстве, на сегодняшний день нет единой технологии его применения. Каждый пчеловод либо изобретает озонатор и режимы обработки пчел озоном самостоятельно, либо же покупает китайские озонирующие установки и основываясь на разрозненных статьях пытается вести профилактические и лечебные мероприятия. Такой порядок дел не всегда ведет к получению положительного эффекта ввиду несоблюдения необходимых и достаточных параметров и режимов озонирования. Поэтому

следует продолжать проводить анализ озонных технологий, обосновывать параметры и режимы работы озонирующих установок в пчеловодстве.

1.3 Состояние развития озонных технологий в пчеловодстве

Развитием озонных технологий, а также технологий переработки продуктов пчеловодства в нашей стране занимается множество НИИ и учебных заведений. Среди них можно выделить: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (г. Москва), РГАТУ имени П. А. Костычева (г. Рязань), ВГАУ имени Императора Петра I (г. Воронеж), БашГАУ (г. Уфа), КубГУ, КубГАУ имени И. Т. Трубилина (г. Краснодар) и др. Первые патенты по использованию озона в пчеловодстве датированы концом прошлого века и посвящены использованию данного газа для дезинфекции перги и перговой суши [59, 86].

Большой вклад в развитие и внедрение озонаторов в пчеловодстве внесли ученые Кубанского ГАУ. Так в работах Д.А. Овсянникова было предложено использовать газ для стимуляции весеннего развития пчел [48]. Установлено, что озонирование ульев с концентрацией газа 32 мг/м^3 в течении суток на протяжении 24 дней с периодичностью в сутки позволяет улучшить весеннее развитие пчелиных семей на 39%. Помимо этого, автором найдены параметры и режимы обработки пчел при их заболевании аскоферозом (рис. 1.8). Согласно данным автора для профилактики и лечения аскофероза концентрация озона должна составлять 250 мг/м^3 , экспозиция 1 час, двукратно с периодичностью 7 дней. При тяжелом течении болезни концентрация газа должна составлять в 2 раза больше – 500 мг/м^3 , экспозиция 1 час, четырехкратно с периодичностью 7 дней.

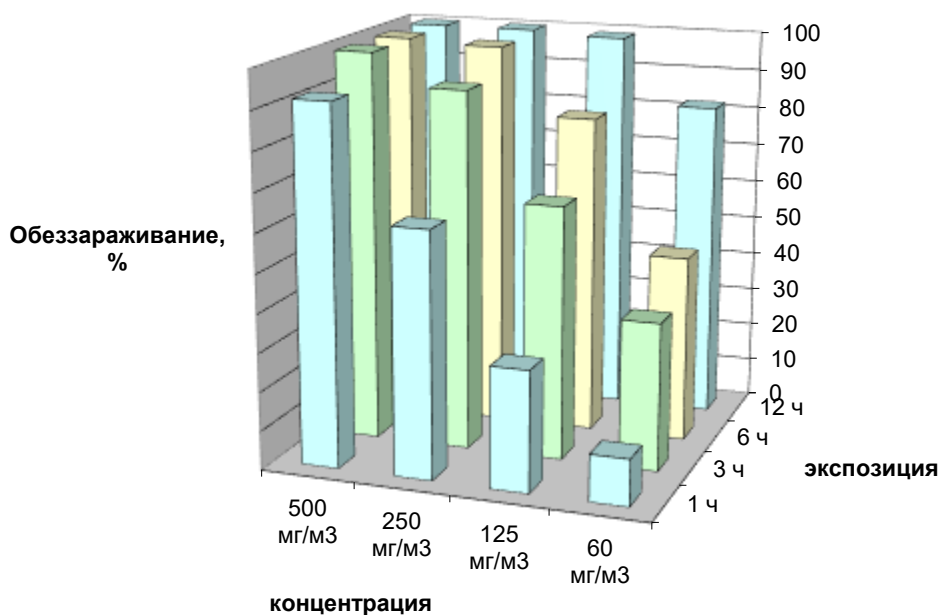


Рисунок 1.8 – Диаграмма влияния концентрации и экспозиции озонирования на степень обеззараживания аскофероза пчел [47].

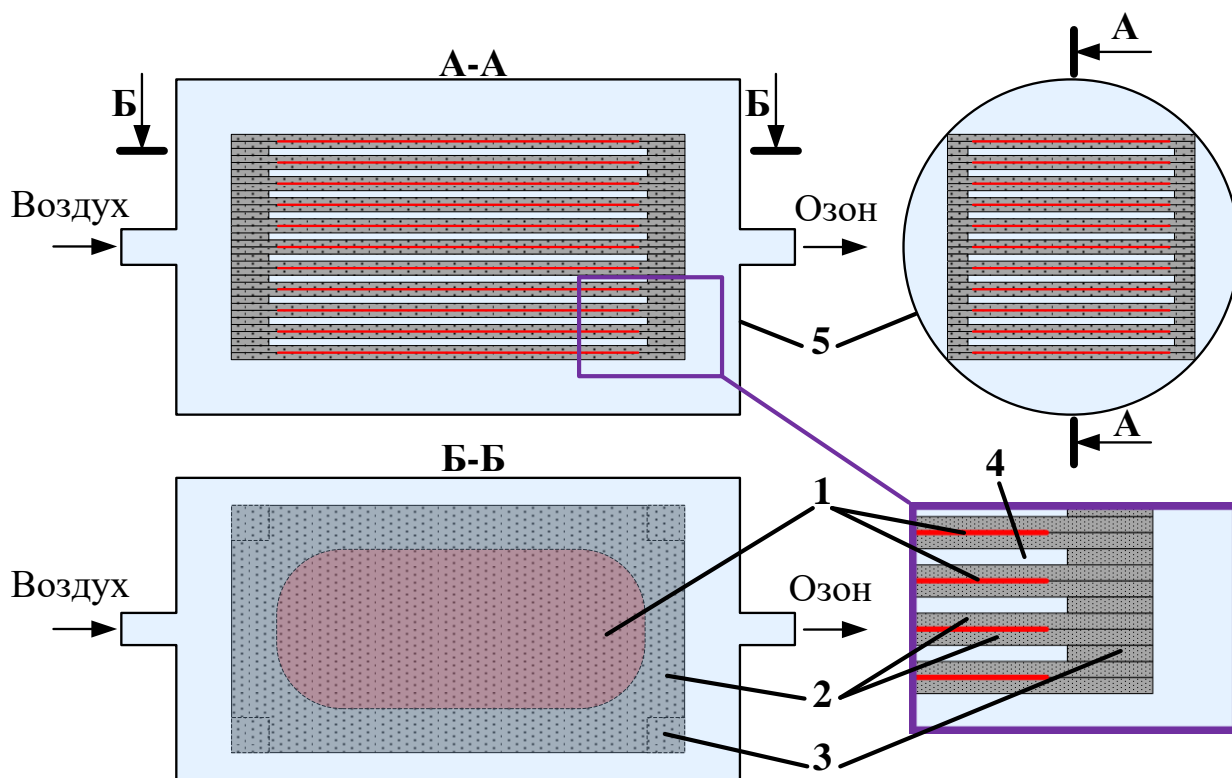
В работе также был разработан озонатор позволяющий обрабатывать одновременно 4 пчелиных семьи (рис. 1.9). Стоит отметить, что данные исследования проводились непосредственно на пасеке, и оценивались по результатам осмотра пчелиных ульев и семей, что могло привести к сильным погрешностям. Так, известны исследования влияния озоновоздушной смеси на аскофероз пчел с ещё большей дозой обработки $320 \text{ мг}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ (концентрация озона – $20 \text{ мг}/\text{м}^3$, время обработки – 16 часов) [5]. При этом в исследовании говорится о том, что в результате такой обработки погибает 90% возбудителей аскофероза. Существуют также исследования в которых упоминается положительный эффект на конидии грибов ещё меньшей дозой чем, в предыдущих работах – $500 \text{ мг}\cdot\text{мин}/\text{м}^3$ [11] Такой разброс у разных авторов в дозах озона при исследовании его влияния на микозы пчел требует уточнения параметров обработки.



Рисунок 1.9 – Фотография процесса озонирования разработанным Д.А. Овсянниковым [47]

Используемые Д.А. Овсянниковым в своих исследованиях озонаторы конструктивно представляют из себя разрядное устройство пластинчатого типа, заключенное в цилиндрический корпус. Разрядное устройство состоит из: электродов, выполненных из фольги или алюминия; диэлектрических барьеров выполненных, чаще всего из стекла толщиной 2,3 мм; воздушного (разрядного) промежутка, который формируется вставками из диэлектрического материала в качестве которого, как правило, используется стекло той же толщины, что и диэлектрические барьеры (рис. 1.10 и 1.11).

Регулирование производительности озонатора в зависимости от режима лечения пчел осуществлялось путем изменения питающего напряжения, подаваемого на электроды установки от 7,5 до 15 кВ. В работе нет данных о том, как будет изменяться производительность озонатора в зависимости от количества ульев.



1 – электрод; 2 – диэлектрический барьер; 3 – диэлектрические элементы, формирующие разрядный промежуток; 4 – разрядный промежуток; 5 – корпус озонатора.

Рисунок 1.10 – Устройство озонатора пластинчатого типа



Рисунок 1.11 – Фотография разрядного устройства озонатора пластинчатого типа используемого в озонаторах для пчеловодства

Помимо этого Д.А. Овсянниковым были получены параметры и режимы работы озонатора для борьбы с нозематозом, варроатозом, восковой молью, а также для дезинфекции пчелиных соторамок и пчелоинвентаря. На эти

исследования были получены соответствующие патенты. Так для обеззараживания пчелиных соторамок при нозематозе используют озон с концентрацией от 100 до 400 мг/м³ в течение 12 часов [63]. Для борьбы с варроатозом используют озон с концентрацией от 500 до 2000 мг/м³ со временем обработки от 20 до 120 мин, обрабатывают четырехкратно с интервалом до 7 дней [67]. Автором отмечается, что озон с помощью гибкого шланга подается внутрь улья через верхнюю крышку. Это связано с тем, что озон тяжелее воздуха и такая схема подачи позволяет проводить обработку равномернее, чем при подаче озона через нижний леток. Для борьбы с восковой молью в сотохранилище подаются концентрации от 1000 до 4000 мг/м³ [68].

Дальнейшее развитие озонных технологий в пчеловодстве получило в работах ученика Д.А. Овсянникова – С.А. Николаенко. Им установлен факт дестабилизации концентрации озона внутри улья в зависимости от температуры наружного воздуха и подачи озона в них (рис. 1.12).

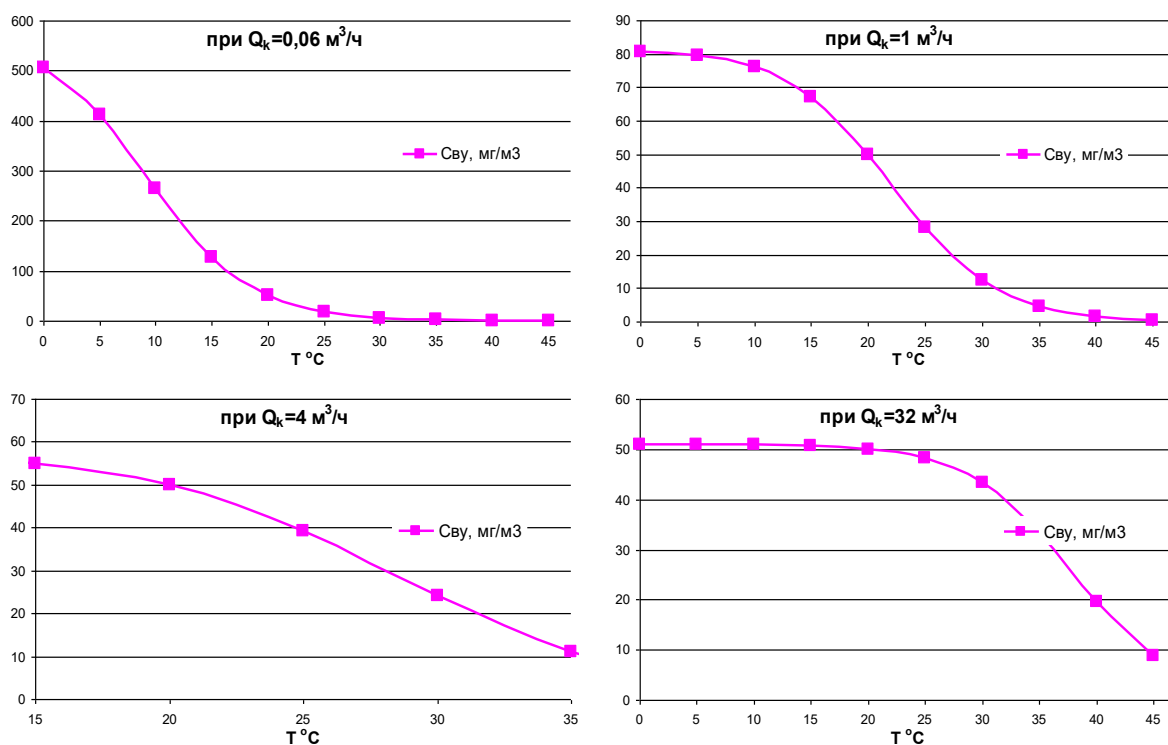
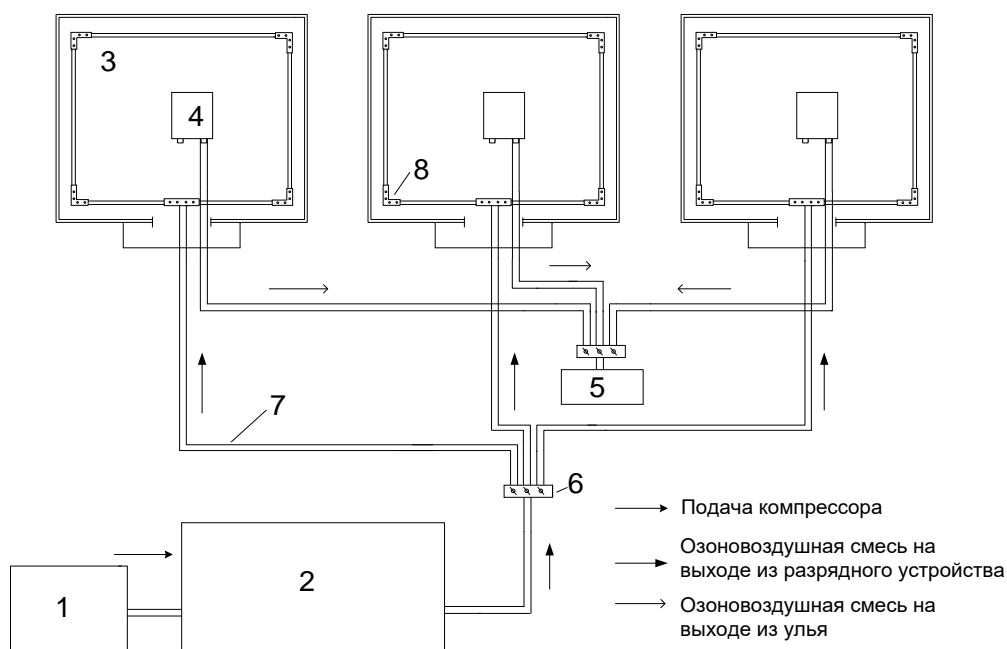


Рисунок 1.12 – Графики зависимостей концентрации озона в воздухе внутри улья от температуры наружного воздуха при подачах озоновоздушной смеси 0,06; 1; 4; 32 м³/ч [42].

Для решения данной проблемы автором разработана система стабилизированного озонирования, для лечения бактериозов пчел позволяющая обрабатывать одновременно от 1 до 30 пчелиных ульев (рис. 1.13). Также установлено, что для лечения бактериозов пчел процесс озонирования должен вестись 30 минут с концентрацией 50 мг/м^3 .



1 – компрессор, 2 – электроозонатор, 3 – однокорпусный 12-рамочный дадановский улей, 4 – вытяжной насос, 5 – измеритель концентрации озона «Циклон 5.1», 6 – пневмораспределительный кран, 7 – гибкий трубопровод, 8 – рамка из гибких трубопроводов.

Рисунок 1.13 – Технологическая схема системы стабилизированного озонирования пчелиных семей [42]

В разработанной системе предусмотрены рамки, из гибких трубопроводов позволяющие избежать подачи озона в одну точку, как в работах Д.А. Овсянникова. Это способствует увеличению равномерности распределения озона внутри улья. Экспериментальные исследования системы стабилизированного озонирования проводились на одинаковых 12-ти рамочных дадановских ульях. В работах С.А. Николаенко принято серьезное допущение для частного случая - все ульи приняты одинаковыми, что далеко не всегда справедливо для условий пасеки. За счет этого в работе предполагается, что вре-

мя озонирования ульев также будет одинаковым. Так в математической модели системы автоматического регулирования (САР) концентрацией озона в ульях, разработанной автором производительность озонатора G_{O_3} рассчитывается по следующей формуле:

$$G_{O_3} = k_c C_{O_3} [Q_{B1} + N_v V_v \cdot (a_{BV1} + a_{BV2} e^{a_{BV3}(t_{B1} + a_{BV4})})] \quad (1.4)$$

где k_c – поправочный коэффициент; C_{O_3} – концентрация озона, мг/м³; Q_{B1} – подача воздуха в озонатор и она же подача озоновоздушной смеси в улей/ульи, м³/ч; N_v – количество ульев; V_v – объем внутриульевого воздуха, м³; $a_{BV1} \dots a_{BV4}$ – эмпирические коэффициенты; t_{B1} – температура наружного воздуха, °С.

В (1.4) учитывается объем внутриульевого воздуха V_v принимаемый одинаковым для всех ульев, что, по нашему мнению, неверно. Это связано с тем, что на пасеке могут быть различные ульи по конструкции, с разным количеством рамок и соответственно с разным внутриульевым объемом. В таком случае время обработки для каждого улья должно быть разным. В работе также не сказано про потери напора по длине трубопроводов, т.к. длины гибких шлангов, подводимых к ульям, могут быть значительными и разными по сечению и длине. Эмпирические коэффициенты ($a_{BV1} \dots a_{BV4}$), учитывающие внутриульевой воздухообмен также справедливы для конкретной конструкции улья.

Стоит также отметить, что в разработанной С.А. Николаенко математической модели разрядного устройства электроозонатора скорость воздуха рассчитывается, только в одном канале разрядного устройства:

$$v_{B2} = v_{B1} \frac{\rho_{B1}}{\rho_{B2}} = \frac{Q_B}{S_B} \frac{\rho_{B1}}{\rho_{B2}} \quad (1.5)$$

где v_{B1} и v_{B2} – скорости воздуха на входе и выходе из канала разрядного устройства, м/с; ρ_{B1} и ρ_{B2} – плотность воздуха на входе в канал разрядного

устройства и на выходе из него соответственно, кг/м^3 ; Q_B - подача компрессора, $\text{м}^3/\text{ч}$; S_B - площадь сечения воздушного канала, м^2 .

Разрядные устройства озонаторов пластинчатого типа, разрабатываемые в Кубанском ГАУ, как правило, имеют порядка 10 каналов, то в формуле (1.5) некорректно учитывать подачу компрессора в расчете на 1 канал. Проведенное нами моделирование методом конечных элементов, результаты которого показаны на рис. 1.14 в качестве примера, показывает, что скорость в каналах разрядного устройства может значительно отличаться в зависимости от их удаления от входного патрубка. По нашему мнению, решить задачу распределения скоростей воздуха в озонаторе аналитически является сложной задачей и гораздо эффективнее будет воспользоваться методами численного решения с помощью современных программных продуктов.

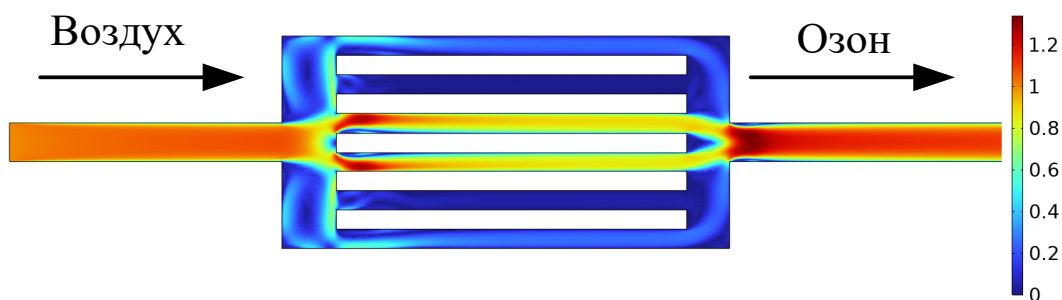


Рисунок 1.14 – Результаты моделирования распределения озона в улье внутри пластинчатого озонатора произвольных размеров

1.4 Выводы и задачи исследований

Таким образом, несмотря на проведенную работу по внедрению электроозонаторов в пчеловодстве до сих пор не решены вопросы групповой обработки ульев, что приводит к нестабильности эффекта, недополучению ульями требуемых доз газа, а в некоторых случаях к перерасходу электро-

энергии. Требуются дополнительные исследования, направленные на совершенствование групповой обработки ульев с помощью озонирующих установок. Для автоматизации режимов работы озонирующей установки при обработке группы ульев требуется разработка алгоритма и устройства управления данным процессом.

Имеющиеся на сегодняшний день математические и компьютерные модели озонаторов пластинчатого типа имеют ряд существенных допущений, которые не позволяют проводить их дальнейшее совершенствование и разработку новых. Данные модели, как правило являются моделями со средоточенными параметрами и не позволяют увидеть протекающие в установке динамические процессы во всех ее точках.

На сегодняшний день хорошо известны режимы работы озонаторов для стимуляции весеннего развития пчелиных семей, а также для профилактики и лечения их бактериозов. Все же ситуация с исследованием режимов работы озонаторов для лечения микозов пчел неоднозначная и требует дополнительных лабораторных исследований. Это связано с недопустимостью использования малых концентраций озона, которые могут, наоборот, способствовать стимуляции грибков. Так, например, в кишечном тракте пчел после озонирования в [94] был зафиксирован рост плесневых грибов. Большие концентрации могут привести к дополнительным энерго- и трудозатратам. Уточнение параметров и режимов работы озонатора для лечения микозов пчел расширит возможности озонаторных установок в пчеловодстве.

Проблема. Несмотря на большую работу, проделанную исследователями по внедрению озонирующих установок в пчеловодстве существующие конструкции, не учитывают изменения дозы в ульях при групповой обработке особенно при работе с ульями с разным количеством обсиживаемых пчелами рамок и различными видами ульев.

Гипотеза. Исследование физико-химических процессов в установке для групповой обработки озоном разной силы пчелиных семей позволит

определить параметры и режимы ее работы, повысит стабильность получаемого лечебно-профилактического эффекта в пчеловодстве.

Цель работы. Обоснование параметров и режимов работы установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев для повышения эффективности проведения лечебно-профилактических мероприятий на пасеке.

Задачи исследования.

1. Обосновать технологическую схему и процесс работы озонирующей установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев с разным количеством обсиживаемых пчелами рамок.

2. Разработать геометрическую модель установки для ее последующего математического описания и компьютерного моделирования физико-химических процессов в ней.

3. Разработать математическую модель, описывающую физико-химические процессы в озонаторе для ее реализации программном комплексе Comsol Multiphysics.

4. В программном комплексе Comsol Multiphysics провести компьютерное моделирование математической модели физико-химических процессов в озонирующей установке и получить ее рациональные параметры и режимы работы.

5. Разработать алгоритм и принципиальную электрическую схему управления установкой для групповой обработки озоном пчелиных ульев.

6. Изготовить установку для групповой обработки озоном пчелиных ульев, провести экспериментальные исследования по сопоставлению опытных данных с результатами моделирования.

7. Провести исследования по влиянию озона на выживаемость плесневых грибов, получить соответствующие регрессионные модели и на этой основе определить параметры и режимы работы озонирующей установки.

8. Обосновать экономическую эффективность использования установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев на пасеке.

Объект исследования — установка для групповой обработки озоном пчелиных ульев.

Предмет исследования — параметры и режимы работы установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев, зависимости влияния концентрации озона и времени обработки на выживаемость плесневых грибов.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОЗОНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ УЛЬЕВ

2.1 Разработка технологической схемы озонирования группы ульев

Анализ использования озонирующей установки при обработке нескольких ульев в предыдущей главе показал необходимость проведения дополнительных исследований. Ранней весной пчелы занимают мало рамок, к лету гораздо больше и дозы обработки озоном нужно корректировать. Кроме того, редко встречается одновременная обработка одной установкой одинаковых по силе ульев и в этом случае регулировать подачу озона становится очередной проблемой. На пасеке рядом могут находиться ульи с разным количеством корпусов и количеством занимаемых улочек пчелами (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Внешний вид пчелиной пасеки

Согласно проведенным Д.А. Овсянниковым и С.А. Николаенко исследованиям [47, 54] стимуляцию весеннего развития пчел следует проводить концентрацией 32 мг/м^3 в течение 24 часов, а профилактику и лечение бактериальных заболеваний пчел следует проводить ежемесячно в течение всего сезона работы с пчелами. При этом установлено, что для улья с 12 рамками, необходимое время одной лечебно-профилактической обработки составляет 0,5 часа, концентрация озона должна составлять 50 мг/м^3 , а подача $1 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Следовательно, можно определить необходимую массу озона на одну пчелиную рамку. Она будет являться отношением массы озона M_{O_3} , которую нужно подать в каждый из ульев в зависимости от цели проводимой обработки, на количество рамок n находящихся в них:

$$m_{1\text{рамки}} = \frac{M_{O_3}}{n} \quad (2.1)$$

где $m_{1\text{рамки}}$ – масса озона, которую должна получить 1 рамка, мг; M_{O_3} – масса озона которую должен получить улей, мг; n – количество рамок в улье, шт.

Масса озона, M_{O_3} получаемая одним ульем зависит от массового расхода озона, который, как известно, является произведением объёмного расхода (производительности компрессора) Q_k и массовой концентрации газа C_{O_3} за время обработки $T_{обр}$ и тогда:

$$m_{1\text{рамки}} = \frac{Q_k \cdot C_{O_3} \cdot T_{обр}}{n} \quad (2.2)$$

где Q_k – производительность подающего компрессора, м³/ч; C_{O_3} – концентрация озона, мг/м³; $T_{обр}$ – время обработки, ч.

Тогда, при проведении стимуляции весеннего развития пчел одна рамка должна получить озона согласно исследованиям Д.А. Овсянникова (на 12-ти рамочный улей) [47]:

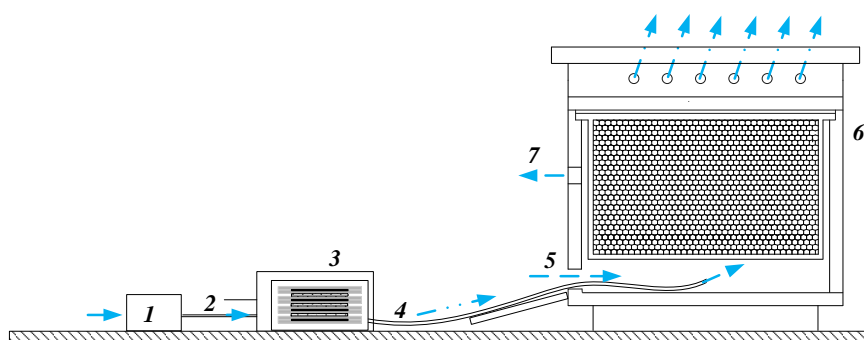
$$m_{1\text{рамки}} = \frac{Q_k \cdot C_{O_3} \cdot T_{обр}}{n} = \frac{1 \cdot 32 \cdot 24}{12} = 64 \text{ (мг)}, \quad (2.3)$$

При лечебно-профилактической обработке от бактериальных заболеваний, согласно исследованиям С.А. Николаенко [42]:

$$m_{1\text{рамки}} = \frac{Q_k \cdot C_{O_3} \cdot T_{обр}}{n} = \frac{1 \cdot 50 \cdot 0,5}{12} = 2,1 \text{ (мг)}, \quad (2.4)$$

Рассчитанное количество озона может быть подано с разной производительностью и с разной концентрацией. Это будет зависеть от параметров оборудования, входящего в состав озонирующей установки. При обработке одного улья технологическая схема процесса будет иметь вид, показанный на

рисунке 2.2. Процесс функционирования установки будет происходить следующим образом. С помощью компрессора 1 наружный воздух по магистрали 2 подается в озонатор 3. Полученная озоноздушная смесь по магистрали 4 через нижний леток 5 поступает в улей 6. В улье идет поглощение озона всеми поверхностями и пчелами с личинками. Отработанная озоноздушная смесь удаляется из улья через верхний леток 7 и вентиляционные отверстия в крышке улья. Пчелы, создавая воздухообмен, проводят перемешивание атмосферного воздуха с поступающей озоноздушной смесью.

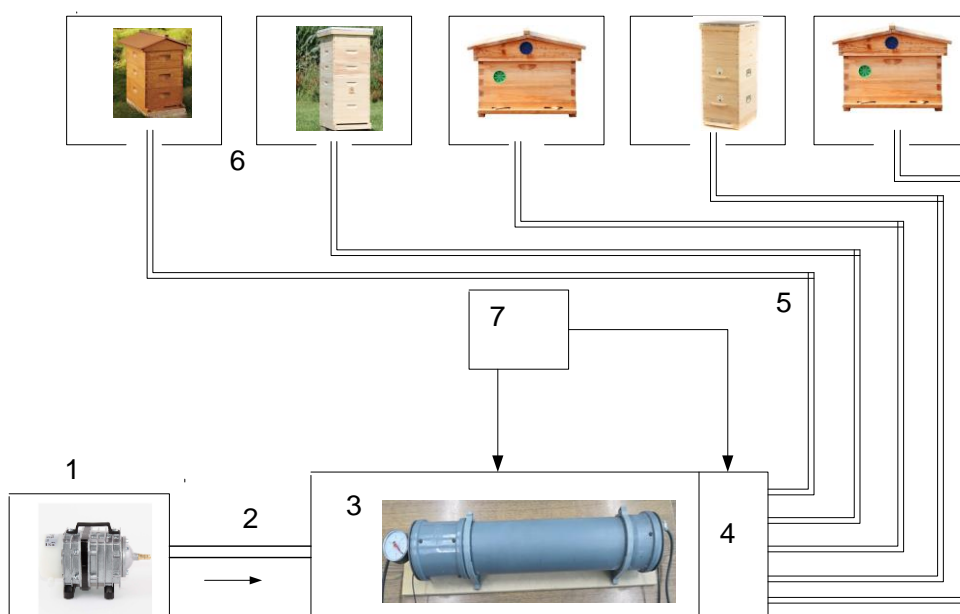


1 – компрессор; 2 – подающая магистраль воздуха; 3 – озонатор барьерного типа; 4 – магистраль озоноздушной смеси; 5 – нижний леток; 6 – улей с рамками и пчелами; 7 – верхний леток

Рисунок 2.2 – Технологическая схема озонирования одного улья

На основе опыта эксплуатации озонирующих установок нами установлено, что наиболее удобно делать озонирование одновременно 4-6 ульев. В связи с этим предлагаемая установка групповой обработки 5-ти ульев представлена на рисунке 2.3. Работа происходит следующим образом. Компрессор 1 по магистрали 2 подает атмосферный воздух под давлением в озонатор 3. На выходе озонатора устанавливается распределитель озоноздушной смеси 4, который с помощью электромагнитных клапанов может отправлять полученную смесь или во все ульи, или в каждый отдельно. По магистралям 5 озон транспортируется к ульям 6. Установка включает систему автоматического управления (САУ) 7, которая в зависимости от силы ульев (или коли-

чества рамок) отключает подачу озона в них при достижении требуемого его количества. САУ может быть реализована по одному из двух следующих вариантов. Либо она производит пересчет времени обработки после отключения отдельных ульев, с учетом изменения подачи озона в оставшиеся ульи. Либо САУ, при отключении отдельных ульев меняет подаваемую на озонатор мощность, используя ШИМ (широтно-импульсную модуляцию) подаваемого напряжения на электроды разрядного устройства. Что приводит к необходимому изменению подаваемой в оставшиеся улья концентрации озона без изменения времени их обработки.



1 – компрессор; 2 – подающая магистраль воздуха; 3 – озонатор барьерного типа; 4 – распределитель озоновоздушной смеси, с электромагнитными клапанами; 5 – подающие магистрали озоновоздушной смеси в ульи; 6 – ульи; 7 – система управления установкой

Рисунок 2.3 – Технологическая схема озонирования группы ульев

Для определения параметров озонирующей установки первоначально необходимо знать потери давления или напора во всех элементах данной системы. Это нужно сделать для правильного выбора компрессора и конструктивных параметров воздухопроводов. Создаваемый компрессором напор должен преодолеть все потери в воздухопроводной сети. Общие потери напора в

озонирующей установке можно определить, взяв за основу типовые формулы [103]. После адаптации обще принятых зависимостей к данной установке формула для определения потери напора будет иметь вид:

$$\Delta H_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n (R \cdot L + Z)_i + \Delta H_{\text{об}} + \Delta H_{\text{изб}}, \quad (2.5)$$

где R – удельные потери напора, Па/м; L – длина отдельного участка, м; Z – местные потери напора, Па; $\Delta H_{\text{об}}$ – потери напора в оборудовании (озонаторе с распределителем озонозвоздушной смеси), Па; $\Delta H_{\text{изб}}$ – избыточный напор для преодоления давления воздуха в улье, Па.

Общие потери напора складываются из потерь по длине воздуховодов и местных сопротивлений, потерь в озонаторе с распределителем смеси, дополнительных потерь на преодоление избыточного давления в улье. Установлено, что пчелы во время взятка создают максимальный воздухообмен и при этом избыточное давление может достигать 10 Па. Для преодоления этого давления на выходе из воздуховода должно быть давление превышающее это значение в 2-3 раза. Потери напора в озонаторе принимаем ориентировочно равные 500 Па (как местные сопротивления с расширением и сужением). Для расчета потерь напора в магистральных воздуховодах воспользуемся программой, размещенной в Интернете [88]. В качестве исходных данных принимаем следующие: обработка ведется 5-ти ульев, длина магистрального воздуховода от компрессора до озонатора 1 м, диаметр всех воздуховодов 8 мм, длина воздуховодов к ульям одинаковая и равна 5 м, все воздуховоды мягкие и не имеют резких поворотов, производительность компрессора 5 м³/ч, на выходе из распределителя стоят штуцеры. Результаты расчета потерь напора для входной магистрали и одной из 5-ти отводящих приведены в таблице скриншота на рисунке 2.4.

В соответствии с формулой (2.5) определим общие потери напора в установке при работе на 5 ульев:

$$\Delta H_{\text{общ}5.5} = 586 \cdot 5 + 2627 + 500 + 30 = 6087 \text{ (Па)}. \quad (2.6)$$

Аналогично произведен расчет при отключении 4 ульев и продолжении работы на один оставшийся улей:

$$\Delta H_{\text{общ}1.5} = 11822 \cdot 1 + 2627 + 500 + 30 = 14979 \text{ (Па)}. \quad (2.7)$$

Как видно из полученных результатов максимальные потери наблюдаются при работе на один улей.

Результат расчета

1. Исходные данные

Температура внутреннего воздуха (°C), "tвн":	25
Плотность внутреннего воздуха (кг/м3), "ρвн":	1.185
Коэффициент динамической вязкости воздуха (м2/с), "μ":	0.0000182352
Коэффициент кинематической вязкости воздуха (м2/с), "ν":	0.0000153940
Материал воздуховода:	Винипласт
Абсолютная эквивалентная шероховатость (мм), "βш":	0.1

2. Расчет:

№ уч.	Расход (м3/ч), L	Длина участка (м), l	Размеры сечений воздуховодов					Скорость расчетная (м/с), Vрас	Число Рейнольдса Re	Коэффициент сопротивления трению, λ	Потери давления на трение		Динамическое давление (Па), Rдин	Тип местного сопротивления	Сумма коэффициентов местных сопротивлений Σξ	Потери давления (Па)	
			Тип сечения	A/D (мм)	B (мм)	Площадь сечения заданная Fзад (м2)	Экв. диаметр (мм), Dэ				Удельные потери (Па/м), R	С учетом шероховатости (Па), Rтр				местные сопротивления Z	суммарно
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	5	1	Круглый	8	0	0.00	8.00	27.65	14369.23	0.04	2264.90	2264.90	452.98	Внезапное расширение ξ 0.8	0.80	362.38	2627.28
2	1	5	Круглый	8	0	0.00	8.00	5.53	2873.85	0.05	113.25	566.25	18.12	Внезапное сужение ξ 0.3 Внезапное расширение ξ 0.8	1.10	19.93	586.18
Итого																	3213.46

Рисунок 2.4 – Скриншот результатов расчета потерь давления

Произведем расчет потерь давления при увеличении отводящих магистралей до 10 м. В этом случае при работе на 5-ти ульях общие потери составят:

$$\Delta H_{\text{общ}5.10} = 1152 \cdot 5 + 2627 + 500 + 30 = 8917 \text{ (Па)} \quad (2.8)$$

Аналогично произведен расчет при отключении 4 ульев и продолжении работы на один оставшийся улей:

$$\Delta H_{\text{общ}1.10} = 11822 \cdot 1 + 2627 + 500 + 30 = 26304 \text{ (Па)}. \quad (2.9)$$

После получения потерь напора необходимо проверить подачу компрессора в соответствии с его QH характеристикой. Так, например если в каче-

стве компрессора принять модель BOYU ASCO-906 с максимальной производительностью $7,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и максимальным напором 125 кПа, то при магистралях по 5 метров его производительность составляет $7 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда потери становятся: при работе на 5 ульев – 11416 Па, на 1 улей – 28306 Па. Если отводящие магистрали будут по 10 метров, то при работе на один улей потери уже составят 51021 Па, что начнет приводить к снижению производительности компрессора. Таким образом, необходимо провести корректировку потерь напора и уточнить подачу озонозвоздушной смеси на выходе из воздухопроводов при последовательном их отключении в случаи обработки пчелосемей с разной силой (разным количеством рамок).

Приведенная выше аналитическая методика расчета позволяет рассчитать потери напора в озонирующей установке только лишь в первом приближении. Это связано в первую очередь с отсутствием точных потерь напора в электроозонаторе, а также, с изменением производительности и напора компрессора при отключении отдельных ульев. Еще больше будет усложняться задача, если воздухопроводы будут различной длины и разных сечений. Для того чтобы точно рассчитать потери напора, а также учесть изменение производительности компрессора во время озонирования нескольких ульев разной силы (с разным количеством рамок) необходимо использовать современные численные методы расчета. Это также позволит рассчитать поле концентраций озона внутри установки и увидеть его возможные неравномерности, что позволит усовершенствовать конструкцию озонатора.

После уточнения потерь напора и подачи озонозвоздушной смеси можно перейти к расчету времени обработки ульев. Установление времени работы на каждый улей позволит провести программирование системы управления. Произведем расчет времени работы установки при обработке 5 ульев со следующим количеством обсиживаемых пчелами рамок: 8, 12, 16, 20, 24.

В соответствии с формулой (2.2) время обработки можно определить по формуле:

$$T_{обр} = \frac{m_{1рамки} \cdot n}{Q_k \cdot C_{O_3}}. \quad (2.10)$$

В знаменателе стоит произведение производительности на концентрацию озона, что представляет собой производительность озонатора вместе с компрессором, выраженную в массовом отношении ко времени. При последовательных отключениях ульев данное произведение нужно сохранять постоянным, так как очередное перекрытие одного из отводящих воздухопроводов приводит к увеличению производительности в остальных. Одним из вариантов сохранения массовой производительности, как уже говорилось ранее, является ШИМ подаваемого напряжения на электроды озонатора. Тогда при отключениях изменение производительности с изменением концентрации озона будут сохранять постоянным массовую производительность озона. При концентрации озона 50 мг/м^3 и расходе озоновоздушной смеси $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ по одному отводящему воздухопроводу (подключены все 5 ульев) первым отключится улей с 8-ю рамками. После первого отключения произойдет изменение подводимой мощности к озонатору для сохранения массовой производительности, и так в последующем будет происходить коррекция работы озонирующей установки. Ввиду возможных технологических потерь озона в системе воздухопроводов связанных с его возможной утечкой или же распадом целесообразно увеличить рассчитанные по формулам (2.3) и (2.4) дозы озона на одну пчелиную рамку с 64 мг и 2,1 мг до соответственно 64,5 мг и 2,5 мг.

Таким образом, согласно проведенным выше расчетам дозы озона на 1 пчелиную рамку, время обработки по ульям составит для лечебно-профилактических мероприятий от бактериозов пчел:

$$T_{обр8} = \frac{m_{ул} \cdot 8}{50} = \frac{2,5 \cdot 8}{50} = 0,4(ч); T_{обр12} = \frac{2,5 \cdot 12}{50} = 0,6(ч); T_{обр16} = \frac{2,5 \cdot 16}{50} = 0,8(ч); \quad (2.11)$$

$$T_{обр20} = \frac{2,5 \cdot 20}{50} = 1(ч); T_{обр24} = \frac{2,5 \cdot 24}{50} = 1,2(ч)$$

При проведении стимуляции весеннего развития пчел:

$$T_{обр8} = \frac{m_{ул} \cdot 8}{32} = \frac{64,5 \cdot 8}{32} = 16,1(ч); T_{обр12} = \frac{64,5 \cdot 12}{32} = 24,2(ч);$$

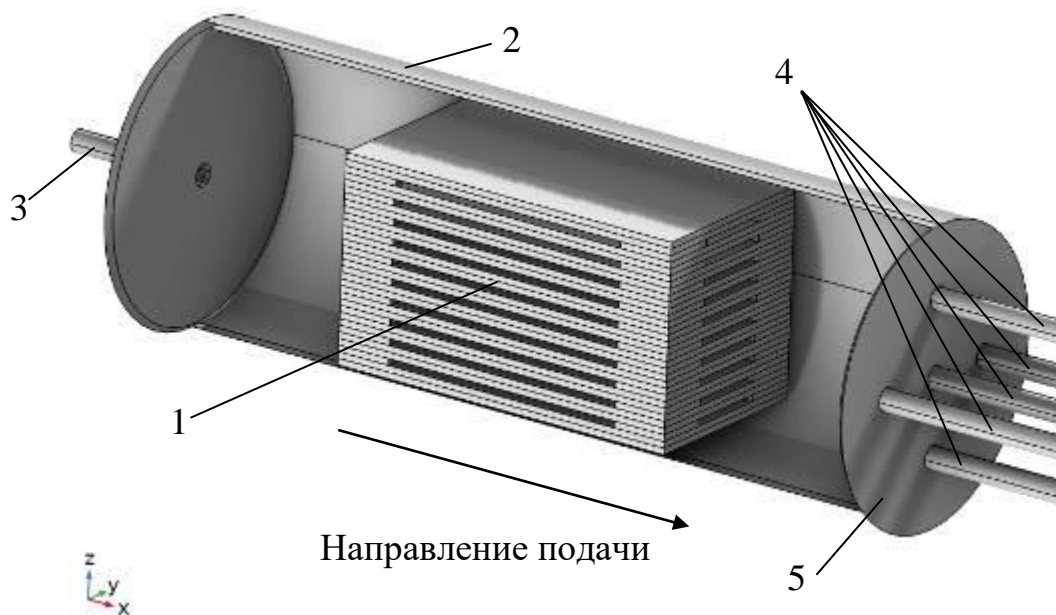
$$T_{обр16} = \frac{64,5 \cdot 16}{32} = 32,2(ч); T_{обр20} = \frac{64,5 \cdot 20}{32} = 40,3(ч); T_{обр24} = \frac{64,5 \cdot 24}{32} = 48,4(ч)$$
(2.12)

Автоматизация работы озонирующей установки будет осуществляться системой управления, представленной на рисунке 2.3. В случае использования другого варианта управления в знаменателе формулы (2.10) при отключении одного или нескольких ульев будет изменяться подача компрессора Q_k , что должно приводить к соответствующему перерасчету времени озонирования ещё обрабатываемых ульев с учетом уже полученной ими дозы. По нашему мнению, технически проще реализовать именно такой вариант работы САУ. Нужно учесть, что в независимости от принимаемого варианта исполнения САУ подачей озона в ульи необходимо провести исследования физико-химических и гидродинамических процессов в электроозонаторе с целью корректировки подачи при последовательном отключении воздуховодов, а также совершенствования параметров конструкции установки при обработке нескольких ульев.

2.2 Моделирование физико-химических процессов в озонаторе

Моделирование физико-химических процессов в озонирующей установке является сложной мультифизической задачей, так как в нее входит рассмотрение следующих составляющих: физики плазмы, химических реакций протекающих при барьерном разряде, гидродинамических процессов в каналах разрядного устройства, массопереноса образующихся веществ. Решение данной задачи возможно при использовании специализированных программных решений позволяющих совместно решать модели перечисленных физических процессов. Одним из таковых является ПО Comsol Multiphysics.

Предварительно была разработана геометрическая модель озонатора, представленная на рисунке 2.5. Подача озонозовоздушной смеси к ульям происходит по пяти воздуховодам, подключенных к выходному блоку озонатора. Такой вариант наиболее удобен по сравнению с решением, представленным в [42] в котором распределение смеси происходит с помощью коллектора установленного снаружи озонирующей установки.

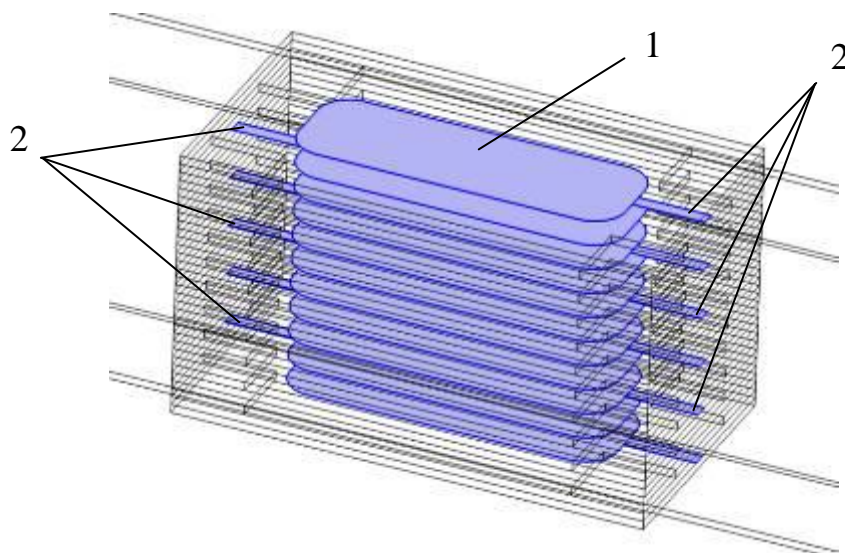


1 – разрядное устройство; 2 – корпус; 3 – патрубок для подвода воздуха от компрессора, 4 – воздуховоды для подачи озонозовоздушной смеси к ульям; 5 – выходной блок озонатора

Рисунок 2.5 – Изображение геометрической модели озонатора с разрядным устройством барьерного типа, построенное в ПО Comsol Multiphysics

Основные элементы представленной на рисунке 2.5 конструкции разрядного устройства совпадают с вариантами, изображенными на рисунках 1.9 и 1.10. Отдельные плоскости, соответствующие стенкам корпуса установки на рисунке 2.5 были убраны из изображения для показа внутреннего устройства рассматриваемой модели. Размеры разрядного устройства составляют 0,0736x0,07x0,13 м. Каждому элементу геометрической модели были заданы свойства соответствующих материалов (например, относительная диэлектрическая проницаемость стекла $\varepsilon_c = 4,2$, динамическая вязкость μ и

плотность воздуха ρ). Диэлектрические барьеры выполнены из стекла толщиной 2,3 мм. Между диэлектрическими барьерами расположено 11 металлических электродов, которые представлены в модели плоскостями (показанными на рисунке 2.6 синим цветом). Для снижения «краевого эффекта» края закруглены, чтобы снизить и тем самым предотвратить пробой разрядного устройства.

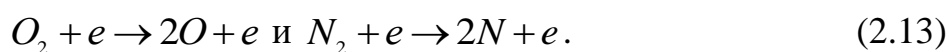


1 – электроды; 2 – контакты, через которые производится подвод напряжения к электродам

Рисунок 2.6 – Изображение электродов в рассматриваемой геометрической модели электроозонатора

Длина корпуса, выполненного из пластика, составляет 30 см, а диаметр 10,6 см. Длина отводящих озоновооздушную смесь силиконовых воздуховодов равна 5 м, а их внутренний диаметр составляет 8 мм.

Вначале рассмотрим процессы, протекающие непосредственно в самом разрядном промежутке. На основании [96, 105, 119, 120] можно принять, что при работе электроозонатора в пространстве разрядного промежутка образуются следующие химические реакции:



Взаимодействие образовавшихся атомов кислорода с его же молекулами, а также с молекулами азота приводит к образованию озона:



Озон нестабильный газ и легко разрушается под действием тех же атомов кислорода и азота, а также при бомбардировке электронами:



Таким образом, для определения генерируемой в разрядных промежутках концентрации озона $c_{O_3 \text{ plasma}}$ необходимо знать следующее: начальные значения подаваемых в установку концентраций молекул кислорода O_2 и азота N_2 , скорости представленных реакций (вычисляемые по уравнению Аррениуса), а также транспортные свойства электронов.

Массовые доли элементов представленных реакций (в том числе и озона $c_{O_3 \text{ plasma}}$) можно найти из следующего уравнения [17]:

$$\rho \frac{\partial c_i}{\partial t} + \rho(\nu \cdot \nabla)c_i = R_i \quad (2.19)$$

где ρ – плотность газовой смеси, кг/м³; c_i – массовая доля i -го вещества, о.е.; ν – скорость воздуха озоновоздушной смеси, м/с; R_i – скорость химической реакции для i -го вещества, кг/(м³·с).

Транспортные свойства электронов определяются с помощью функции распределения энергий электронов (ФРЭЭ). Она имеет очень большое значение при моделировании физики плазмы, так как позволяет описать характеристики электронов, а также процессы с их участием в газоразрядной плазме. На сегодняшний момент существует несколько вариантов задания ФРЭЭ: по Максвеллу, Друивестейну, уравнению Больцмана. Согласно [108] наилуч-

шую сходимость при моделировании численными методами имеет первый вариант ФРЭЭ, который выглядит следующим образом:

$$f(\varepsilon) = \varphi^{-3/2} \beta_1 \exp(-(\varepsilon\beta_2 / \varphi)), \quad (2.20)$$

где $\beta_1 = \Gamma(5/2g)^{3/2} \Gamma(3/2g)^{-5/2}$ и $\beta_2 = \Gamma(5/2g)\Gamma(3/2g)^{-1}$, безразмерные коэффициенты; ε – энергия электрона, эВ; φ – средняя энергия электрона, эВ; g – безразмерный коэффициент, который для принятой ФРЭЭ равен 1; Γ – неполная гамма-функция.

При задании ФРЭЭ предполагается, что преобладают упругие столкновения, поэтому влияние неупругих столкновений (например, возбуждения или ионизации) на функцию распределения незначительно [108]. В модели среднюю энергию электрона φ принимаем фиксированной (равной 5 эВ), что во многих случаях позволяет численно решить рассматриваемую задачу.

Для описания изменения распределения (переноса) электронов в разрядном промежутке во времени и в пространстве можно воспользоваться уравнением Больцмана, которое предполагает, что данное изменение происходит вследствие движения электронов под действием внешних сил (электрического поля, воздушных потоков и т.п.) [17]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(n_e) + \left(\frac{\partial \Gamma_e}{\partial x} + \frac{\partial \Gamma_e}{\partial y} + \frac{\partial \Gamma_e}{\partial z} \right) = - \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) n_e, \quad (2.21)$$

где n_e – плотность электронов, $1/\text{м}^3$; Γ_e – поток электронов, $1/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Поток электронов Γ_e под действием электрического поля из формулы (2.21) можно найти следующим образом:

$$\Gamma_e = -(\mu_e \cdot E)n_e - D_e \cdot \left(\frac{\partial n_e}{\partial x} + \frac{\partial n_e}{\partial y} + \frac{\partial n_e}{\partial z} \right), \quad (2.22)$$

где μ_e – подвижность электронов, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$; E – напряженность электрического поля, $\text{В}/\text{м}$; U – напряжение подаваемое на электроды, В ; D_e – диффузия электронов, $\text{м}^2/\text{с}$, равная [17]:

$$D_e = \mu_e T_e, \quad (2.23)$$

где T_e – электронная температура (статистическая характеристика средней кинетической энергии электронов $T_e = \frac{2}{3} \varphi$), эВ.

Подвижность электронов μ_e может быть найдена из следующего соотношения: $\mu_e = \mu_e \cdot N_n / N_n$, где N_n – число Лошмидта, $1/\text{м}^3$. Данное число определяется по следующей формуле [107]:

$$N_n = \frac{p}{k_B \cdot T} \quad (2.24)$$

где p – давление, Па; k_B – постоянная Больцмана, равная $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$, Дж/К; T – температура, К.

В модели принимаем допущение о постоянстве температуры (20°C), тогда для определения μ_e необходимо задаться значением произведения $\mu_e \cdot N_n$. В модели оно принято равным $400 (\text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{м})^{-1}$.

Для определения напряженности электрического поля E в модели использовались следующие уравнения:

$$E = -\left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial z}\right) \text{ и } \nabla(\varepsilon_0 \varepsilon_d E) = \rho_v; \quad (2.25)$$

где ε_0 – электрическая постоянная, равная $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε_d – относительная диэлектрическая проницаемость среды, о.е.; ρ_v – объемная плотность заряда, Кл/м³, определяемая как: $\rho_v = -(n_e / N_A) \cdot F$, где N_A – число Авагадро, 1/моль; F – постоянная Фарадея, Кл/моль.

Для определения скоростей воздуха v и давлений p в установке необходимо вначале определить режим течения газа в ней. Если предположить, что соединяющий компрессор и электроозонатор патрубков имеет внутренний диаметр 8 мм, а скорость воздуха в нем будет не ниже 5 м/с, то число Рейнольдса можно определить по формуле:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{1,22 \cdot 5 \cdot 0,008}{1,73 \cdot 10^{-5}} = 2820, \quad (2.26)$$

где d – диаметр патрубка, м; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Таким образом, течение газа в установке, даже при такой небольшой скорости, будет турбулентным. Для описания такого течения в настоящее время существует множество математических моделей, адекватность которых была многократно подтверждена. Среди наиболее известных: Algebraic yPlus, L-VEL, k- ϵ , k- ω и другие. В электротехнических расчетах, связанных с охлаждением электрооборудования наибольшую популярность, приобрела модель Algebraic yPlus [21]. Как и остальные модели турбулентности она основана на уравнениях Навье-Стокса и в общем виде для сжимаемой среды может быть представлена следующей системой [115]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \\ \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \nabla v = -\nabla p + \nabla K + \rho g \\ K = (\mu + \mu_t) \left(\nabla v + (\nabla v)^T - \frac{2}{3} (\mu + \mu_t) (\nabla v) I \right) \end{cases}, \quad (2.27)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с; p – давление воздуха внутри установки, Па; I – единичный вектор; g – ускорение свободного падения; μ_t – турбулентная вязкость, Па·с.

Уравнение (2.19), а также химические реакции (2.13) – (2.18) справедливы для воздушной области разрядных промежутков, в которых происходит генерация озона. В областях вне разрядного устройства массоперенос озона будет зависеть от диффузии и конвекции газа. Этот процесс может быть описан следующим уравнением [16]:

$$\frac{\partial c_{O_3 \text{ diluted}}}{\partial t} + \nabla J_{O_3} + v \nabla c_{O_3 \text{ diluted}} = R_{O_3} \quad (2.28)$$

где $c_{O_3\text{diluted}}$ – концентрация озона вне разрядных промежутков, моль/м³; J_{O_3} – плотность потока озона, вызванного диффузией, определяется уравнением Фика: $J_{O_3} = -D\nabla c_{O_3}$, моль/(м²·с); D – коэффициент диффузии озона (для озона $D = 0,0000157$ м²/с), м²/с; R_{O_3} – скорость реакции, моль/(м³·с).

Для проведения компьютерного моделирования описанных выше физико-химических процессов при построении модели в ПО Comsol Multiphysics были использованы следующие интерфейсы: «Plasma» для решения уравнений (2.13) – (2.25) и определения концентрации озона $c_{O_3\text{plasma}}$ генерируемого в области разрядных промежутков; «Turbulent Flow» для определения поля скоростей газа v в установке (2.27); «Transport of Diluted Species» для определения концентрации озона $c_{O_3\text{diluted}}$ согласно (2.28) в воздушных областях вне разрядного устройства.

В качестве начальных условий в интерфейсе «Plasma» для расчета концентраций озона $c_{O_3\text{plasma}}$ согласно химическим реакциям (2.13) – (2.18) были заданы концентрации поступающих в разрядное устройство веществ (кислорода c_{O_2} и азота c_{N_2}), массовые доли которых, как известно для воздуха составляют: $c_{O_2} = 0,21$ и для азота $c_{N_2} = 0,78$. Так как в модели концентрации озона рассчитываются в двух разных воздушных областях (в области разрядных промежутков $c_{O_3\text{plasma}}$ и вне их $c_{O_3\text{diluted}}$) по разным уравнениям, то для их сопряжения в интерфейсе «Transport of Diluted Species» на плоскостях показанных на рис. 2.7а синим цветом было задано граничное условие (ГУ) соответствующее получаемым концентрациям газа в интерфейсе «Plasma». Таким образом, концентрации озона $c_{O_3\text{plasma}}$ рассчитываемые в разрядных промежутках на заданных поверхностях являлись исходными данными для расчета концентраций озона $c_{O_3\text{diluted}}$.

На входном сечении патрубка, через который производится подача воздуха в электроозонатор, задавалось ГУ «Fan» определяющее зависимость

давления p от производительности Q_x компрессора (на рис. 2.7б показано синим цветом).

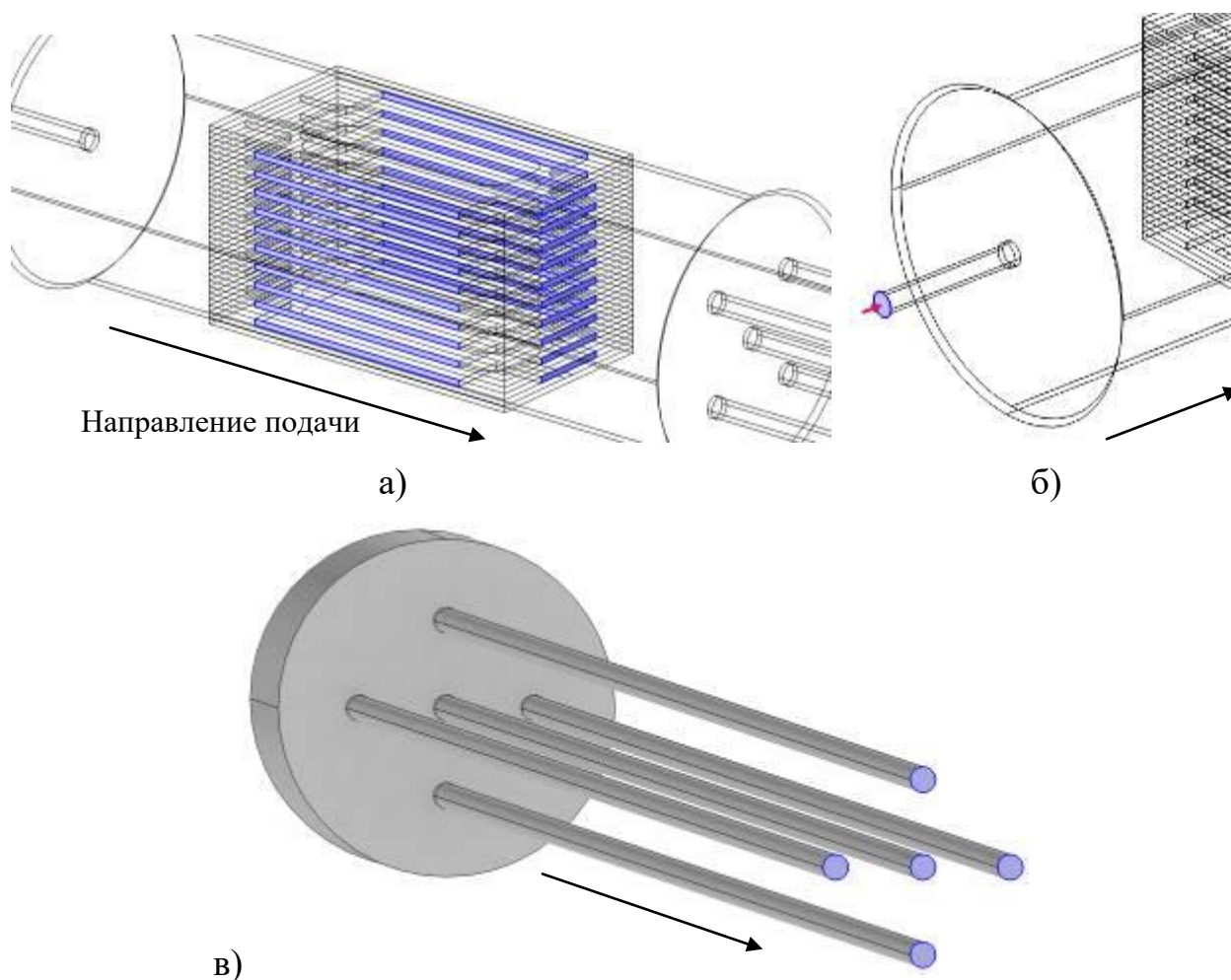


Рисунок 2.7 – Изображения: поверхностей геометрической модели, на которых было задано ГУ, соответствующее равенству $c_{O_2 plasma} = c_{O_2 diluted}$ (а); поверхности, на которой было задано ГУ «Fan» (б); поверхностей на которых было задано ГУ «Outlet» (в).

В работе исследовалось 2 компрессора: один, из которых использовался в работах [42, 47] – АСО-009D, производительностью 125 л/мин, а другой АСQ-903 меньшей производительности – 70 л/мин. Компрессор с меньшей мощностью был выбран для дополнительной проверки адекватности компьютерной модели. Графики производительности и напора (Q-N характеристики)

ки) данных компрессоров брались нами из их паспортных данных и представлены на рисунке 2.8.

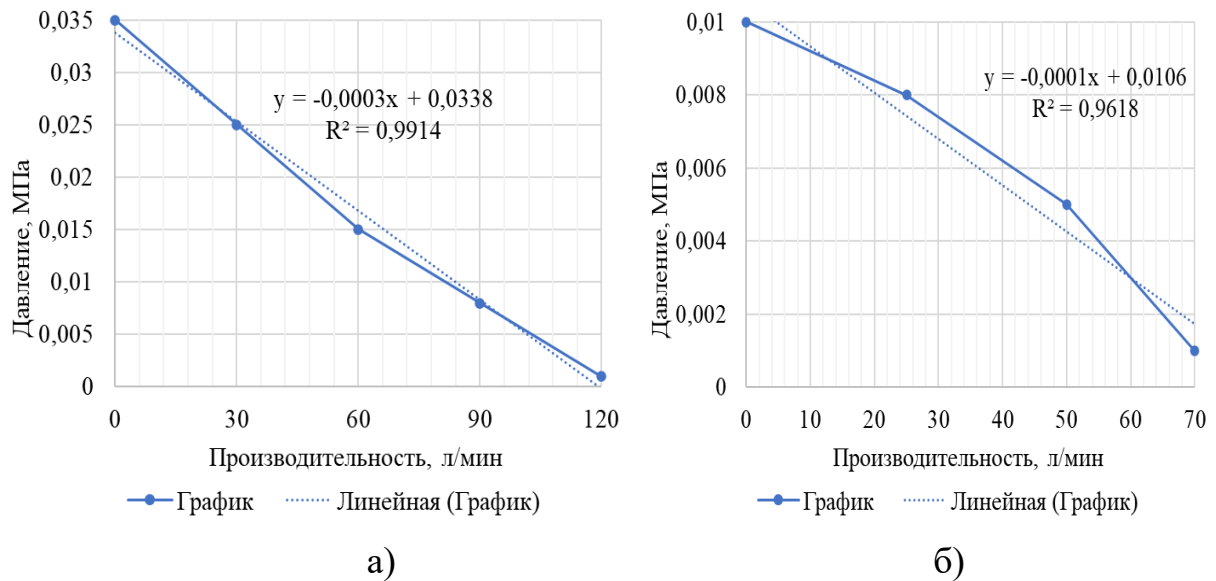


Рисунок 2.8 – Графики производительности компрессоров АСО-009D (а) и АСQ-903 (б) используемые для задания ГУ «Fan».

Данные характеристики в модели осуществлялись в табличной форме по основным точкам, после чего ПО Comsol Multiphysics проводило их линейную интерполяцию, используемую далее в расчете. Из [15] задаваемое ГУ «Fan» может быть представлено следующим образом:

$$n^T (-pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)) - \frac{2}{3} \mu(\nabla \cdot u)I n = -p_{in} \quad (2.29)$$

$$p_{in} \geq p = f(Q_k)$$

где n – вектор нормали к задаваемой поверхности; p_0 – давление на входе в установку, Па.

ГУ «Outlet», определяющее выход газа из установки (на рис. 2.7 в показано синим цветом), было задано в соответствии с уравнением [15]:

$$n(-pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)) = -p_{out} n \quad (2.30)$$

где p_{out} – давление на выходе из установки, Па.

Давление p_{out} , соответствует избыточному давлению, получаемому в результате воздухообмена пчелами, которое может достигать 10 Па (это значение и было задано в модели).

Задание напряжения U , подаваемого на электроды, осуществлялось на границах их контактов показанных на рис. 2.6. Значение напряжения было принято в модели равным 10 кВ, что соответствует максимальному значению напряжения в исследованиях проводимых Д.А. Овсянниковым и С.А. Николаенко.

Таким образом, с учетом рассмотренных уравнений, описывающих физико-химические процессы в озонаторе и граничных условий, математическая модель в ПО Comsol примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{\partial c_i}{\partial t} + \rho(v \cdot \nabla)c_i = R_i \\ f(\varepsilon) = \varphi^{-3/2} \beta_1 \exp(-(\varepsilon\beta_2 / \varphi)) \\ \frac{\partial}{\partial t}(n_e) + \left(\frac{\partial \Gamma_e}{\partial x} + \frac{\partial \Gamma_e}{\partial y} + \frac{\partial \Gamma_e}{\partial z} \right) = - \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) n_e \\ E = - \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial z} \right), \nabla(\varepsilon_0 \varepsilon_d E) = \rho_v \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \\ \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \nabla v = -\nabla p + \nabla K + \rho g \\ \frac{\partial c_{O_3 diluted}}{\partial t} + \nabla J_{O_3} + v \nabla c_{O_3 diluted} = R_{O_3} \\ n^T (-pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)) - \frac{2}{3} \mu(\nabla \cdot u)I n = -p_{in} \\ p_{in} \geq p = f(Q_k) \\ n(-pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)) = -p_{out} n \end{array} \right. \quad (2.31)$$

Для реализации математической модели в ПО Comsol Multiphysics была построена сетка на геометрической модели, показанная на рисунке 2.9, которая состоит из более 4,5 миллионов элементов. При этом половина этого

количества представляют собой тетраэдры, а другая половина - призмы. Для улучшения сходимости гидродинамической задачи в сетке были предусмотрены так называемые пограничные слои для адекватного расчета скоростей воздуха вдоль стенок установки (часть из них видна на рисунке 2.9 во входном патрубке).

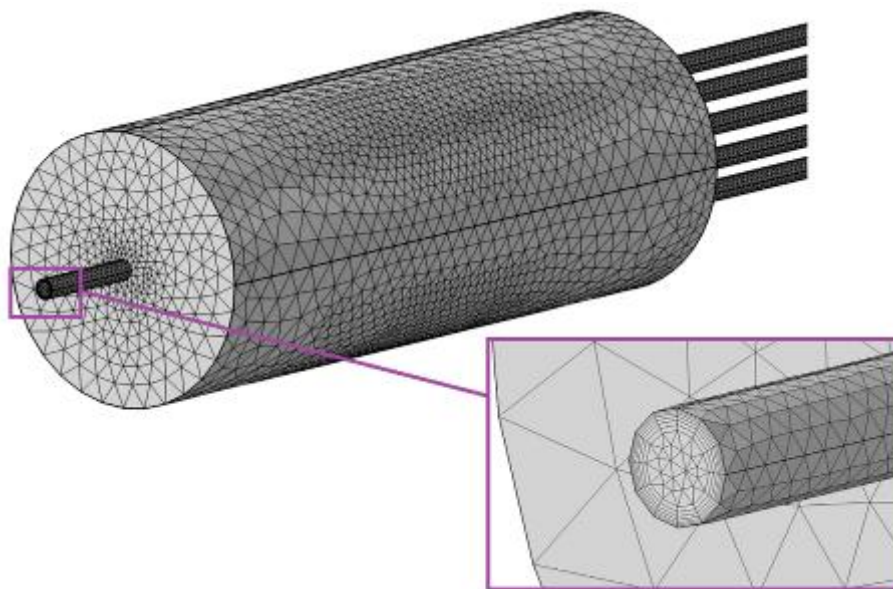


Рисунок 2.9 – Изображение построенной сетки для расчета компьютерной модели электроозонатора

В результате проведения компьютерного моделирования разработанной модели физико-химических процессов в электроозонаторе были получены поля распределения концентраций озона, а также скоростей и давлений газа в установке. На рисунках 2.10 и 2.11 показано распределение концентраций внутри установки при использовании компрессора АСО-009D.

Максимальная концентрация озона внутри озонирующей установки составляет $9,7 \cdot 10^{-4}$ моль/м³. Для перевода в мг/м³ согласно [81] воспользуемся следующей формулой:

$$c_{O_3}[\text{мг/м}^3] = 10^6 \cdot c_{O_3}[\text{моль/м}^3] \cdot k \cdot M, \quad (2.32)$$

где k – коэффициент перевода моль/м³ в моль/дм³, равный 10^{-3} ; M – молярная масса озона, 47,8 г/моль.

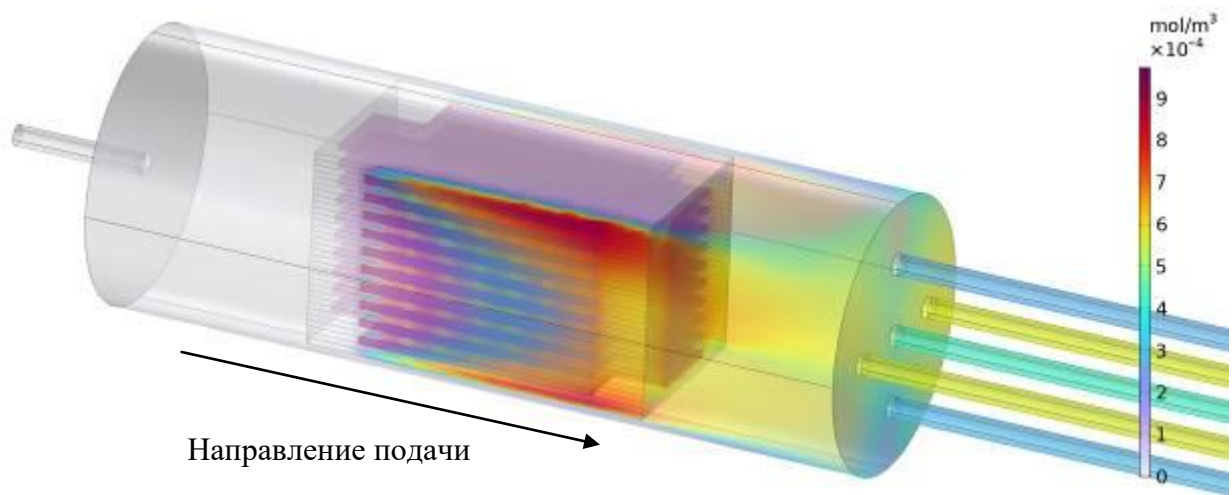


Рисунок 2.10 – Изображение распределения концентраций озона внутри установки

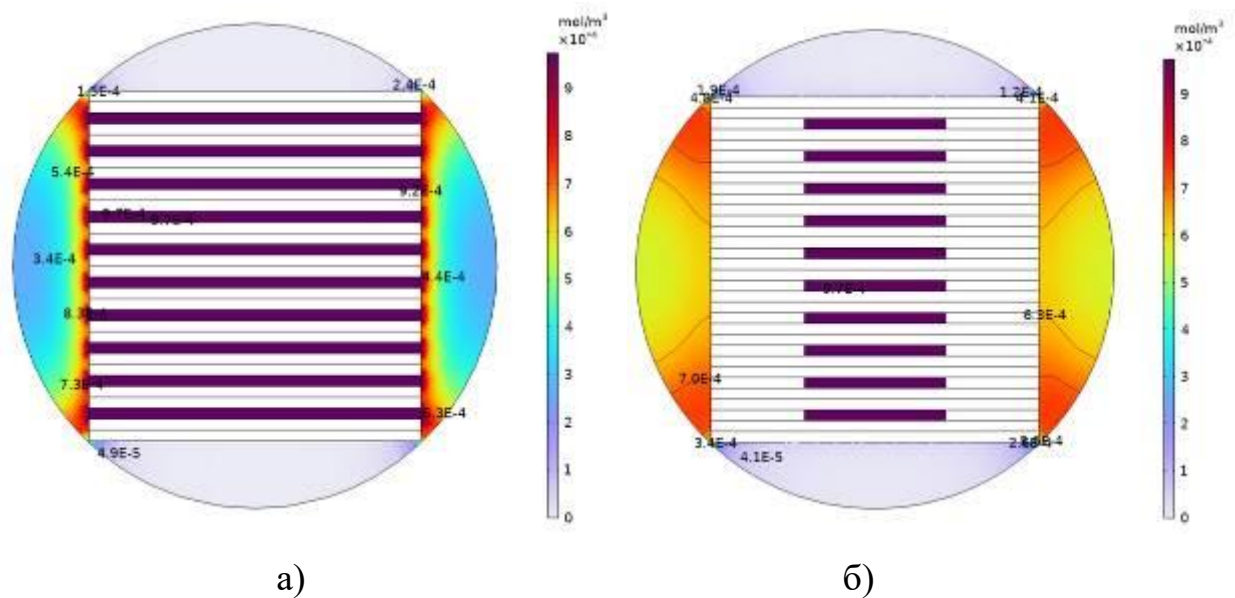


Рисунок 2.11 – Изображения распределения концентраций озона в поперечном сечении в середине разрядного устройства (а) и в поперечном сечении на выходе озонозвоздушной смеси из него (б)

Таким образом, концентрация озона становится: $c_{O_3} = 10^6 \cdot 9,7 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3} \cdot 47,8 = 46,37 \text{ мг/м}^3$. Такое значение концентрации озона соответствует установкам подобных геометрических размеров и согласуется с экспериментами [42, 47].

Из рисунка 2.10 видно, что концентрации озона внутри установки распределены неравномерно. Неравномерность также наблюдается и в пяти отводящих воздуховодах. Наблюдается значительная разница в концентрациях озона в отдельных воздуховодах – от $2,7 \cdot 10^{-4}$ моль/м³ до $5,6 \cdot 10^{-4}$ моль/м³, т.е. в 2 раза. Наибольшие концентрации озона достигаются в боковых воздуховодах установки – $5,6 \cdot 10^{-4}$ моль/м³ (или 26,8 мг/м³). В воздуховоде, установленном в центре выходного блока озонатора, концентрация озона составляет – $4,4 \cdot 10^{-4}$ моль/м³ (21 мг/м³). Наименьшая концентрация газа наблюдается в верхнем и нижнем воздуховодах, соответственно равна $2,7 \cdot 10^{-4}$ моль/м³, $2,8 \cdot 10^{-4}$ моль/м³ (12,9 мг/м³ и 13,4 мг/м³). Такая неравномерность подачи озона в ульи при их групповой обработке приведет к сложностям расчетов необходимых доз. На поперечных сечениях установки представленных на рисунке 2.11 видно, что часть озона покидает разрядный промежуток через его боковые отверстия, что, по всей видимости, способствует созданию неравномерности озона в воздуховодах. В то же время концентрация озона внутри разрядных промежутков практически остается неизменной.

2.3 Обоснование геометрических параметров выходного блока озонатора для обработки группы ульев

Для повышения равномерности концентрации озона в воздуховодах, были реализованы различные изменения в ранее представленной геометрической модели. Так, например, для того чтобы исключить влияние боковых отверстий разрядного устройства (как было предположено в п. 2.2) области, граничащие с ними, были исключены из расчета, что соответствовало бы заполнению данного пространства твердым телом (рис. 2.12).

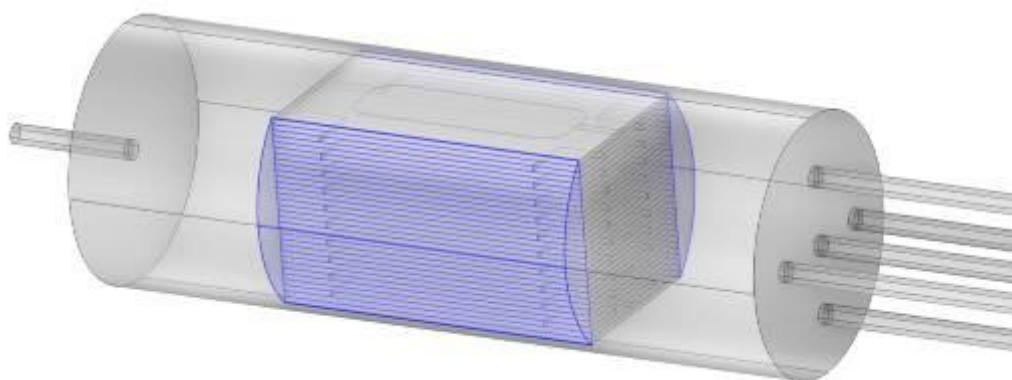


Рисунок 2.12 – Изображение измененной геометрической модели озонатора, в которой области, отмеченные синим цветом, были исключены из расчета

На рисунке 2.13 представлены результаты моделирования такого решения. Изменение геометрии привело к изменению максимальной концентрации озона внутри установки: с $9,7 \cdot 10^{-4}$ моль/м³ до $11,6$ моль/м³ (или с $46,37$ мг/м³ до $55,4$ мг/м³), но при этом неравномерность внутри воздуховодов сохранилась: в боковых от $1,62 \cdot 10^{-4}$ моль/м³ до $2,2 \cdot 10^{-4}$ моль/м³, а в центральном она составляет $3,5 \cdot 10^{-4}$ моль/м³. Снижение концентрации озона в воздуховодах связано с увеличением воздушного потока через разрядное устройство озонатора.

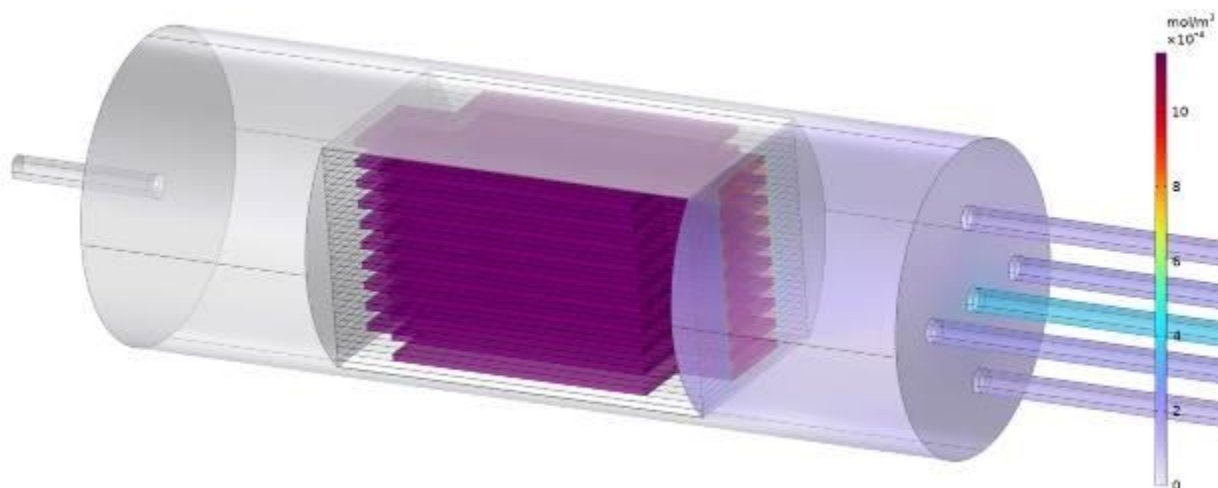


Рисунок 2.13 – Изображение распределения концентраций озона внутри установки в результате расчета измененной геометрической модели

Установка различных вариантов дополнительных конструкций в виде неподвижных лопастей внутри корпуса установки между разрядным устройством и выходным блоком также не позволила достичь равномерности газа внутри воздуховодов (рис. 2.14).

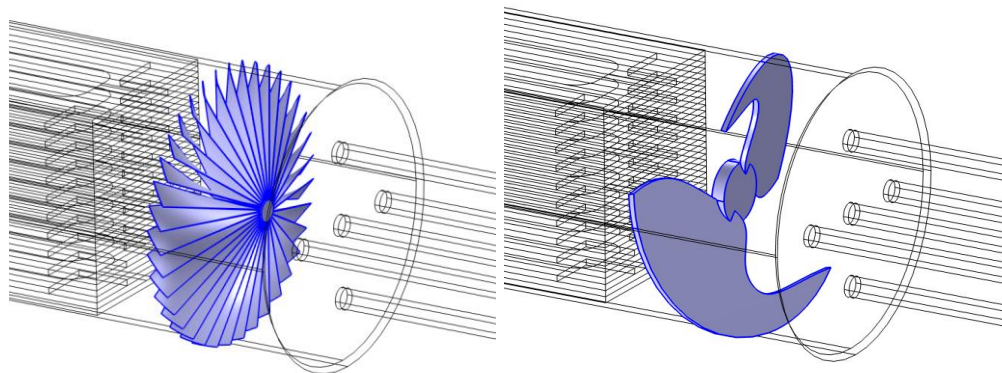


Рисунок 2.14 – Изображение вариантов конструкций для увеличения равномерности концентрации озона в воздуховодах

В результате проведения неоднократного моделирования различных вариантов конструкции нам удалось найти вариант, заключающийся в повороте выходного блока (отверстий для воздуховодов, подводящих озон к ульям) на 90° относительно всей конструкции (рис. 2.15).

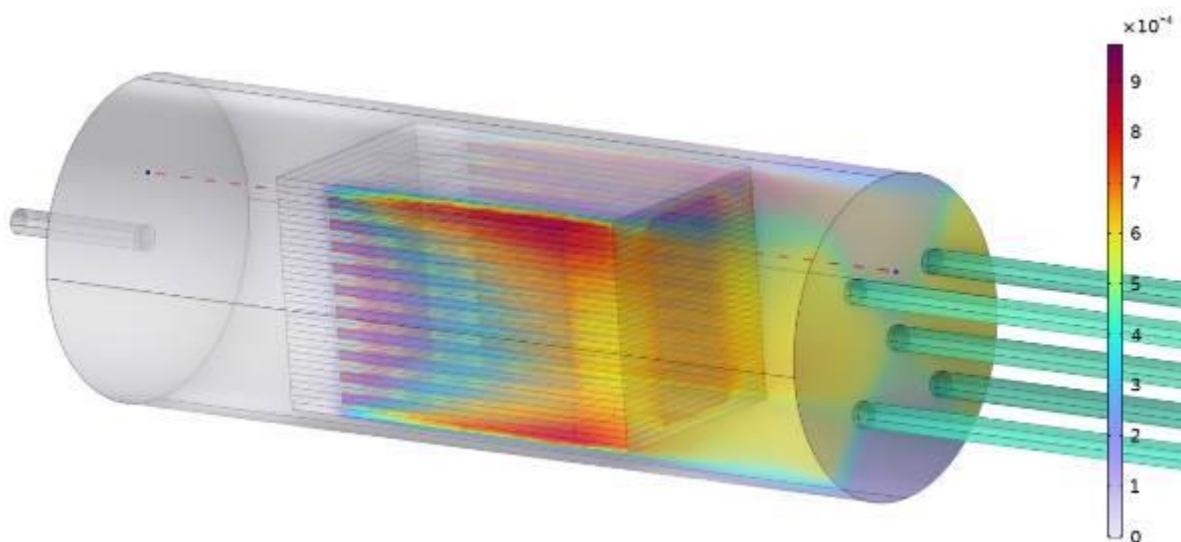


Рисунок 2.15 - Изображение распределения концентраций озона внутри установки в результате поворота выходного блока на 90° .

На рисунке 2.16 показано сравнение первоначальной геометрической модели с «крестообразным» расположением воздухопроводов относительно разрядного устройства и конечного варианта с новым расположением воздухопроводов. Данные сечения были сделаны непосредственно перед отверстиями в выходном блоке озонатора. На рисунке 2.16 видна существенная неравномерность полей концентрации озона перед воздухопроводами.

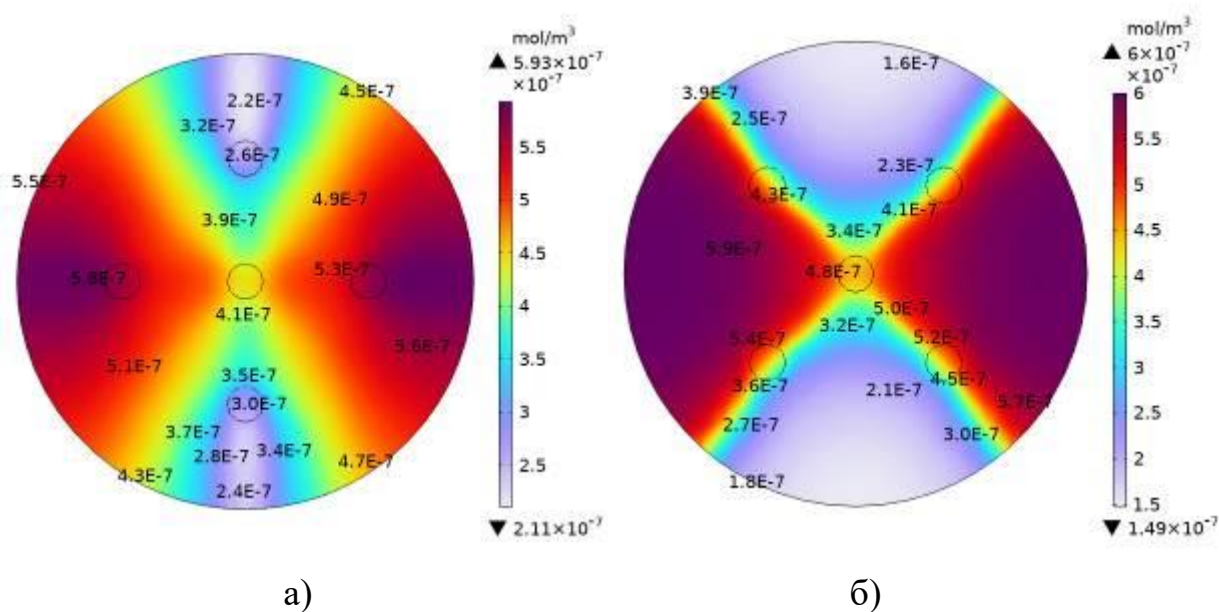


Рисунок 2.16 – Изображение полей концентраций озона в озонаторе перед входными отверстиями воздухопроводов, подводящих озон к пчелиным ульям: а) первоначальная геометрия установки; б) при повороте выходного блока озонатора на 90°

Таким образом, окончательно принимаем для дальнейших исследований вид геометрической модели, представленный на рисунке 2.15 с новым расположением воздухопроводов относительно разрядного устройства озонатора.

2.4 Разработка алгоритма программы для микроконтроллера и принципиальной электрической схемы управления озонирующей установкой

Для разработки алгоритма обработки группы ульев важно знать подачу озонозоооздушной смеси в каждый улей при последовательном отключении воздухоооздуов, подающих в них газ. Для этого вначале было определено поле скоростей озонозоооздушной смеси внутри установки при обработке пяти ульев (использование компрессора АСО-009D) показанное на рисунке 2.17.

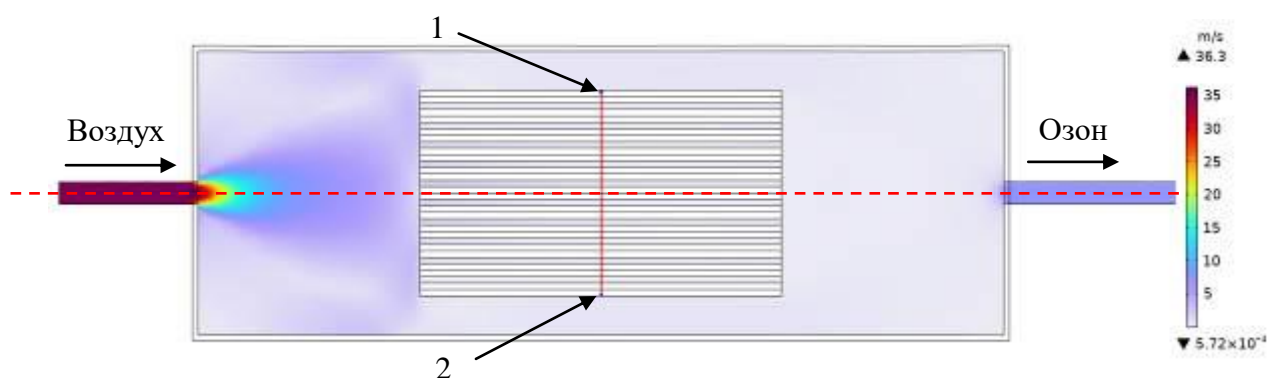


Рисунок 2.17 – Изображение поля скоростей внутри озонатора при обработке пяти ульев и использовании компрессора АСО-009D

Максимальная скорость воздуха внутри озонатора составила 36,3 м/с. Такой же вид имеет поле скоростей воздуха внутри озонатора при использовании компрессора АСQ-903. Но скорости воздуха при этом компрессоре ниже – до 21,6 м/с. Как видно из рисунка 2.17 наибольшие значения скорости находятся перед разрядным устройством. Минимальные значения скоростей наблюдаются в разрядных промежутках. В середине разрядного устройства они составляют не более 0,3 м/с. На рисунке 2.18 показан график распределения скоростей воздуха вдоль красной линии, показанной на рисунке 2.17. Из него видно, что скорости в разрядных промежутках расположенных снизу и сверху лежат в диапазонах от 0,04 м/с до 0,08 м/с, а в центральных в 3-4 раза больше – от 0,16 м/с до 0,24 м/с.

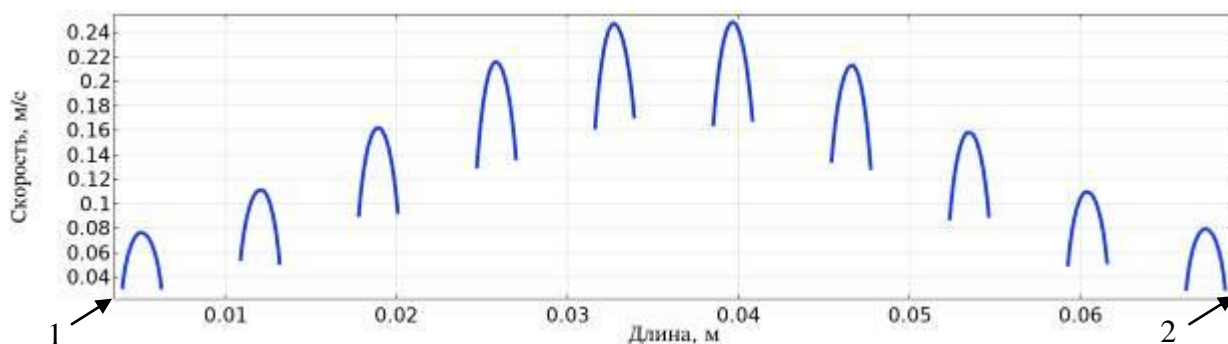


Рисунок 2.18 – График распределения скоростей воздуха вдоль красной линии рисунка 2.17

Определение потерь напора вдоль оси симметрии, показанной на рисунке 2.17 пунктиром и проходящей через всю установку (в том числе и центральный воздуховод) показало, что общие потери составляют 4980 Па, вместо 6087 рассчитанных по формуле 2.6. В результате расчета методом конечных элементов были уточнены потери напора в озонирующей установке. Они составляют 400 Па, что на 100 Па, меньше принятого в расчете, выполненном в этой главе п. 2.1 (рис. 2.19).

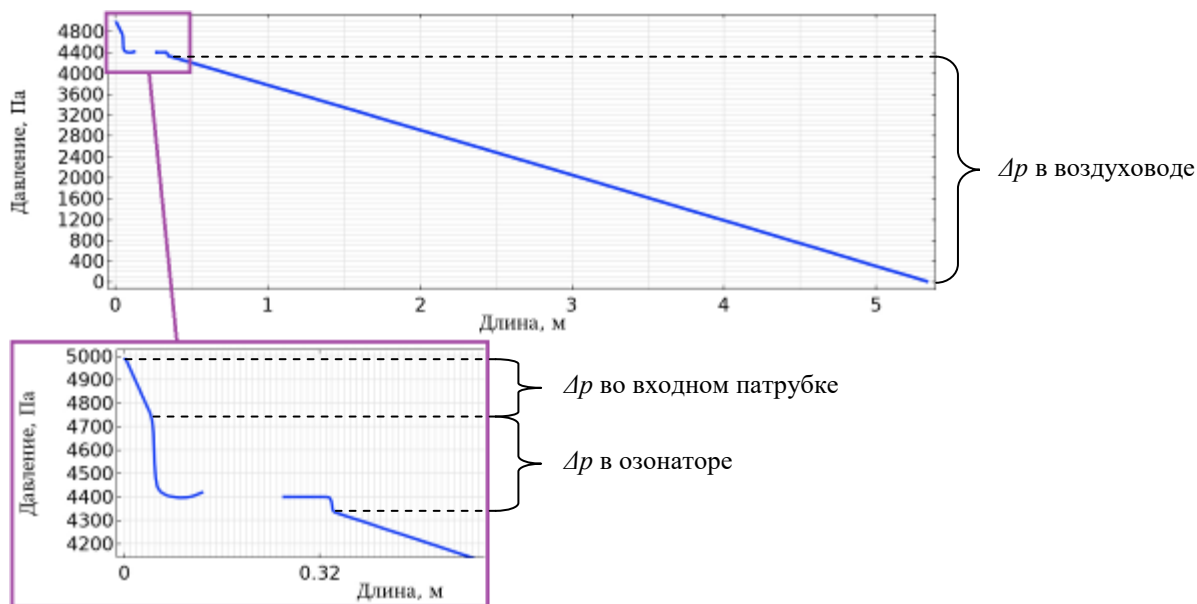


Рисунок 2.19 – График потерь напора в установке вдоль пунктирной линии (оси симметрии) показанной на рисунке 2.17

Результаты расчета скоростей, а также объемного расхода озоноз-душной смеси (т.е. подачи озона в улы) через выходные сечения воздухово-дов при их последовательном отключении представлены в виде графиков на рисунках 2.20. и 2.21. Исследование проводилось в несколько итераций при последовательном исключении воздуховодов из рассматриваемой расчетной области.

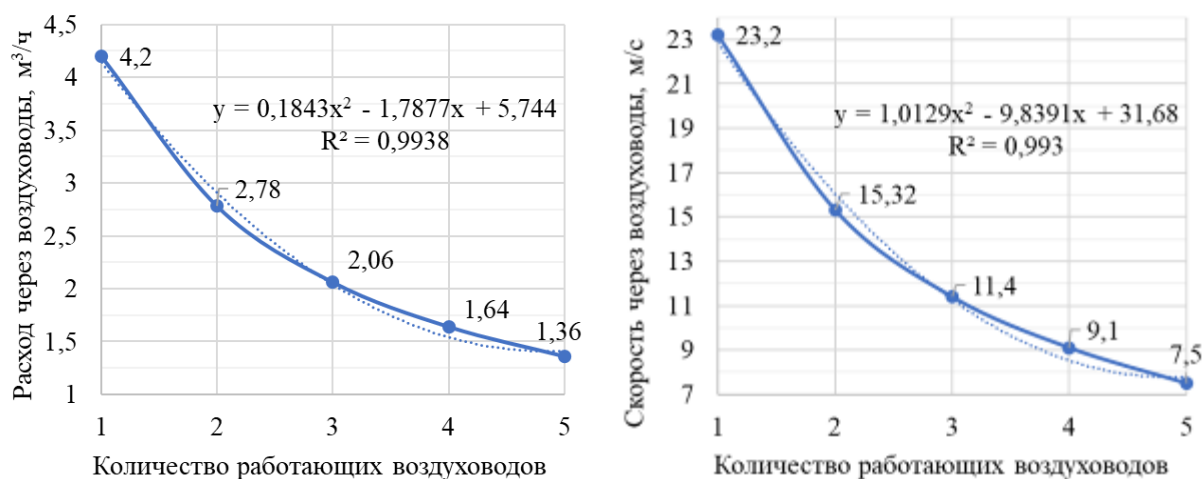


Рисунок 2.20 – Графики расхода озоноз-душной смеси через воздуховоды (слева) и скорости через них (справа) в зависимости от их (воздуховодов) количества при подаче воздуха от компрессора ACSO-009D

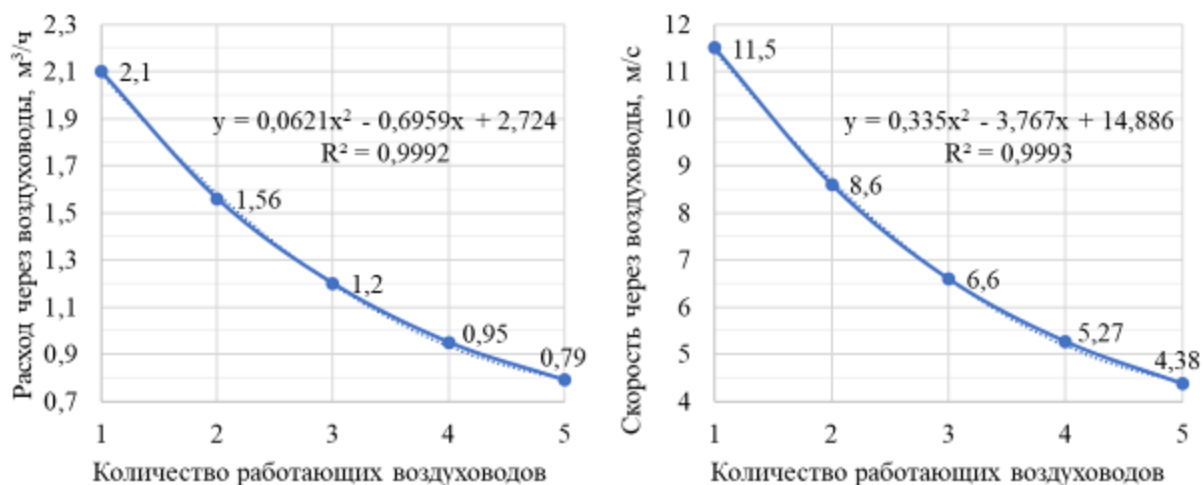


Рисунок 2.21 – Графики расхода озоноз-душной смеси через воздуховоды (слева) и скорости через них (справа) в зависимости от их (воздуховодов) количества при подаче воздуха от компрессора ACQ-903

На основании изложенных выше теоретических исследований, а именно полученной информации о расходе озонозовоздушной смеси через воздуховоды был разработан алгоритм групповой обработки пяти ульев (рис. 2.22). Алгоритм разработан для компрессора АСО-009D. Стоит отметить, что за счет разработанной компьютерной модели он может быть масштабирован для другого количества ульев, длин и количества воздуховодов, других моделей компрессоров и геометрических размеров озонатора. Описание алгоритма приведено в приложении 2.

На основании полученного алгоритма была разработана принципиальная электрическая схема системы управления подачей озона для группы ульев (рис. 2.23). В схему входит следующее оборудование:

- 1) клавиатура 4x4 для ввода и корректировки количества рамок в ульях;
- 2) LCD-дисплей МТ-16S2Н для вывода информации о введенном с клавиатуры количестве рамок, а также о времени обработки ульев;
- 3) микроконтроллерная плата Arduino Mega 2560, которая осуществляет управление используемым оборудованием согласно разработанному алгоритму;
- 4) часы реального времени DS3231 для определения даты и времени обработки;
- 5) адаптер для подключения к микроконтроллерной плате карты памяти типа micro SD с целью сохранения на ней даты и продолжительности проводимых обработок ульев озонном;
- 6) пять электромагнитных клапанов YA1-YA5 и пять транзисторов типа IRF520 для отключения подачи озона в ульи через гибкие шланги.

Стоит отметить, что в разработанном алгоритме может быть реализован третий режим работы, связанный с обработкой пчелиных ульев от грибковых заболеваний, но для этого необходимо определить требуемую массу озона на 1 пчелиную рамку, что требует проведения дополнительных исследований на тест-объектах.

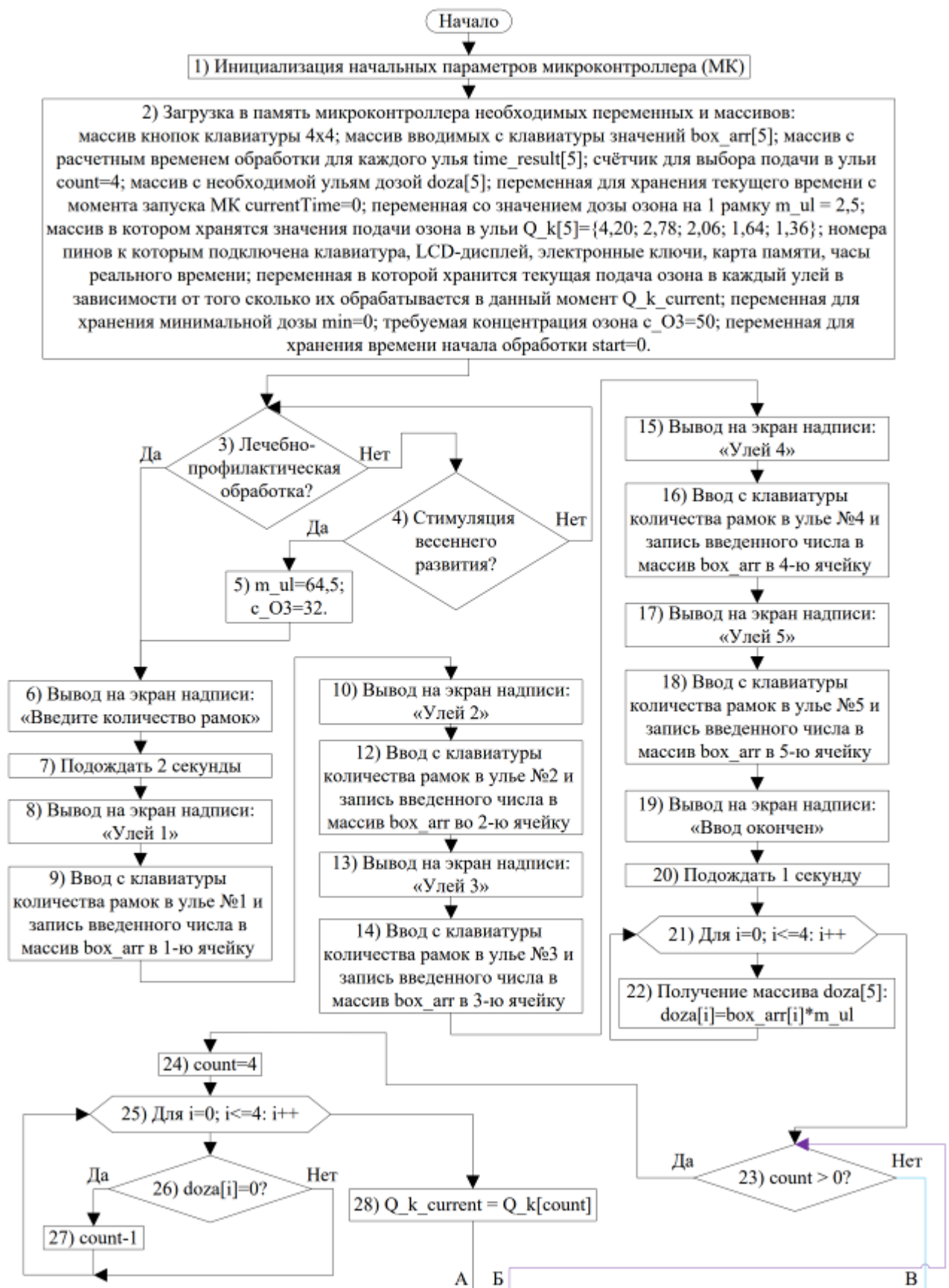


Рисунок 2.22 – Блок-схема алгоритма групповой обработки пяти ульев

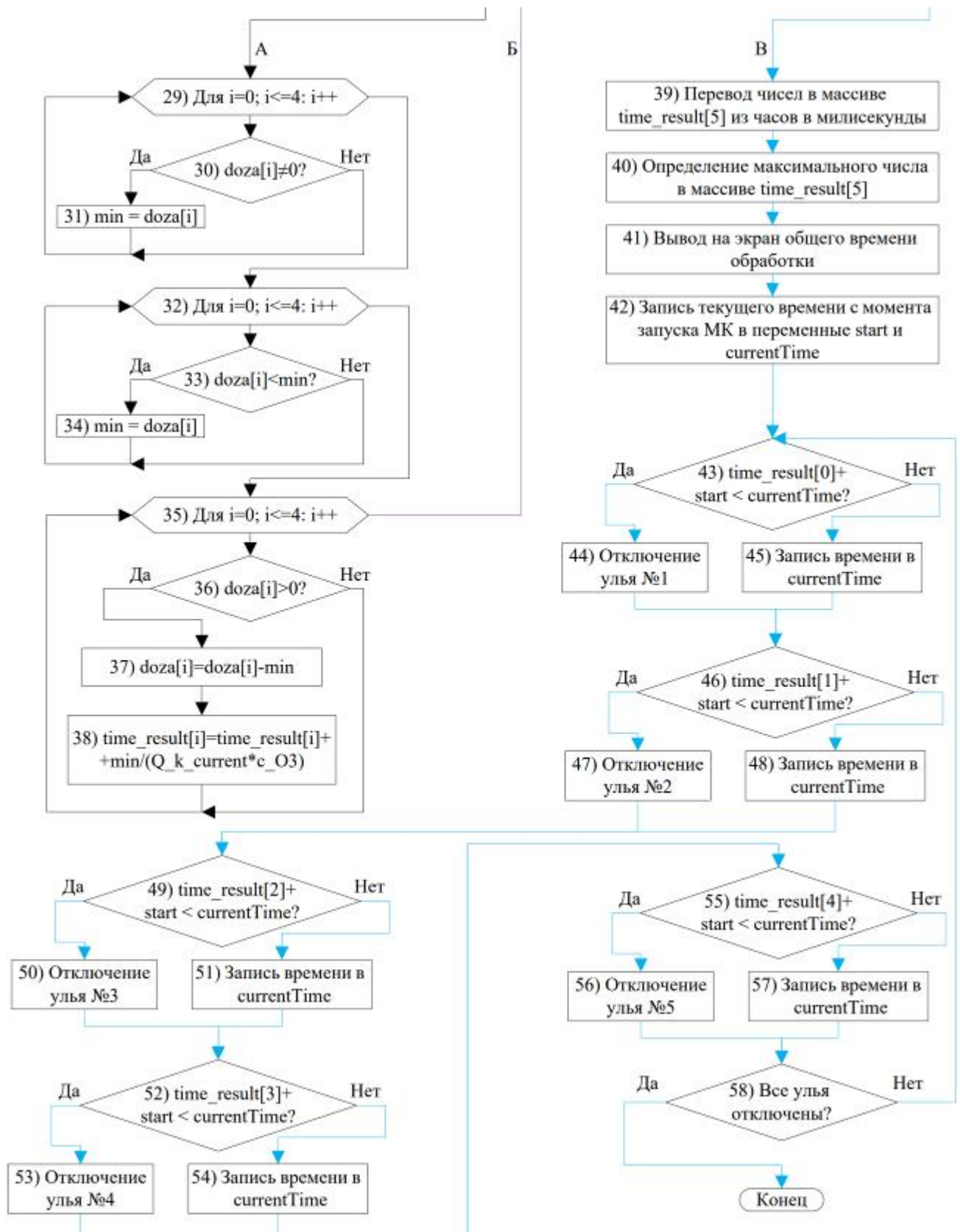


Рисунок 2.22 – Блок-схема алгоритма групповой обработки пяти ульев (продолжение)

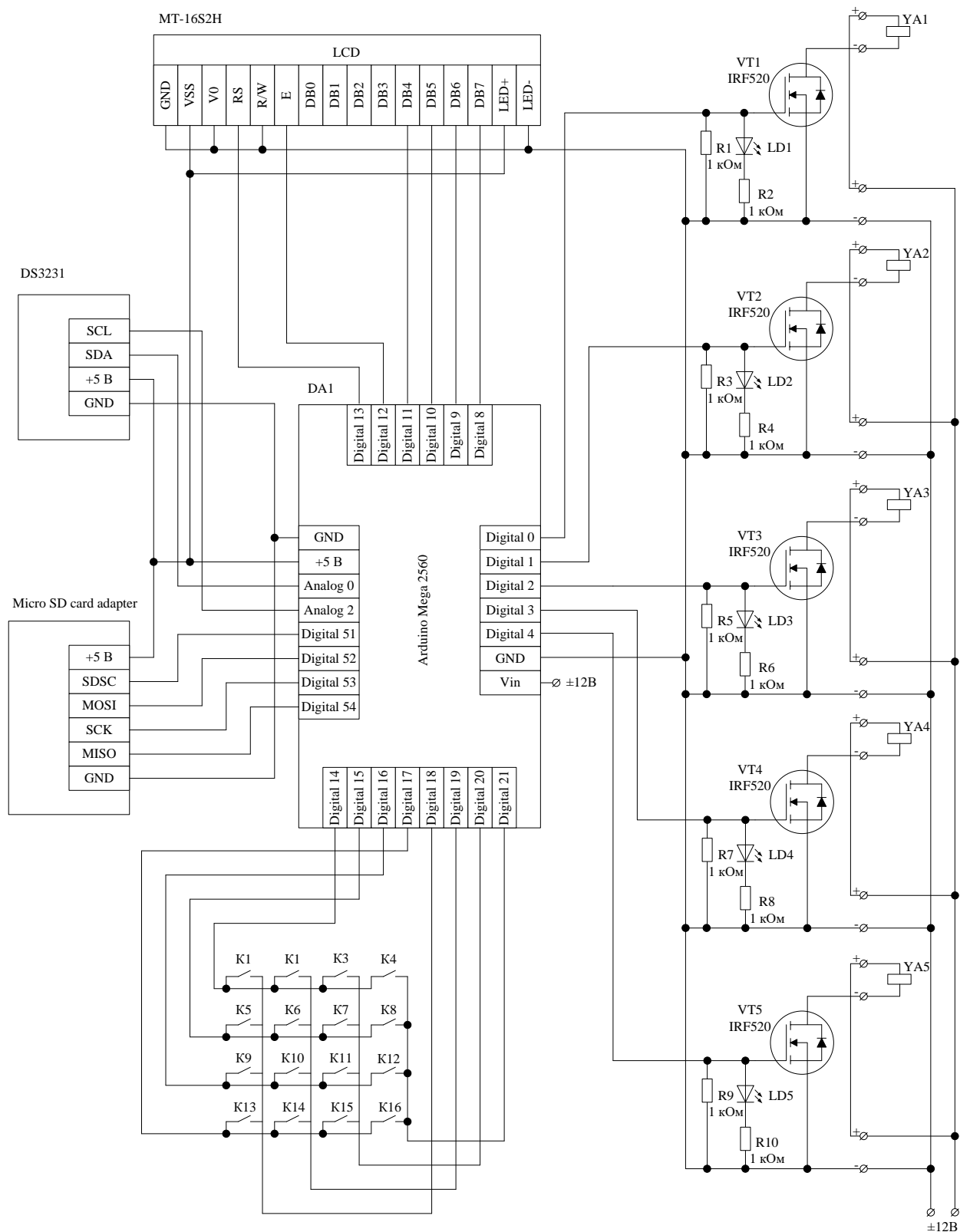


Рисунок 2.23 – Схема принципиальная электрическая системы управления озонирующей установкой рассчитанной на обработку группы из 5-ти ульев

2.5 Выводы по главе

1. Разработана технологическая схема групповой обработки ульев, включающая компрессор, озонатор, магистральные воздухопроводы, ульи, систему управления. Определены дозы озона на 1 пчелиную рамку: для проведения стимуляции весеннего развития пчел – 64,5 мг; для проведения лечебно-профилактических обработок от бактериозов пчел – 2,5 мг. Получена формула расчета времени обработки ульев, учитывающая дозу обработки, количество рамок, подачу компрессора и генерируемую озонатором концентрацию озона.

2. Разработана конструкция и геометрическая модель озонирующей установки для групповой обработки озоном пяти пчелиных ульев для ПО Comsol Multiphysics, состоящая из: стеклянного разрядного устройства барьерного типа заключенного в цилиндрический корпус, в одном торце которого расположен цилиндрический патрубок для соединения с компрессором, а в другом торце (выходном блоке озонатора) 5-ть воздухопроводов.

3. Получено математическое описание физико-химических процессов в озонирующей установке на базе уравнений переноса массы вещества, функции распределения энергий электронов по Максвеллу, а также уравнений Навье-Стокса.

4. Разработана математическая модель физико-химических процессов в озонирующей установке для групповой обработки озоном пяти пчелиных ульев включающая в себя начальные и граничные условия, в которых заданы значения исследуемых параметров на входных и выходных границах исследуемой геометрической области, а также учитывается зависимость давления от производительности компрессора.

5. Результаты расчета компьютерной модели озонирующей установки показали, что поле концентраций озона в воздухопроводах неравномерно и может отличаться в 2 раза (от 12,9 мг/м³ до 26,8 мг/м³) при их определенном

расположении относительно разрядного устройства. Для увеличения равномерности концентраций озона предложено новое расположение воздуховодов (повернув выходной блок на 90°) при котором концентрации в них изменяются от $20,5 \text{ мг/м}^3$ до 21 мг/м^3 .

6. Моделирование в программном продукте позволило определить: потери напора в озонаторе составившие 400 Па и общие потери напора во всей озонирующей установке равные 4980 Па. Установлена зависимость расхода озоновоздушной смеси через воздуховоды от их количества, например, при использовании компрессора производительностью 125 л/мин и при последовательном отключении с пятого по первый воздуховод соответственно производительности составили: $1,36 \text{ м}^3/\text{ч}$, $1,64 \text{ м}^3/\text{ч}$, $2,06 \text{ м}^3/\text{ч}$, $2,78 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $4,2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

7. На основании полученных теоретических результатов был разработан алгоритм групповой обработки пяти пчелиных ульев, учитывающий, количество рамок в каждом обрабатываемом улье, изменение расхода озоновоздушной смеси через воздуховоды при их последовательном отключении, характеристику компрессора, а также дозу озона уже полученную ульями до отключения отдельных воздуховодов. Алгоритм позволяет произвести расчет времени обработки каждого из пяти ульев, в зависимости от необходимой дозы озона на 1 пчелиную рамку.

8. В соответствии с алгоритмом и результатами теоретических исследований разработана принципиальная электрическая схема системы управления озонирующей установкой, позволяющая проводить расчет времени работы установки и управлять подачей озоновоздушной смеси в пчелинные улья при групповой обработке.

3. МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ ОЗОНОМ ПЧЕЛИНЫХ УЛЬЕВ И ЕЕ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

3.1 Методика проведения экспериментальных исследований по подтверждению теоретических положений

Проведение экспериментальных исследований проводилось в три этапа. На первом этапе проводились исследования со следующими задачами: подтверждения компьютерной модели физико-химических процессов в озонаторе; проверке заключений о конструкции выходного блока озонатора, подтверждения изменения расходов через воздуховоды при их последовательном отключении. Для этого на кафедре электрических машин и электропривода Кубанского ГАУ была изготовлена экспериментальная установка, которая показана на рис. 3.1.



1 – корпус озонатора; 2 – выходной блок озонатора; 3 – патрубки для подключения воздуховодов

Рисунок 3.1 – Фотография экспериментальной установки

Размеры и материалы элементов озонатора совпадают с размерами геометрической модели представленной в главе 2. Воздуховоды выполнены

гибким силиконовым шлангом с внутренним диаметром 8 мм. Такой же диаметр имеют стальные патрубки для их подключения к торцу корпуса озонатора. Разработанный и изготовленный озонатор позволяет получать концентрации озона до 50 мг/м^3 . Регулирование концентрации озона на выходе из озонатора осуществлялось двумя способами: изменением действующего значения питающего напряжения и количества продуваемого воздуха через разрядное устройство. Для определения концентраций озона использовались два измерителя: отечественный Циклон-5.41 и зарубежный XLA-BX-O3. Для измерения скорости воздушного потока на выходе из воздухопроводов использовался анемометр фирмы Testo-405. Подача воздуха в озонатор осуществлялась с помощью компрессоров АСО-009D – 125 л/мин и АСQ-903 – 70 л/мин (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Фотография используемого оборудования, слева на право: измерители концентрации озона Циклон-5.41 и XLA-BX-O3, анемометр Testo-405, компрессоры АСО-009D (125 л/мин) и АСQ-903 (70 л/мин).

На втором этапе проводились исследования влияния озонозудной смеси на тест-объект в качестве которого выступал плесневелый гриб *Penicillium sp.* Данный род грибов является одним из самых распространенных на планете. Исследования проводились в Кубанском ГАУ на кафедре биотехнологии, биохимии и биофизики. Для выращивания тест-

объекта использовали среду Сабуро, которую готовили по ГОСТ 28085-89 «Препараты биологические. Метод бактериологического контроля стерильности». Поверхностный посев в чашки Петри проводился согласно ГОСТ 10444.12–2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов». Также использовался метод серийных разведений по ГОСТ Р 70393–2022 «Изделия медицинские для диагностики *in vitro*. Приготовление, производство, хранение и испытания питательных сред».

Процесс озонирования проводился в вытяжном шкафу. Чашки Петри помещали в специальные контейнеры, в которые подавалась озоновоздушная смесь (рис. 3.3).

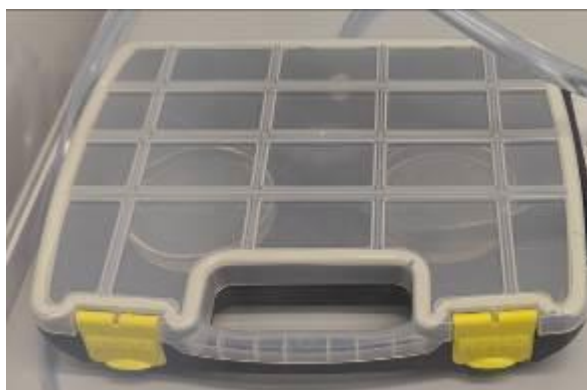


Рисунок 3.3 – Фотография контейнера для проведения озоновоздушной обработки.

После процесса озонирования чашки Петри помещали в термостат при температуре 30°C на 72 часа. Результаты опытов оценивали по количеству выросших колоний. Эксперимент проводился в трехкратной повторности. Контролем выступали посевы, которые не подвергались озонированию. Перед данным исследованием было проведено планирование эксперимента. В качестве независимых переменных (факторов) были приняты параметры озоновоздушной обработки: x_1 – концентрация озона, мг/м³ (данный фактор имел 3 уровня – 500, 1200 и 2000 мгм³); x_2 – время озоновоздушной обработки, мин (данный фактор имел также 3 уровня – 30, 40 и 50 мин).

Таким образом, проводимый полный факторный эксперимент состоял из 3^2 опытов. Для оценки эффективности озоновоздушной обработки тест-объекта выбран параметр y_1 (отклик) – выживаемость, %.

На третьем этапе проводились полевые исследования разработанной установки на пасеке ИП глава КФХ Овсянников Дмитрий Алексеевич. Исследования проводились на двадцати ульях с разным количеством рамок в них и с разной силой пчелиной семьи.

3.2 Результаты экспериментальных исследований по подтверждению теоретических положений компьютерного моделирования физико-химических процессов в озонирующей установке

Проведено сравнение концентраций озона на выходе из патрубков выходного блока озонатора при двух расположениях (0° и 90°) относительно разрядного устройства озонатора. Измерение проводилось двумя измерителями концентрации озона (Циклон-5.41 и XLA-BX-O3), расхождение между их показаниями составляли до $2-3 \text{ мг/м}^3$, поэтому за результат принималось среднее значение показаний двух приборов. В результате проведенных измерений, были получены следующие значения:

- при первоначальном расположении воздухопроводов (0°): в боковых воздухопроводах концентрации озона составили $25,7-25,9 \text{ мг/м}^3$, в центре выходного блока – $23,1 \text{ мг/м}^3$, в верхнем – $13,7 \text{ мг/м}^3$ и в нижнем 15 мг/м^3 ;

- при новом расположении воздухопроводов (90°): значения во всех воздухопроводах колебались от 21 до 24 мг/м^3 .

Расхождение с данными, полученными по компьютерной модели, составили около 10,3%.

Определение скорости воздуха осуществлялось анемометром Testo 405 на выходе из воздухопроводов установки. Результаты измерений при поочеред-

ном отключения воздуховодов показаны на рис. 3.4. Над точками графиков показаны результаты их сравнения в процентах.

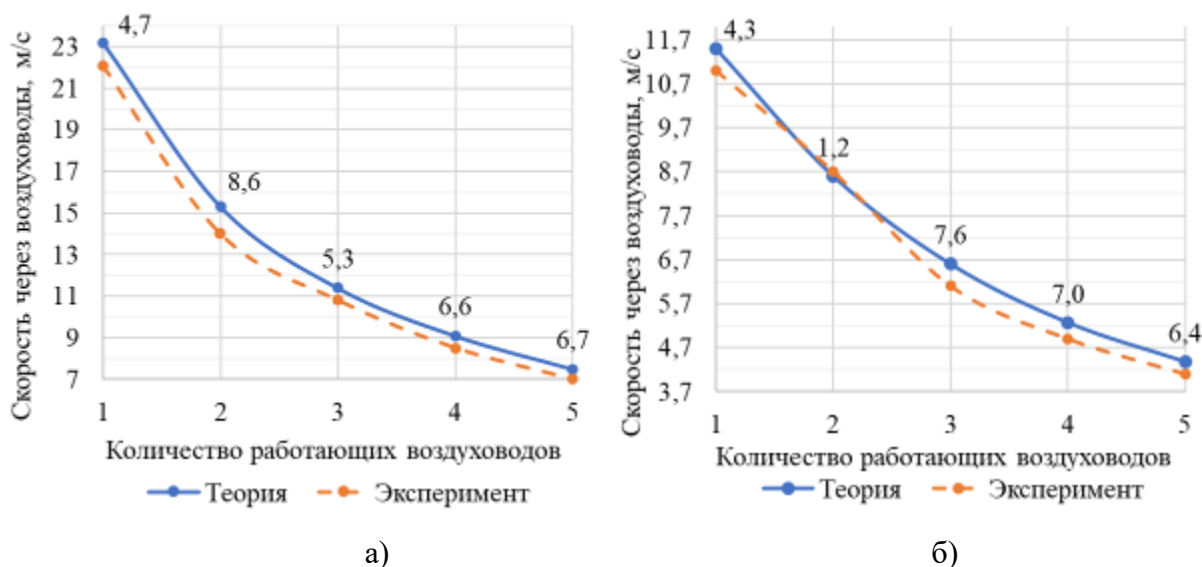
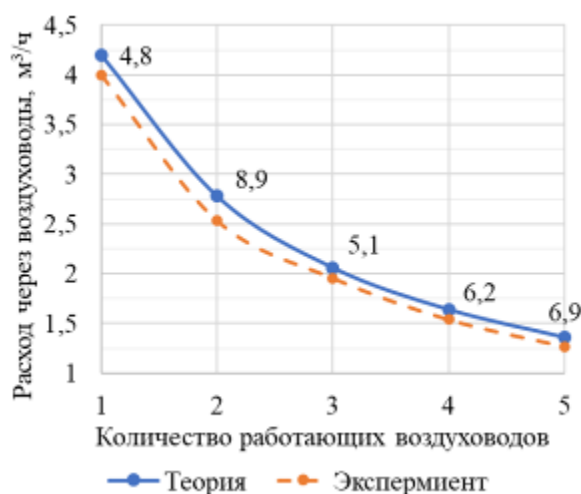


Рисунок 3.4 – Графики сравнения теоретических и экспериментальных данных скорости озоновоздушной смеси на выходе из воздуховодов при их очередном отключении: а) при использовании компрессора АСО-009D; б) при использовании компрессора АСQ-903.

Как видно из графиков на рис. 3.4 отклонение теоретических данных, от данных полученных экспериментально составило не более 8,6%. При статистическом сравнении полученных теоретических и экспериментальных данных расчетный t-критерий при уровне значимости $p = 0,01$ был меньше его критического значения. Что говорит о том, что между теоретическими и экспериментальными данными с 99% вероятностью нет никаких статистических различий.

На основании полученных данных о скорости озоновоздушной смеси и учитывая диаметр воздуховодов – 8 мм, был рассчитан расход воздуха через них (рис. 3.5). Над точками графиков показаны результаты их сравнения в процентах.



а)



б)

Рисунок 3.5 - Графики сравнения теоретических и экспериментальных данных расхода озоноздушного потока через воздухопроводы при их поочередном отключении: а) при использовании компрессора АСО-009D; б) при использовании компрессора АСQ-903

Как видно из графиков на рис. 3.5 отклонение теоретических данных, от данных полученных экспериментально составило не более 8,9%. При статистическом сравнении полученных теоретических и экспериментальных данных расчетный t-критерий при уровне значимости $p = 0,01$ был меньше его критического значения. Что говорит о том, что между теоретическими и экспериментальными данными с 99% вероятностью нет никаких статистических различий.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод об адекватности полученных ранее теоретических положений. Это позволяет рекомендовать новое расположение отверстий для воздухопроводов относительно разрядного устройства (90°). Также подтверждено использование в алгоритме управления озонирующей установкой полученных ранее значений расхода воздуха через воздухопроводы. При подаче воздуха в установку от компрессора АСО-009D (125 л/мин) и при последовательном отключении воздухопроводов с 5-го по 1-ый расходы соответственно составили: 1,36

м³/ч, 1,64 м³/ч, 2,06 м³/ч, 2,78 м³/ч и 4,2 м³/ч. При подаче воздуха компрессором АСQ-903 (70 л/мин) расходы соответственно составили: 0,79 м³/ч, 0,95 м³/ч, 1,2 м³/ч, 1,56 м³/ч и 2,1 м³/ч.

3.3. Результаты исследований влияния параметров озонирования на выживаемость гриба *Penicillium sp.*

Доза озонирования для лечения тех или иных заболеваний пчел является основным параметром, используемым в алгоритме управления при групповой обработке пчелиных ульев. Определение рациональных параметров озонирования для лечения грибковых заболеваний (микозов) производилось путем экспериментальных исследований и регрессионного анализа полученных данных. Результаты проведенного эксперимента по определению влияния параметров озоновоздушной обработки на выживаемость гриба *Penicillium sp.* показаны в таблице 3.1 и на рис. 3.6.

Таблица 3.1 – Результаты исследования влияния параметров озоновоздушной обработки на выживаемость *Penicillium sp.*

№ Опыта N=9	Концентрация озона x_1 , мг/м ³	Время озонирования x_2 , мин	Число <i>Penicillium sp.</i> после воздействия, КОЕ/см ³	Выживаемость <i>Penicillium sp.</i> после воздействия y_1 , %
Контроль	0	0	$8,8 \cdot 10^{10}$	100%
1.	500	30	$2,2 \cdot 10^{10}$	25
2.	500	60	$1 \cdot 10^{10}$	11,4
3.	500	90	0	0
4.	1200	30	$2,1 \cdot 10^{10}$	23,9
5.	1200	60	$2 \cdot 10^9$	2,27
6.	1200	90	0	0
7.	2000	30	$1 \cdot 10^{10}$	11,4
8.	2000	60	$1 \cdot 10^9$	1,14
9.	2000	90	0	0

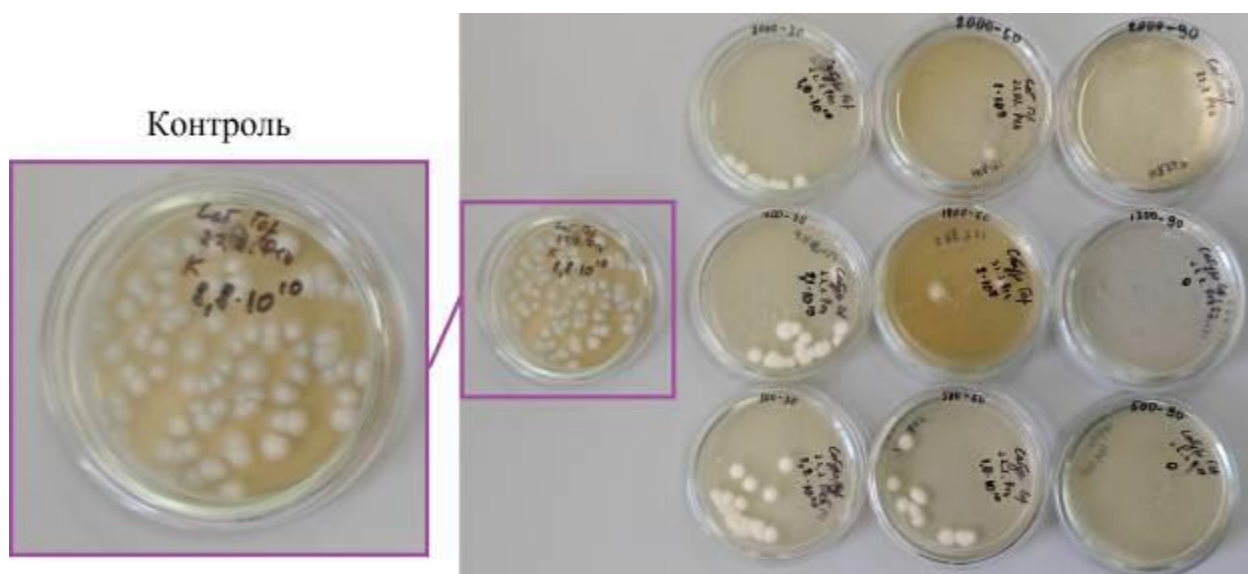


Рисунок 3.6 – Изображение чашек Петри с посевами тест-объекта контрольной группы и после обработки озоновоздушной смесью

После 72 часов с момента посева в контрольной группе количество *Penicillium sp.* составило $8,8 \cdot 10^{10}$ КОЕ/см³. Это значение было принято за 100% для подсчета выживаемости тест-объекта в обработанных образцах. Как видно из табл. 3.1, даже самая малая доза озона в эксперименте (15000 мг·мин/м³) уже приводит к существенному снижению выживаемости тест-объекта до 25 %. При увеличении дозы инактивация тест-объекта только увеличивается. Примечателен также факт влияния озона на споры гриба в эксперименте. На рис. 3.6 в контрольной чашке Петри различимы зеленые споры, тогда, как в образцах, подвергшихся воздействию озона их нет, что говорит о том, что озон подавляет спорообразование.

Проведен регрессионный анализ полученных результатов. На его базе построена эмпирическая модель в виде полинома второй степени:

$$y_1 = 62,7641 - 0,0132x_1 - 1,2063x_2 - 5,3849 \cdot 10^{-7}x_1^2 + 0,0002x_1x_2 + 0,0057x_2^2 \quad (3.1)$$

Результаты регрессионного анализа влияния параметров обработки озоном на выживаемость *Penicillium sp.* приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты регрессионного анализа влияния параметров обработки на выживаемость *Penicillium sp.*

Множественный коэффициент корреляции $R = 0,979$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,959$; скорректированный коэффициент детерминации $R_{СКОР}^2 = 0,891$; критерий Фишера $F(5,3) = 14,145$; уровень значимости $p < 0,02686$; стандартная ошибка оценки: 3,3669						
	БЕТА	Стд. Ош. БЕТА	В	Стд. Ош. В	Критерий Стьюдента $t(3)$	p – уровень значимости
Св. член			62,76407	11,57053	5,42448	0,012293
x_1	-0,83804	0,747361	-0,01318	0,01175	-1,12134	0,343807
x_2	-3,06640	0,848265	-1,20634	0,33371	-3,61491	0,036378
x_1x_2	0,79589	0,387146	0,00015	0,00007	2,05579	0,132029
x_1^2	-0,08743	0,690772	-0,00000	0,00000	-0,12657	0,907286
x_2^2	1,75097	0,815240	0,00568	0,00265	2,14780	0,120959

Согласно полученному значению скорректированного коэффициента детерминации $R_{СКОР}^2$ вариации отклика y_1 на 89,1% объясняются факторами x_1 и x_2 . Табличное значение критерия Фишера $F_{ТАБЛ}$ при $\nu_1 = 5$, $\nu_2 = 3$ и при уровне значимости $p = 0,05$ равно 9,01, что меньше расчетного $F_{РАСЧ} = 14,145$. Это говорит об адекватности полученной регрессионной модели, т.е. о ее статистической значимости.

Анализ экспериментальных данных графически представлен на рис. 3.7 и 3.8. Наибольшее влияние на выживаемость тест-объекта оказывает время обработки. Это следует из того, что наибольшую статистическую значимость имеют свободный член уравнения (3.1) и фактор x_2 (время), т.к. они имеют низкие уровни p (см. табл. 3.2 крайний правый столбец). На это также указывает высокий коэффициент БЕТА у фактора x_2 (табл. 3.1).

На рис. 3.7 показана синяя линия, выше которой находится область с выживаемостью гриба ниже 1,5%. Отсюда следует, что наименьшая доза обработки озоном, которая гарантирует значительную инактивацию *Penicillium sp.*, является $45000 \text{ мг} \cdot \text{мин} / \text{м}^3$, что соответствует следующим параметрам: концентрация озона – $500 \text{ мг} / \text{м}^3$, время обработки – 90 минут.

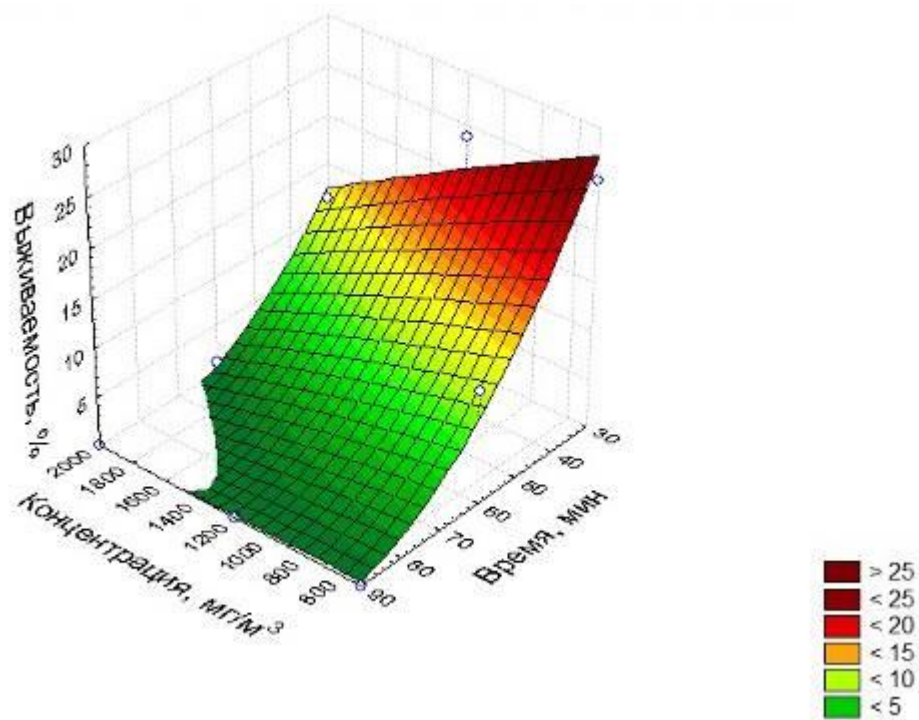


Рисунок 3.7 – Изображение поверхности полученной по регрессионной модели описывающей влияние концентрации озона в озоновоздушной смеси, подаваемой в контейнер с чашками Петри, и времени его воздействия на значение параметра выживаемости *Penicillium sp.*

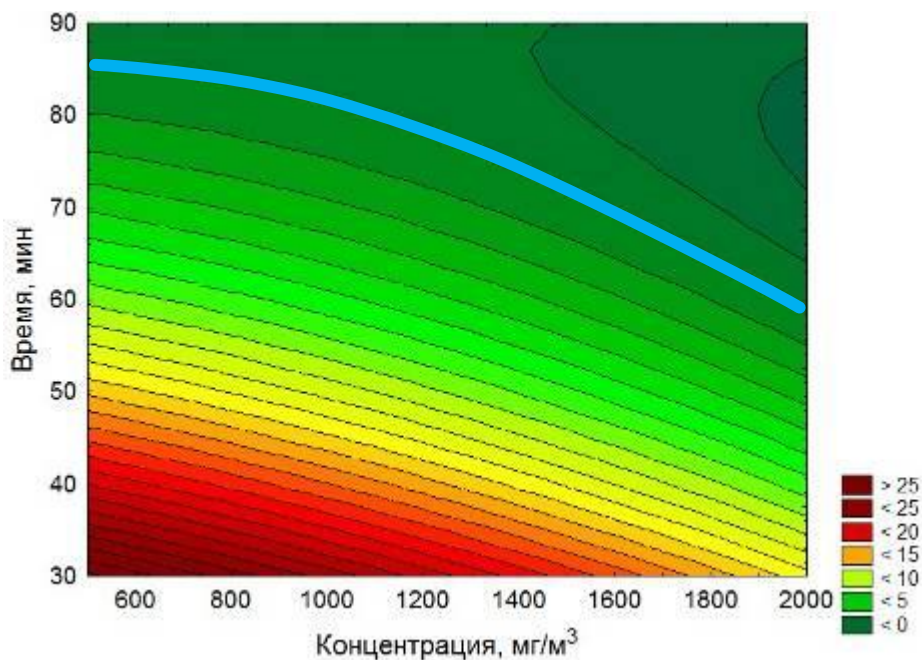


Рисунок 3.7 - Диаграмма влияния концентрации озона в озоновоздушной смеси, подаваемой в контейнер с чашками Петри, и времени воздействия на значение параметра выживаемости *Penicillium sp.*

Тогда, масса озона на 1 пчелиную рамку при обработке ульев от микозов составит согласно формуле (2.2):

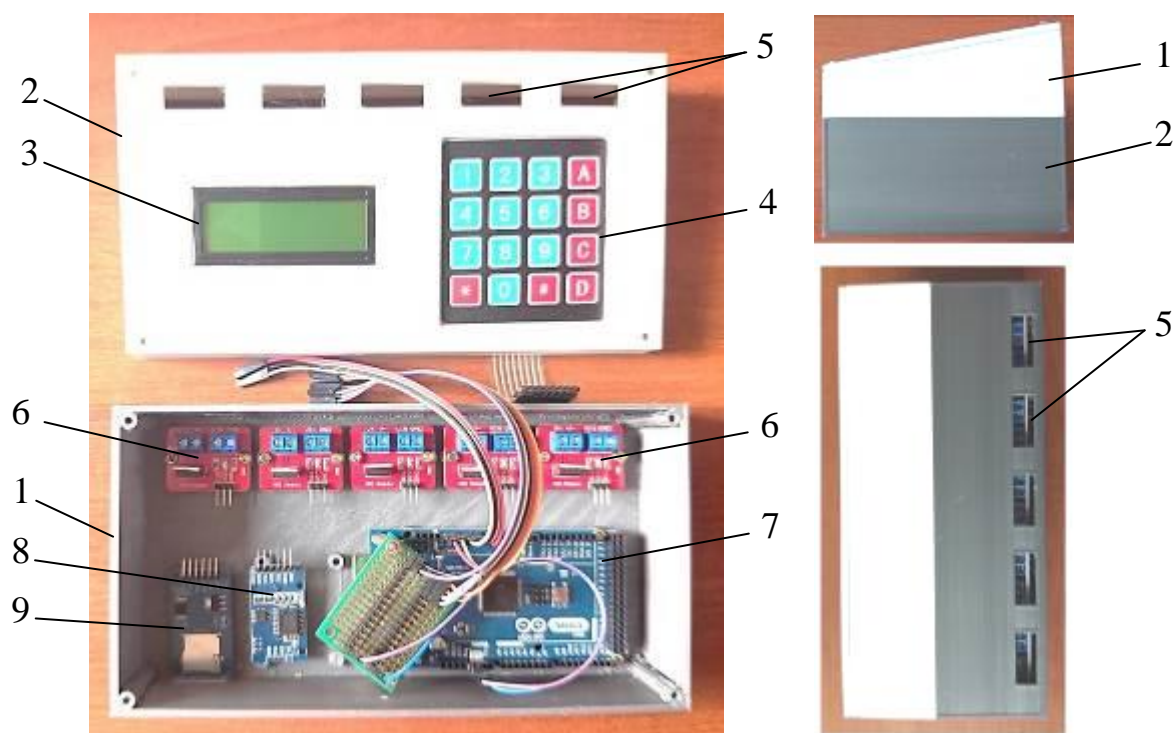
$$m_{\text{рамки}} = \frac{Q_k \cdot C_{\text{O}_3} \cdot T_{\text{обр}}}{n} = \frac{1 \cdot 500 \cdot 1,5}{12} = 62,5 \text{ мг} \quad (3.2)$$

Количество рамок в формуле (3.2) выбрано в соответствии с работой С.А. Николаенко, в которой также проводились исследования на тест-объектах вызывающих бактериозы пчел, а опыты проводились на 12-ти рамочных ульях. Полученное значение массы озона на 1 рамку практически совпадает с массой озона, полученной для стимуляции весеннего развития пчел в п. 2.1. (64,5 мг). С учетом используемого оборудования получить 62,5 мг на 1 рамку можно при концентрации 50 мг/м³ и времени обработки 15 часов (при обработке 12-ти рамочного улья). Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований разработанный ранее алгоритм управления групповой обработкой ульев озоном может быть дополнен ещё одним режимом работы – лечебно-профилактическая обработка от микозов пчел.

3.4 Проведение испытаний разработанной установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев

Для проведения испытаний установки для групповой обработки пчелиных ульев озоном, согласно разработанной принципиальной схеме в предыдущей главе, было изготовлено устройство автоматизированного управления (рис. 3.8). Система автоматики предназначена для автоматизации подачи озона в улья, предназначенное для обработки группы из 5-ти штук. Отключение подачи происходит посредством перекрытия электромагнитных клапанов. Все элементы устройства были помещены в компактный пластиковый корпус, распечатанный на 3D принтере и состоящий из двух частей. В ниж-

ней части устройства управления размещались: микроконтроллерная плата Arduino Mega 2560, часы реального времени DS3231, адаптер для подключения к микроконтроллерной плате карты памяти типа micro SD, пять силовых ключей для коммутации отдельно стоящих электромагнитных клапанов. Также в данной части присутствуют отверстия для подключения проводников к силовым ключам. На верхней панели устройства управления были помещены LCD-дисплей и клавиатура 4x4 для выбора режима работы, ввода количества рамок в ульях, а также отображения времени обработки. Данная панель имеет прямоугольные отверстия для удобства подключения проводников, соединяющих силовые ключи с электромагнитными клапанами с помощью отвертки без необходимости разбирать устройство управления.



- 1 – корпус нижней части устройства; 2 – корпус верхней панели; 3 - LCD-дисплей;
 4 – клавиатура 4x4; 5 – отверстия для подключения проводников к силовым ключам;
 6 – силовой ключ; 7 - микроконтроллерная плата Arduino Mega 2560;
 8 - часы реального времени DS3231; 9 - адаптер карты памяти типа micro SD

Рисунок 3.8 – Фотография устройства автоматизированного управления подачей озона в улья

В память микроконтроллера был загружена программа, созданная на основании ранее разработанного алгоритма (см. Приложение 3.1). Программа управления написана на языке C++ в программной среде Arduino IDE. Имена используемых в программе переменных и массивов имеют полное соответствие с таковыми в разработанном алгоритме (см. п. 2.4).

На рис. 3.9 представлена фотография полевых исследований разработанной установки на пасеке ИП глава КФХ Овсянников Дмитрий Алексеевич.



1 – озонатор; 2 – воздуховоды; 3 – устройство автоматизированного управления подачей озона в улья; 4 – электромагнитные клапаны; 5 - компрессор

Рисунок 3.9 – Фотографии полевых исследований разработанной установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев.

В испытаниях разработанной установки участвовало 20 пчелиных ульев: 10 контрольных, которые обрабатывались за сезон химическими препаратами, в частности «Оксибатоцидом» (против гнильцовых заболеваний) и столько же опытных ульев обработка озоном которых проводилась 4 раза за сезон. Обработка химическими препаратами в опытных ульях не применялась. Обработка озоном проводилась в профилактических целях со следующими параметрами: концентрация озона – 50 мг/м³, экспозиция – 15 часов. Количество одновременно обрабатываемых ульев – 5.

В результате испытаний разработанной установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев установлено увеличение силы пчелиных семей в опытной группе на 15-20% по сравнению с контролем. Снизилось поражение клещем Варроа – заклещенность в опытных ульях упала на 5%. По всей видимости это способствовало увеличению рамок с расплодом, количество которых было больше на 15% по сравнению с контролем. В результате полевых экспериментов от опытных ульев было получено меда на 10% больше, чем от контрольных. Данные результаты отражены в акте внедрения.

Таким образом разработанная установка позволяет сократить количество используемых на пасеке химических препаратов и тем самым предотвратить их попадание в продукты пчеловодства. Разработанная установка за счет автоматизированного управления озоновоздушной обработкой по созданному алгоритму позволяет исключить присутствие человека на пасеке, снизить трудоемкость и повысить эффективность обработки пчел озоном за счет точного дозирования газа для каждого улья в зависимости от количества рамок в них.

3.5 Экономическая эффективность внедрения системы группового озонирования ульев на пасеке в 50 пчелиных семей

В процессе содержания пчелосемей пчеловоды вынуждены проводить периодически профилактические и лечебные мероприятия. Это позволяет в весенний период нарастить силу пчелиных семей, что приводит к повышенным медосборам в основной сезон работы. В летний период при появлении различных инфекционных и инвазионных болезней у пчел необходимо вовремя и интенсивно провести их лечение обработать пчелоинвентарь. Несвоевременная обработка пчел может привести к сильному сокращению семьи или даже к ее гибели и рассчитывать на высокие медосборы не приходится. Нужно также учитывать, что пчелиные болезни имеют высокую способность к заражению соседних ульев. В связи с этим пчеловоды внимательно следят за состоянием ульев и применяют большое количество лечебных и профилактических препаратов.

Рядом ученых [42, 43, 47, 54, 115] доказана эффективность обработки озоном пчелосемей от сопутствующих болезней. Также ими рекомендуются проводить в течение всего сезона профилактические мероприятия. Предлагаемая установка для обработки озоном группы ульев позволит сократить пчеловодам количество применяемых химических препаратов (особенно антибиотиков), увеличить силу семей и все это при снижении трудоемкости озонирования. В итоге пчеловоды увеличат медопродуктивность пчелосемей и получат более экологичную продукцию.

Необходимые данные для экономических расчетов брались из сети Интернета и с конкретного пчеловодческого предприятия (ИП глава КФХ Овсянников Дмитрий Алексеевич), которое применять технологию озонирования. По данным самого руководителя, применяя озонирование, ему удалось в 2,5 раза сократить количество закупаемых препаратов. Мед, получаемый с ульев, подвергающихся озонированию, продавался по повышенной

цене как более экологически чистый.

Экономическую эффективность определим для пасеки в 50 ульев. Предлагаемая установка одна способна обработать такое количество ульев, но при этом необходимо будет 10 раз произвести перенос воздухопроводов с перепрограммированием устройства управления.

Первоначально рассчитаем стоимость изготовления макетного варианта установки. Основная доля затрат ляжет на НИОКР, которые определятся по формуле [36, 53]:

$$S_{\text{НИОКР}} = Z_o + Z_{\text{дон}} + H + Z_{\text{э}} + P_H + C_M + C_K \quad (3.3)$$

где Z_o – основная заработная плата разработчиков и конструкторов, руб; $Z_{\text{дон}}$ – дополнительная стимулирующая заработная плата, руб; $Z_{\text{э}}$ – затраты на энергоресурсы при проведении исследований и изготовления макета, руб; H – нормативные начисления на зарплату, руб, P_H – накладные расходы при исследованиях, руб; C_M, C_K – стоимость материалов и комплектующих макетного образца, руб.

Разработку схем, научные исследования, моделирование на ПЭВМ и эксперименты проведут два человека в течение 4 месяцев, каждый с месячным окладом согласно штатному расписанию в 40 тыс. руб. Стимулирующую надбавку принимаем в размере 20% от основной заработной платы. Начисления на зарплату составят 31% от фонда оплаты труда. Накладные расходы можно принять в размере от 50% от общего фонда оплаты труда (патентный поиск, оформление изобретения, оформление отчета НИР, публикация статей, промежуточные варианты конструкции, покупка измерительных приборов, отладка программного обеспечения системы автоматизации). Стоимость энергоресурсов возьмем укрупненно в размере 10% от основной заработной платы.

В стоимость материалов и комплектующих входят: покупка компрессора, изготовление озонатора и системы автоматизации, закупка воздухово-

дов, изготовление корпусов системы управления и т.д. Общие расходы по НИОКР макетного образца приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Общие расходы на НИОКР для изготовления макетного образца системы группового озонирования ульев

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол -во	Итого, тыс. руб.
1	Компрессор BOYV ACO-903 (125 л/мин)	шт.	1	5,80
2	Электроозонатор	шт.	1	50,00
3	Комплектующие, изготовление и отладка системы автоматики	шт.	1	25,00
4	Воздуховоды и другие материалы			15,00
5	Итого материальные затраты на всю установку	шт.	1	95,8
6	Заработная плата с начислениями, в том числе:	чел.	2	576
	-основная		2	320
	-дополнительная			64
7	Накладные расходы			192
8	Затраты на энергоресурсы			32
9	Итого			895,8

После проведения НИОКР можно подготавливать и организовывать малое серийное производство установок группового озонирования на предприятии. Расходы на проведенные НИОКР можно компенсировать получением различных грантов регионального и федерального уровня. Также в регионах существуют различные субсидии, фонды поддержки малого предпринимательства, фермеров и т.д. При изготовлении малых серий таких установок отпускная цена составит около 200 тыс. руб. (как правило, две цены материалов).

Экономические расчеты производим на примере пасеки в 50 ульев. При такой производительности предлагаемой установки групповой обработки пчел будет достаточно 1 штуки на весь сезон. Выполним технико-

экономическое обоснование для двух вариантов: за счёт сокращения количества ветеринарных препаратов и от реализации меда по повышенной цене.

Определение экономической эффективности от внедрения предлагаемой установки на пчелиной пасеке проводится с использованием рекомендованных методик, стандартов и нормативных документов, с учетом действующих банковских ставок, среднегодового уровня инфляции [36, 38, 46, 52].

Наиболее адекватным к сельскохозяйственному производству является такой экономический показатель чистый дисконтированный доход (ЧДД), который рассчитывается следующим образом [36, 38]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{i=1}^T (P_t - I_{\text{от}}) \cdot \frac{1}{(1 + E_p)^t} - K_{\text{д}}, \quad (3.4)$$

где P_t – результаты или доходы на принятом интервале расчета t , руб.; T – период расчета, лет; $K_{\text{д}}$ – дополнительные капиталовложения, руб.

Первый множитель в сумме — это фактическая прибыль предприятия или предпринимателя. Второй множитель при знаке суммы является коэффициентом дисконтирования, который определяется по формуле:

$$\alpha_t = \sum_{i=1}^T \frac{1}{(1 + E_p)^t}, \quad (3.5)$$

где E_p – норма дисконта или доходности капитала с корректировкой на инфляцию.

Норма доходности E_p с учетом инфляции рассчитывается так:

$$E_p = \frac{1 + E/100}{1 + r/100} - 1, \quad (3.6)$$

где r – установившийся уровень инфляции, %; E – ставка процента банка, %.

Срок окупаемости капитальных вложений можно вычислять по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_{Д.}}{P_T - И_T}. \quad (3.7)$$

В знаменателе этой формулы лежит среднегодовая прибыль на общем шаге расчета.

Определим затраты при работе установки на пасеке в 50 пчелиных семей за сезон. В качестве таких затрат будут расходы на электроэнергию.

Общая мощность одной установки складывается из отдельных мощностей электроозонатора (8 Вт), компрессора (70 Вт), система управления (10 Вт) и тогда общая мощность будет равна 88 Вт. За один сеанс (0,5 ч) установка может обработать 5 ульев. Следовательно, одна обработка всей пасеки буде проходить в течении 5 часов. В литературе [54] Овсянниковым Д.А. рекомендуется проводить профилактику 4 раза за сезон. Таким образом, потребление электроэнергии составит:

$$W_{год} = P_{уст} \cdot t_{сез} = 88 \cdot 20 = 1,76 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (3.8)$$

Средняя стоимость электроэнергии составляет 5,38 руб/кВт·ч [87]. Исходя из полученного результата видно, что затраты на электроэнергию несопоставимы с доходами при реализации продукции пчеловодства.

По данным Волошина С.П. применение таких технологий позволяет сократить ежегодные расходы на ветеринарные препараты в 2 раза. Следовательно, по ценам 2024 года затраты на препараты на 50 ульев за год сократятся с 40 тыс. руб. до 20 тыс. руб. [10]. При эксплуатации новой установки примем накладные расходы, для проведения технических обслуживаний и возможных текущих ремонтов, в размере 5 тыс. руб. Проведение весенней обработки озоном приводит к стимулированию развития пчелиных семей и их выходу на медосбор с большим количеством рабочих пчел. По данным Овсянникова Д.А. дополнительная обработка озоном приводила к увеличению силы семьи и прибавки медопродуктивности в среднем от 15% до 20%.

В соответствии с официальными данными в 2024 году инфляция соста-

вила 11,5%, а банковская ставка 16%. Тогда норма доходности E_p , рассчитанная по формуле 3.6, станет равной:

$$E_p = \frac{1 + E/100}{1 + r/100} - 1 = \frac{1 + 0,16}{1 + 0,115} = 0,04 \quad (3.9)$$

Средняя цена на мед в 2024 году на отечественном рынке составляет 400 руб./кг. На сегодня в связи сложившейся международной обстановкой не выгодно вывозить мед на мировые рынки, где требуется повышенная экологическая чистота меда.

Однако перспективы есть, так в соответствии с [118], сегодня цена меда на мировом рынке 4,8\$ и прогнозируется через 5 лет дойдет до 13,6\$. Если учесть тенденцию роста цен продукцию и препараты, а также возможные изменения медопродуктивности пчелосемей, то можно составить прогнозируемую результативность пчеловода на ближайшие 5 лет (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Результаты по доходности и затратам пчеловода на 5 лет

№	Показатели	2023	2024	2025	2026	2027
1	Стоимость меда при реализации на внутреннем рынке, руб./кг	400	500	550	600	650
2	Средняя медопродуктивность по меду без применения озонирования, кг/пчелиную семью	30	25	33	25	30
3	Средняя медопродуктивность по меду при озонировании, кг/пчелиную семью	34	30	36	30	36
5	Валовой доход при реализации на внутреннем рынке, тыс. руб.	680	750	990	900	1170
6	Снижение эксплуатационных затраты, связанных с закупкой лекарств, руб.	20	25	30	35	40
7	Дополнительный доход от реализации меда, тыс. руб.	80	125	82,5	150	195
11						

Используя полученные данные произведен расчет ЧДД обоснования применения озонирующей установки (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Расчет чистого дисконтированного дохода при использовании системы группового озонирования ульев

Показатели	Годы					
	0	1	2	3	4	5
Дополнительный доход от реализации продукции, тыс. руб.		80	125	82,5	150	195
Капитальные затраты на оборудование, тыс. руб.		200				
Накладные расходы, связанные с приобретением и сопутствующими затратами, тыс. руб.		5	5	5	5	5
Снижение затрат на закупку лекарств, тыс. руб.		20	25	30	35	40
Денежные потоки		-105	130	87,5	155	200
$(1+E)^{-t}$		0,961	0,924	0,888	0,854	0,821
Дисконтированный годовой доход, тыс. руб.		-100,9	120,1	77,7	132,3	164,1
ЧДД, тыс. руб.						393

Данные расчеты показывает высокую эффективность применения группового озонирования пчел. В доходной части не учитывалось также еще один положительный фактор: стимуляция развития пчел приведет к получению дополнительных отводков, которые можно продать или начать расширять свою пасеку.

Нужно также учесть при нормализации экономической ситуации в стране будет сокращаться разрыв между банковской ставкой и инфляцией. В это случае в таблице коэффициент дисконтирования будет стремиться к 1 и в пределе пятилетний дисконтированный доход возрастет до 468 тыс. руб.

Определим срок окупаемости капиталовложений с учетом формулы 3.7 и рекомендаций [53] по определению средней прибыльности за 5 лет:

$$T_{ок} = \frac{K_{д.}}{P_T - I_T} = \frac{200}{(99,1 + 120,1 + 77,7 + 132,3 + 164,1) / 5} = 1,7 \text{ года}$$

В результате усреднения все показателей экономической эффективности составлена таблица 3.6

Таблица 3.6 – Средние значения показателей экономической эффективности применения установки группового озонирования в пчеловодстве

№	Показатели	Значение показателя
1	Капиталовложения на озонирующую установку для обработки 50 пчелиных семей, руб.	200
2	Эксплуатационные затраты в год, руб.	5
3	Средняя годовая валовая продукция: тыс. руб. на 50 пчелиных семей	898
4	Среднее значение снижения расходов, связанных с закупкой лекарственных препаратов, тыс. руб.	30
5	Средний годовой дополнительный доход, тыс. руб. на 50 пчелиных семей	126,5
6	Срок окупаемости капитальных вложений, лет	1,7
7	Чистый дисконтированный доход для 50 пчелиных семей за 5 лет, тыс. руб.	468

3.6 Выводы по главе

1. Разработана установка для групповой обработки озонем 5-ти пчелиных ульев, которая может работать в 3-х режимах: стимуляция весеннего развития пчел, лечебно-профилактическая обработка от бактериальных заболеваний и лечебно-профилактическая обработка от микозов пчел.

2. Проведённые экспериментальные исследования по подтверждению теоретических положений физико-химических процессов в озонаторе показали следующее: относительная ошибка по концентрации озона не более 10,3%; относительная ошибка по скорости и расходу озонородушной смеси через воздухопроводы не более 8,9 %. Проведенное статистическое сравнение теоретических и экспериментальных данных по t-критерию Стьюдента при уровне значимости $p = 0,01$ подтвердило отсутствие статистических различий между ними.

3. На базе экспериментальных исследований получена регрессионная модель, описывающая влияние параметров озонирования ульев с пчелами на выживаемость гриба *Penicillium sp.* Регрессионный анализ модели показал,

ее высокое качество - скорректированный коэффициент детерминации $R_{СКОР}^2 = 0,891$, а также ее адекватность – табличное значение критерия Фишера при $p = 0,05$ $F_{ТАБЛ} = 9,01$, что меньше расчетного $F_{РАСЧ} = 14,145$. Данная регрессионная модель обосновывает снижение выживаемости *Penicillium sp* ниже 1,5% при изменении концентрации озона от 500 до 2000 мг/м³; времени обработки от 60 до 90 минут.

4. Проведенные полевые испытания установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев показали: увеличение силы пчелиных семей в опытной группе на 15-20% по сравнению с контролем; снижение их заклещеванности на 5%; увеличение рамок с расплодом на 15% по сравнению с контролем; увеличение медопродуктивности на 10%.

5. Расчет затрат на проведение НИОКР и изготовление макетного образца установки показал, что они составят 895,8 тыс. руб., компенсировать которые может инвестор за счет получения различных грантов регионального и Федерального уровня. При производстве небольшой партии установок группового озонирования затраты на комплектующие и материалы составят 95,8 тыс. руб., а отпускная цена установки ориентировочно будет 200 тыс. руб.

6. Экономическая эффективность применения установки группового озонирования для пасеки в 50 ульев в виде ЧДД за 5 лет составляет 468 тысяч рублей при сроке окупаемости 1,7 года. Дополнительный доход получен за счет сокращения затрат на лекарственные препараты, увеличения силы пчелиных семей и повышения их медопродуктивности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Разработана технологическая схема групповой обработки ульев, включающая компрессор, озонатор, магистральные воздухопроводы, ульи, систему управления. Определены дозы озона на 1 пчелиную рамку: для проведения стимуляции весеннего развития пчел – 64,5 мг; для проведения лечебно-профилактических обработок от бактериозов пчел – 2,5 мг. Получена формула расчета времени обработки ульев, учитывающая дозу обработки, количество рамок, подачу и концентрацию озона на входе в улей.

2. Разработана геометрическая модель с расчетной сеткой из 4,5 млн. элементов озонирующей установки для групповой обработки озоном пчелиных семей. Модель построена в ПО Comsol Multiphysics и состоит: стеклянного разрядного устройства барьерного типа заключенного в цилиндрический корпус с выходным блоком для подключения воздухопроводов.

3. Разработана математическая модель физико-химических процессов в озонирующей установке, включающая в себя начальные и граничные условия в которых заданы значения исследуемых параметров на входных и выходных границах исследуемой геометрической области, а также учитываются характеристики компрессора.

4. Результаты реализации математической модели озонирующей установки в ПО Comsol показали, что поле концентраций озона в воздухопроводах неравномерно и может отличаться в 2 раза (от 12,9 мг/м³ до 26,8 мг/м³) при их первоначальном расположении относительно разрядного устройства. Для увеличения равномерности концентраций озона предложено новое расположение воздухопроводов (провернув выходной блок на 90°) при котором концентрации в них изменяются от 20,5 мг/м³ до 21 мг/м³.

5. Моделирование в программном продукте позволило определить: потери напора, в озонаторе составившие 400 Па и общие потери напора во всей озонирующей установке равные 4980 Па. Установлена зависимость расхода

озоновоздушной смеси через воздуховоды от их количества, например, при использовании компрессора производительностью 125 л/мин и при последовательном отключении с пятого по первый воздуховод соответственно производительности составили: 1,36 м³/ч, 1,64 м³/ч, 2,06 м³/ч, 2,78 м³/ч и 4,2 м³/ч.

6. Разработан алгоритм управления режимом работы озонирующей установки, учитывающий количество рамок в каждом обрабатываемом улье, изменение расхода озоновоздушной смеси через воздуховоды, характеристику компрессора, а также дозу озона. Получена принципиальная электрическая схема системы управления озонирующей установки, позволяющая рассчитывать режим работы установки и управлять подачей озоновоздушной смеси в пчелиные ульи.

7. Изготовлена установка для групповой обработки озонами пяти пчелиных ульев, которая может работать в следующих режимах: стимуляция весеннего развития пчел, лечебно-профилактическая обработка от бактериальных заболеваний и микозов пчел. Проведённые экспериментальные исследования по подтверждению теоретических положений показали следующее: относительные ошибки по сравнению с теорией - по концентрации озона не более 10,3%; по скорости и расходу озоновоздушной смеси через воздуховоды не более 8,9 %. Статистическое сравнение теоретических и экспериментальных данных по t-критерию Стьюдента при уровне значимости $p = 0,01$ подтвердило отсутствие статистических различий между ними.

8. Получена и проанализирована регрессионная модель, описывающая влияние параметров озонирования ульев с пчелами на выживаемость гриба *Penicillium sp.* Данная регрессионная модель обосновывает снижение выживаемости *Penicillium sp.* ниже 1,5% при изменении концентрации озона от 500 до 2000 мг/м³; времени обработки от 60 до 90 минут. Определена масса озона в улье для лечения микозов пчел - 64,5 мг на 1 рамку.

9. Проведенные полевые испытания установки для групповой обработки озонами пчелиных ульев показали следующее: увеличение силы пчелиных се-

мей в опытной группе на 15-20% по сравнению с контролем; снижение их заклещеванности на 5%; увеличение рамок с расплодом на 15% по сравнению с контролем; увеличение медопродуктивности на 10%.

10. Экономическая эффективность применения установки группового озонирования для пасеки в 50 ульев в виде ЧДД за 5 лет составляет 468 тысяч рублей при сроке окупаемости 1,7 года. Дополнительный доход получен за счет сокращения затрат на лекарственные препараты, увеличения силы пчелиных семей и повышения их медопродуктивности.

Рекомендации производству

Наиболее выгодно применять установку для групповой обработки пчелиных семей для пасек с количеством ульев начиная с 20 штук. Такое оборудование позволит сократить трудоемкость лечебно-профилактических работ и сократит применение химических препаратов. Озонирующую установку нужно применять в комплексе с организационными и профилактическими мероприятиями, принятыми для использования в конкретном регионе. Эффективно также организовать малое серийное производство установок для групповой обработки ульев с учетом потребностей региона.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективно модернизировать установку для групповой обработки пчелиных семей с целью увеличения количества подключаемых обрабатываемых ульев. Проанализировать возможность создания общей установки, включающей компрессор, озонатор, систему управления. Необходимо предусмотреть выходы из системы управления на компьютер для анализа обстановки по каждому улью и разработки рекомендаций по лечению и профилактики.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтернативные способы лечения пчелиных семей [Электронный ресурс] // Сайт «Улей – все о пчелах и пчеловодстве». URL: <https://ylejbees.com/bolezni-pchel/2251-alternativnyye-sp> (Дата обращения: 10.11.2023)
2. Аширметов, А. Х. О возможности применения озона в лечении COVID-19 / А. Х. Аширметов, И. Р. Мавлянов, З. И. Мавлянов // *Juvenis Scientia*. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 5-10. – DOI 10.32415/jscientia_2021_7_3_5-10.
3. Балашова, Е. Ю. Содержание остаточных количеств антибиотиков в меде / Е. Ю. Балашова, А. С. Фарамазян, Е. В. Александрова, И. В. Гадалина // *Пчеловодство*. – 2012. – № 4. – С. 52-53.
4. Безруких, Н. С. Влияние влажности воздуха на работу озонатора при обработке замкнутых объемов / Н. С. Безруких // *Вестник КрасГАУ*. – 2010. – № 10(49). – С. 15-19.
5. Блинов, Н. В. Изыскание новых экологически безопасных средств борьбы с аскоферозом пчел : специальность 16.00.06 : диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Блинов Николай Валерьевич. – Москва, 2002. – 131 с.
6. Бобкова, Г. Н. Диагностика и профилактика заразных и незаразных болезней пчел : Учебно-методическое пособие к лабораторно-практическим занятиям по курсу "Болезни пчел", "Болезни пчел и рыб" для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по специальности 111201 – "Ветеринария" / Г. Н. Бобкова, Л. М. Луцевич, А. А. Бобков. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2010. – 75 с.
7. Богатова, О. В. Нетрадиционные технологические приемы в промышленном птицеводстве : специальность 06.02.04 "Ветеринарная хирургия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Богатова Ольга Викторовна. – Оренбург, 1996. – 39 с.

8. Былгаева, А. А. Перспективы использования электрохимически активированных жидких сред в сельском хозяйстве / А. А. Былгаева, Н. А. Обоева, М. П. Неустроев [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 4. – С. 176-181.
9. В 2023 году нехватка пчел снизила урожайность сельхозкультур на Юге [Электронный ресурс] // Сайт журнала «Аргументы и факты». URL: https://kuban.aif.ru/apk/v_2023_godu_nehvatka_pchel_snizila_urozhaynost_selhozkultur_na_yuge (Дата обращения: 02.11.2023).
10. Волошин С.П. Параметры и режимы комбинированной электроактиваторной установки для получения дезинфицирующих растворов в пчеловодстве: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / С.П. Волошин; Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. – Краснодар, 2019. – 151 с.
11. Воронина Е.Н. Влияние озонно-аэроионной смеси на жизнеспособность некоторых фитопотогенных микроорганизмов / Е.Н. Воронина, Ф.К. Фомичев // Вестник Белорусского государственного университета имени В. И. Ленина. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 1983. – № 1. – С. 20-23.
12. Галяутдинова, Г. Г. Антибиотики и пестициды в меде: пути попадания и методы определения / Г. Г. Галяутдинова, В. И. Егоров, П. А. Гуревич, М. Ф. Писцов // Пчеловодство. – 2020. – № 8. – С. 46-48.
13. Гениатулина, И. А. Влияние озона на человека. Необходимые требования безопасности при работе с озонаторными установками в различных отраслях экономики / И. А. Гениатулина // Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения - 2017 : материалы международной научно-практической конференции, Лесниково, 25–26 мая 2017 года. – Лесниково: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2017. – С. 28-31.

14. Гробов О.Ф. Болезни и вредители медоносных пчел: Справочник / О.Ф. Гробов, А.М. Смирнов, Е.Т. Попов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 335 с: ил.
15. Документация на модуль CFD программы Comsol Multiphysics. Comsol.Inc. – 1014 с.
16. Документация на модуль Electrochemistry программы Comsol Multiphysics. Comsol.Inc. – 416 с.
17. Документация на модуль Plasma программы Comsol Multiphysics. Comsol.Inc. – 436 с.
18. Егорова, Е. В. О растворимости озона в воде / Г. В. Егорова, В. А. Вобликова, Л. В. Сабитова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. – 2015. – Т. 56, № 5. – С. 261-265.
19. Егорова, С. Н. Анолит и католит помогут при заболеваниях пчел / С. Н. Егорова // Наука и мир. – 2014. – № 6-1(10). – С. 90-91.
20. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: Т. 5: поголовье сельскохозяйственных животных: кн. 1.: поголовье сельскохозяйственных животных. Структура поголовья сельскохозяйственных животных. / Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. – 450 с.: с диагр. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VSHP%202016_T5_k1_web.pdf
21. Как выбрать модель турбулентности для решения задач вычислительной гидродинамики? [Электронный ресурс] // Блог компании COMSOL. URL: <https://www.comsol.ru/blogs/which-turbulence-model-should-choose-cfd-application/> (Дата обращения: 15.01.2023).
22. Кашковский, В. Г. Лечение пчелиных семей без лекарств, или зоотехнический метод борьбы с болезнями пчел / В. Г. Кашковский, А. А. Плахова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 2(59). – С. 115-124.

23. Колосова, С. Ф. Применение электрохимически активированного водного раствора анолита при болезнях пчел / С. Ф. Колосова, Д. Е. Акимбаев, И. В. Кашкарова, Т. А. Диденко // Молодой ученый. – 2017. – № 35(169). – С. 20-22.
24. Корнев, А. С. Применение озонаторных установок в сельском хозяйстве и факторы, влияющие на здоровье человека при работе с озоном / А. С. Корнев, А. Д. Головин, В. В. Кочергин, И. А. Пожидаев // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 11–12 ноября 2021 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. – С. 236-240.
25. Котельников, С. Н. Исследование процесса разложения озона в воздухе водным аэрозолем / С. Н. Котельников, В. А. Миляев, С. В. Орлов [и др.] // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 436, № 5. – С. 637-640.
26. Кузьмин, Г. Н. Антисептик для пасек / Г. Н. Кузьмин, В. И. Винокуров, О. А. Манжурина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1(20). – С. 69-71.
27. Курченко, Н. Ю. Параметры и режимы электроактиватора для приготовления рабочего состава гербицидов : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Курченко Николай Юрьевич. – Краснодар, 2015. – 22 с.
28. Курченко, Н. Ю. Применение электроактивированной воды в сельском хозяйстве России / Н. Ю. Курченко // Scientific Discoveries : Proceedings of articles the international scientific conference , Karlovy Vary - Moscow, 28–29 января 2016 года / Editors prof. E.Ja. Orehova, T.M. Jel'dieva, L.P. Peretjatko. – Karlovy Vary - Moscow: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2016. – С. 17-26.

29. Лаврентьев Б.Ф. Повышение рентабельности пчеловодства в России за счет создания специализированных приборов // Научный альманах. 2015. № 5. С. 179–184.
30. Лаврентьев, Б. Ф. Установка непрерывного получения серебряной воды для повышения жизнеспособности пчелосемей на пасеках / Б. Ф. Лаврентьев, М. С. Коваль // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2019. – Т. 5, № 4(20). – С. 396-402.
31. Лоза, А.А. Моделирование физико-химических процессов в электроозонаторе для пчеловодства / А.А. Лоза // 21 век: фундаментальная наука и технологии: Материалы XXXIII международной научно-практической конференции. – Индия, 2-3 октября 2023 года. – С. 109-111.
32. Лоза, А.А. Обоснование параметров системы группового озонирования ульев / С.В. Оськин, А.А. Лоза // Международный научно-исследовательский журнал. — 2023. — №12 (138). — URL: <https://research-journal.org/archive/12-138-2023-december/10.23670/IRJ.2023.138.20> (дата обращения: 06.01.2024). — DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.20
33. Лоза, А.А. Обработка озоном группы пчелиных ульев / А.А. Лоза // Повышение эффективной эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко. – Саратов, 22 декабря 2023 года. Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023. – С. 210-214.
34. Лоза, А.А. Особенности озонвоздушной обработки пчелиных ульев / А.А. лоза // Научные исследования стран ШОС: Синергия и интеграция: Материалы Международной научной конференции – Китай, 30 сентября 2023 года. – С. 193-197.

35. Лысенко, А. А. Ассоциативные болезни пчел на пасеках Кубани / А. А. Лысенко, С. Рахил // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов : Сборник тезисов по материалам Международной конференции, Краснодар, 03–04 апреля 2018 года / Отв. за выпуск А.Г. Кошаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – С. 45.
36. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. - М.: Минсельхозпром России, 1998. – 220 с.
37. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). [Электронный ресурс] // ООО «НПП "ГАРАНТ-СЕРВИС»». URL: <https://base.garant.ru/2320803>
38. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. – М.: Информэлектро, 1994.- 141 с.
39. Мирзаахмедов, К. Б. Предпосевная электроимпульсная обработка семян хлопчатника, увлажненного электроактивированной водой : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мирзаахмедов Касанбой Бойдарович. – Ташкент, 1996. – 20 с.
40. Морева, Л. Я. Особенности борьбы с нозематозом в Краснодарском крае / Л. Я. Морева, А. А. Мирзоян // Пчеловодство. – 2022. – № 8. – С. 25-27.
41. Никакого устойчивого действия [Электронный ресурс] // Сайт журнала «Пчеловодство». URL: <https://beejournal.ru/deutsches-bienen/1890-nikakogo-ustojchivogo-dejstviya> (Дата обращения: 05.11.2023).
42. Николаенко С.А. Параметры системы стабилизированного электроозонирования ульев при лечении бактериозов пчел: дис. ... канд. техн. наук:

- 05.20.02 / Николаенко Сергей Анатольевич; ФГБОУ ВО КГАУ им. И.Т. Трубилина; науч. рук. Д.А. Овсянников. — Краснодар, 2010. — 175 с.
43. Нормов, Д. А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Нормов Дмитрий Александрович. – Краснодар, 2008. – 340 с.
44. О пчеловодстве : Закон Краснодарского края № 637-КЗ от 25.11.2003 : принят Законодательным собранием Краснодарского края 19.11.2003.
45. Обеспеченность Краснодарского края пчелами для опыления сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс] // Сайт государственного казенного учреждения Краснодарского края «Кубанский сельскохозяйственный информационно-консультационный центр. URL: <http://www.kaiccc.ru/pchelovodstvo/obespechennost-krasnodarskogo-kraja> (Дата обращения: 02.11.2023)
46. Овсянников Д. А. Оценка экономической эффективности использования озonoобработки для повышения медопродуктивности пчел / Овсянников Д. А., Заболотная И. А. – В кн.: Материалы межвузовской научной конференции факультетов механизации, энергетики и электрификации «Энергосберегающие технологии и процессы в АПК». – Краснодар: КГАУ, 2003. – 2 с.
47. Овсянников Д.А. Технология стимуляции электроозонированием весеннего развития пчелиных семей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Овсянников Дмитрий Алексеевич; ФГБОУ ВО КГАУ им. И.Т. Трубилина; науч. рук. Д.А. Нормов. — Краснодар, 2004. — 169 с.
48. Овсянников, Д. А. Технология стимуляции электроозонированием весеннего развития пчелиных семей : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата

- технических наук / Овсянников Дмитрий Алексеевич. – Краснодар, 2004. – 20 с.
49. Осипова, Н. И. Сохранение тетрациклина и окситетрациклина в меде после неправильного применения этих антибиотиков в пчелиных семьях / Н. И. Осипова // Ветеринария. Реферативный журнал. – 2006. – № 3. – С. 634.
50. Особенности пчеловодства на Кубани [Электронный ресурс] // Сайт fermok.ru. URL: <https://fermok.ru/2017/09/osobennosti-pchelovodstva-na-kubani/> (Дата обращения: 02.11.2023)
51. Оськин С.В. Применение электротехнологии подготовки воды в сельском хозяйстве / С. В. Оськин, Н. Ю. Курченко, А. А. Милейко, М. И. Кустов // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2016. – № 1(25). – С. 110-116.
52. Оськин С.В. Техничко-экономическое обоснование производства и внедрения электроактиваторов / С.В. Оськин, Н.Ю. Курченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №06(110). С. 907 – 926. – IDA [article ID]: 1101506060. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/60.pdf>, 1,25 у.п.л.
53. Оськин С.В. Экономическое обоснование организационно-технических мероприятий в курсовых и дипломных проектах / С. В. Оськин, В. Я. Хорольский, О. А. Гончарова, А. И. Вандтке. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2008. – 108 с.
54. Оськин С.В. Электротехнологические способы и оборудование для повышения производительности труда в медотоварном пчеловодстве Северного Кавказа: монография. / С.В. Оськин, Д. А. Овсянников - Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015.- 198 с.

55. Оськин, А. С. Технические средства повышения эксплуатационных показателей электроактиваторных установок для приготовления консерванта при силосовании кукурузы : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Оськин Александр Сергеевич. – Краснодар, 2012. – 24 с.
56. Пат. 1819557 СССР, МПК А01N 59/00. Способ получения стимулятора роста и развития растений / О.А. Пасько, А.В. Семенов. – № 4943544; заявл. 10.06.1991; опубл. 07.06.1993.
57. Пат. 2038774 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Состав для дезинфекции объектов пчеловодства / А.М. Смирнов, Г.И. Игнатьева, Р.Т. Ключко, В.В. Гордин, О.И. Демин, В.А. Экстрин, А.Б. Сохликов; заявители и патентообладатели Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – № 92015628/15; заявл. 30.12.1992; опубл. 09.07.1995.
58. Пат. 2098084 Российская Федерация, МПК А61К 31/00. Способ борьбы с гнильцовыми заболеваниями пчел / С.Д. Каракотов, С.В. Костенко, В.В. Подзоров, Т.А. Ануфриева; заявители и патентообладатели С.Д. Каракотов, С.В. Костенко, В.В. Подзоров, Т.А. Ануфриева. – № 95117661/13; заявл. 21.09.1995; опубл. 10.12.1997.
59. Пат. 2140169 Российская Федерация, МПК А23L 1/076, А61К 35/64. Способ производства лекарственной субстанции – перги и установка для осуществления способа / Ж.Ж. Сибгатуллин, И.А. Шарин; заявитель Татарское региональное отделение Академии технологических наук РФ; патентообладатели Ж.Ж. Сибгатуллин, И.А. Шарин, Л.Т. Ахметова. – № 98104299/13; заявл. 10.03.1998; опубл. 27.10.1999.
60. Пат. 2156060 Российская Федерация, МПК А01К 47/00. Способ обслуживания пчел / Е.Н. Болотский, В.Н. Болотский, В.М. Бахир, Ю.Г. Задорожный; заявители и патентообладатели ООО «Лаборатория электротехнологий».

- трохимических технологий». – № 99102316/13; заявл. 04.02.1999; опубл. 20.09.2000, Бюл. №26.
61. Пат. 2215410 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с восковой молью / В.К. Андрейчук, Д.А. Нормов, С.В. Оськин; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2001132922/13; заявл. 03.12.2001; опубл. 10.11.2003, Бюл. №31.
62. Пат. 2216934 Российская Федерация, МПК А01К 51/00, А61L 2/00. Способ дезинфекции пчелиных соторамок и пчелоинвентаря / Д.А. Нормов, В.В. Лисицын, Д.А. Овсянников; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2001132933/13; заявл. 03.12.2001; опубл. 27.11.2003, Бюл. №33.
63. Пат. 2217909 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ обеззараживания пчелиных соторамок при нозематозе / Д.А. Нормов, В.В. Лисицын, Д.А. Овсянников; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2001132923/13; заявл. 03.12.2001; опубл. 10.12.2003, Бюл. №34.
64. Пат. 2237404 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с аскосферозом (варианты) / Д.А. Нормов, Д.А. Овсянников, И.А. Заболотная, В.В. Вербицкий, Т.А. Нормова; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2002135255/12; заявл. 25.12.2002; опубл. 10.10.2004, Бюл. №28.
65. Пат. 2278691 Российская Федерация, МПК А61L 2/16, А61L2/18. Способ дезинфекции ульев и пчеловодческого инвентаря при аскосферозе пчел / Г.Н. Кузьмин, В.И. Винокуров, О.А. Манжурина, В.В. Свистов, А.В. Винокуров; заявители и патентообладатели ФГОУ ВПО «Воро-

- нежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки». – № 2005105378/15; заявл. 24.02.2005; опубл. 27.06.2006, Бюл. №18.
66. Пат. 2279214 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ дезинфекции помещений хранения пчелиного инвентаря и ульев и состав для его осуществления / А.В. Баринов, В.Ф. Баринов, И.А. Жигулин, И.В. Зверева; заявители и патентообладатели А.В. Баринов, И.А. Жигулин. – №2004135996/15; заявл. 09.12.2004; опубл. 10.07.2006, Бюл. №19.
67. Пат. 2318381 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел / А.А. Овсянников, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2006128061/12; заявл. 01.08.2006; опубл. 10.03.2008, Бюл. №7.
68. Пат. 2318382 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с восковой молью / Д.А. Овсянников, В.В. Лисицын, С.А. Николаенко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2006128838/12; заявл. 08.08.2006; опубл. 10.03.2008, Бюл. №7.
69. Пат. 2324343 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел / Д.А. Нормов, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2006128060/12; заявл. 01.08.2006; опубл. 20.05.2008, Бюл. №14.
70. Пат. 2325800 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ дезинфекции ульев и пчеловодческого инвентаря при аскосферозе пчел / Л.И. Ефанова, О.А. Манжурина, Е.Т. Сайдулин, С.В. Куркин, В.И. Винокуров, Г.Н. Кузьмин, А.А. Манжурина, В.А. Манжурина, А.В. Винокуров; заявители и патентообладатели ФГОУ ВПО «Воронежский

- государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки». – № 2006107253/12; заявл. 09.03.2006; опубл. 10.06.2008, Бюл. №16.
71. Пат. 2388219 Российская Федерация, МПК А01К 47/00. Способ профилактики вирусных заболеваний пчел и повышения их продуктивности / Г.А. Ноздрин, В.Г. Кашковский, А.А. Плахова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Новосибирский государственный аграрный университет. - № 2008122811/12; заявл. 05.06.2008; опубл. 10.05.2010, Бюл. №13
72. Пат. 2415568 Российская Федерация, МПК А01К 51/00, В82В 1/00, В01О 13/00. Способ борьбы с болезнями пчел с использованием биоцидных свойств наночастиц металлов / И.П. Ефимов, Н.М. Сметанин, Н.Н. Смирнов; заявители и патентообладатели И.П. Ефимов, Н.М. Сметанин, Н.Н. Смирнов, ООО «АпиРусс-Добрыня». – № 2009111190/21; заявл. 27.03.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл №28.
73. Пат. 2430511 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел / Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, А.П. Волошин, Д.С. Цокур, Д.Н. Дуданец; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010105580/21; заявл. 16.02.2010; опубл. 10.10.2011, Бюл. №28.
74. Пат. 2475023 Российская Федерация, МПК А01К 51/00, А23К 1/04, А61К 35/14, А61Р 1/00. Способ профилактики кишечных заболеваний пчел / В.И. Терехов, И.В. Сердюченко, Д.А. Овсянников; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина. - № 2011112531/13; заявл. 01.04.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. №5
75. Пат. 2531610 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел / Д.Д. Чертков, В.А. Бараников, Ю.А. Колосов, Б.Д. Чертков, Я.П. Крыця, А.В. Федоров, В.В. Федорова; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный

университет». – № 2012142948/13; заявл. 08.10.2012; опубл. 27.10.2014, Бюл. №30.

76. Пат. 2544960 Российская Федерация, МПК А01С 1/00, С02F 1/00. Способ выращивания зеленых гидропонных кормов / С.А. Мирошников, Н.Н. Докина, Б.Г. Рогачев, Л.Н. Павлов, В.А. Манина, Е.А. Ажмулдинов, В.А. Сечин, М.А. Кизаев, Г.Б. Родионова, В.И. Корнейченко, Ю.Н. Сидоров, В.Л. Королев; заявители и патентообладатели ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства Российской академии сельскохозяйственных наук. – № 2013143266/13; заявл. 24.09.2013; опубл. 20.03.2015, Бюл. №8.
77. Пат. 2552672 Российская Федерация, МПК А01К 47/00. Состав для стимуляции развития пчелиных семей, профилактики и лечения аскосфероза / Р.Г. Фархутдинов, Ю.В. Туктарова, Р.А. Ильясов, А.А. Иванов, Ю.П. Воронков, В.М. Шафикова; заявитель и патентообладатель Р.Г. Фархутдинов. - №2014103783/13; заявл. 04.02.2014; опубл. 10.06.2015, Бюл. №16.
78. Пат. 2658391 Российская Федерация, МПК А23К 50/75, А23К 20/142, А61К 33/34, В82В 1/00. Способ повышения продуктивности цыплят-бройлеров путем внутримышечных инъекций лиозолей наноформ железа и меди в смеси со стабилизированным электрохимически активированным водным раствором католита / С.А. Мирошников, Е.А. Сизова, В.А. Манина, Е.В. Якушева, Б.Г. Рогачев; заявители и патентообладатели ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства. – № 2017119134; заявл. 31.05.2017; опубл. 21.06.2018, Бюл. №18.
79. Пат. 2681230 Российская Федерация, МПК А01К 51/00, А01К 47/00. Способ лечения пчел от клеща Варроа / С.К. Королев; заявитель и патентообладатель С.К. Королев. - № 2018122521; заявл. 20.06.2018; опубл. 05.03.2019, Бюл. №7.

80. Пат. 2709748 Российская Федерация, МПК А01К 1/00, А61L 9/14. Способ выращивания телят с ОРЗ / О.Г. Петрова, М.И. Барашкин, И.М. Мильштейн, С.В. Патрушев, А.А. Петров; заявители и патентообладатели ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет». – № 2019114521; заявл. 13.05.2019; опубл. 19.12.2019, Бюл. №35.
81. Перевод концентрации газов [Электронный ресурс] // Инженерный справочник. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuideChemistry/Concentration/GasesConcentration/> (Дата обращения: 20.01.2023).
82. Пол. модель 143083 Российская Федерация, МПК С02F 1/46. Прибор для получения «серебряной» воды / Б.Ф. Лаврентьев, Г.В. Бусыгин, Ю.А. Бастраков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет». – № 2013128683/05; заявл. 24.06.2013; опубл. 10.07.2014, Бюл. №19.
83. Пол. модель 144849 Российская Федерация, МПК С02F 1/467. Прибор для получения «серебряной» воды / Б.Ф. Лаврентьев, В.И. Федосеев, А.А. Эмекин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет». – № 2013123971/05; заявл. 24.05.2013; опубл. 10.09.2014, Бюл. №25.
84. Пол. модель 193875 Российская Федерация, МПК А01К 47/00. Термокамера для лечения пчел от клеща Варроа / С.К. Королев; заявитель и патентообладатель С.К. Королев. – № 2019130409; заявл. 25.09.2019; опубл. 19.11.2019, Бюл. №32.
85. Пол. модель 205491 Российская Федерация, МПК А01Л 57/00, А01К 47/00, А01К 51/00. Устройство для термомеханического обеззараживания медоносных пчел от паразитирующего клеща Варроа Якобсони / Д.А. Попов, М.А. Попов, А.И. Попов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственный пче-

- ловодческий комплекс». – № 2020134578; заявл. 21.10.2020; опубл. 16.07.2021, Бюл. №20.
86. Пол. модель 9735 Российская Федерация, МПК А61К 35/64. Установка для обеззараживания перги и перговой суши / Ж.Ж. Сибгатуллин, Л.Т. Ахметова, И.А. Шарин; заявитель Ж.Ж. Сибгатуллин; патентообладатели А.П. Евдокимов Ж.Ж. Сибгатуллин. – № 98118845/20; заявл. 19.10.1998; опубл. 16.05.1999.
87. Постановление подписано, тарифы за свет для россиян изменят. [Электронный ресурс] // Сервис для публикации текстов Яндекс. Дзен. URL: <https://dzen.ru/a/ZYzgAM8DtxTygJVl> (Дата обращения: 20.01.2024).
88. Программа аэродинамического расчета сети воздухопроводов [Электронный ресурс] // ООО "ЛК Вент". URL: <https://lkvent.ru/raschetnye-programmy/aerodinamicheskiiy-raschet/#down>. (Дата обращения: 10.01.2023).
89. Пчеловодство в Краснодарском крае [Электронный ресурс] // Сайт «Улей – все о пчелах и пчеловодстве. URL: <https://ylejbees.com/pchelovodstvo-v-mire/1312-pchelovodstvo-v-krasnodarskom-krae> (Дата обращения: 02.11.2023).
90. Пчеловодство на Кубани [Электронный ресурс] // Сервис для публикации текстов Яндекс. Дзен. URL: https://dzen.ru/a/X_Nl8tGpBkHKqzFd (Дата обращения: 02.11.2023)
91. Ржеусский, С. Э. Изучение антимикробной активности повиаргола / С. Э. Ржеусский, А. Г. Довнар, В. В. Кугач // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2015. – Т. 14, № 6. – С. 120-126.
92. Савельев, А. А. Нормированное содержание пасеки как фактор профилактики заболеваний пчел / А. А. Савельев // Студенческая наука - взгляд в будущее : Материалы XV Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 26–27 марта 2020 года. Том Часть 1. – Красноярск:

- Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – С. 262-265.
93. Свистунов, С. В. Пчеловодство Краснодарского края / С. В. Свистунов, С. А. Плотников // Перспективы развития пчеловодства в условиях индустриализации АПК : Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, Краснодар, 14–16 октября 2020 года / Отв. за выпуск В.И. Комлацкий. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – С. 141-146.
94. Сердюченко, И. В. Влияние озона на микрофлору кишечного тракта медоносных пчел карпатской породы / И. В. Сердюченко // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1. – С. 94-96.
95. Серкова, О. П. Перспективы применения озона в сельском хозяйстве / О. П. Серкова // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1. – С. 78-81.
96. Силкин, Е. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности. Часть 1 / Е. Силкин // Компоненты и технологии. – 2008. – № 6(83). – С. 136-143.
97. Слостэнский, И. В. Пчелы: мед и другие продукты / И. В. Слостэнский. - Ленинград : Лениздат, 1987. – 158 с.
98. Смирнов, А. М. Эффективность дезинфектантов на основе активного кислорода при американском гнильце пчел / А. М. Смирнов, А. Б. Сохликов, А. В. Блинов [и др.] // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2023. – № 1(45). – С. 18-23.
99. Соловьева, Л. Ф. Экологически чистые приемы профилактики и лечения болезней пчел / Л. Ф. Соловьева // Апитерапия сегодня : Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции, Рыбное, 28–30 мая 2009 года. Том Сборник 14. – Рыбное: НИИП, 2009. – С. 214-220.

100. Сохликов, А. Б. Мероприятия по охране пчел от заноса возбудителей опасных болезней пчел / А. Б. Сохликов, А. М. Смирнов, С. Н. Луганский [и др.] // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2022. – № 3(43). – С. 293-298.
101. Стеганцова, И. В. Пути совершенствования пчеловодства в Краснодарском крае / И. В. Стеганцова, А. А. Лысенко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 73-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2017 год, Краснодар, 25 апреля 2018 года / Ответственный за выпуск А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – С. 232-234.
102. Сторчевой В.Ф. Эффективность применения способа озонирования дезинфицирующего раствора для стимуляции и роста растений с учетом конструктивных особенностей системы озонирования / В. Ф. Сторчевой, Д. А. Гуров, Н. Е. Кабдин [и др.] // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (г. Москва, 19-20 декабря 2023 г.), посвященной 100-летию со дня рождения ветерана Великой Отечественной Войны, заслуженного деятеля науки и техники, заслуженного изобретателя РФ, д.т.н., профессора Николая Федоровича Тельнова, Москва, 19–20 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2024. – С. 91-98.
103. Сухов В. В. Основы конструирования и расчета теплообменных аппаратов [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине / В.В. Сухов, Г.М. Казаков – Нижний Ново-

- город: ФГБОУ ВО ННГАСУ, 2009. - 60 с. - Режим доступа: <https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/thermotechnics/4712.pdf>
104. Сюсюра, Н. А. Обоснование параметров электроактивированного раствора и режимов работы бездиафрагменного электроактиватора в технологии предпосевной обработки семян зерновых культур : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сюсюра Николай Александрович. – зерноград, 2003. – 19 с.
105. Ткаченко, И. С. Моделирование синтеза озона в поверхностном барьерном разряде в кислороде : специальность 02.00.04 "Физическая химия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Ткаченко Илья Сергеевич. – Москва, 2010. – 151 с.
106. Тропи наступает: новая для России болезнь пчелиного расплода [Электронный ресурс] // Новое федеральное СМИ - АгроЭксперт. URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/tropi-nastupaet-novaya-dlya-rossii-bolezn-rchelinogo-rasploda/> (Дата обращения: 02.11.2023).
107. Формулы. Молекулярно-кинетическая теория [Электронный ресурс] // Вся физика. Научно образовательный проект URL: https://sfiz.ru/materials/spravks/molekuljarno-kineticheskaja_teoriya (Дата обращения: 12.01.2023).
108. Функция распределения электронов по энергии [Электронный ресурс] // Блог компании Comsol. URL: <https://www.comsol.ru/blogs/electron-energy-distribution-function> (Дата обращения: 12.01.2023).
109. Химик КФУ рассказал о пользе и вреде серебряной воды [Электронный ресурс] // Сайт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». URL: <https://media.kpfu.ru/news/khimik-kfu-rasskazal-o-polze-i-vrede-serebryanoj-vody#:~:text=«Действительно%2С%20ионы%20серебра%20обладают%20>

дезинфицирующими,эффект%2С%20что%20и%20на%20микробы (Дата обращения: 10.11.2023)

110. Циколенко, С. П. Обеззараживание озоном пчелиной пыльцевой обножки и углеводного корма / С. П. Циколенко, М. Л. Гордиевских, А. С. Циколенко // Гавриш. – 2011. – № 1. – С. 36-38.
111. Черных, О. Ю. Современные особенности заразных болезней пчел на пасеках Краснодарского края / О. Ю. Черных, А. А. Лысенко, В. В. Чернышева // Ветеринария Северного Кавказа. – 2023. – № 8. – С. 105-112.
112. Чернышов А. В. Влияние озонной обработки при хранении семян кукурузы на урожайность культуры и качество зерна / И. В. Баскаков, А. В. Чернышов, В. И. Оробинский [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 13, № 2(65). – С. 12-21.
113. Чернышов А. В. Влияние процесса озонирования на качественные показатели зерна озимой пшеницы / И. В. Баскаков, А. В. Чернышов, В. И. Оробинский [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 1. – С. 177-189.
114. Число пчелосемей на Кубани сократилось в два раза! Что делать? Депутат Госдумы от КПРФ провёл круглый стол по развитию пчеловодства: [Электронный ресурс] // Общественно-политический портал «Утренний юг». URL: https://utyug.info/new/27953/?sphrase_id=27223 (Дата обращения: 01.11.2023)
115. Шишигин, И. Н. Параметры и режимы охладителя воздуха на основе элементов Пельтье для озонаторов в пчеловодстве : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шишигин Игорь Николаевич; ФГБОУ ВО КГАУ им. И.Т. Трубилина; науч. рук. Оськин С.В. – Краснодар, 2023. – 117 с.
116. Шульгина, Т. А. Антибактериальное действие водных дисперсий наночастиц серебра на грамотрицательные микроорганизмы (на примере

- Escherichia coli*) / Т. А. Шульгина, И. А. Норкин, Д. М. Пучиньян // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 7-2. – С. 424-426.
117. Щербина, А. А. Применение технологий с использованием озона в сельском хозяйстве / А. А. Щербина, И. В. Зверев // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2016 год, Краснодар, 01 февраля – 01 2017 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. – С. 646-648.
118. Honey Price Prediction [Электронный ресурс] // Walletinvestor. URL: <https://walletinvestor.com/forecast/honey-prediction>
119. Kasimov A. On the detonation structure in ozone / A. Kasimov, V. Shargatov // ICDERS. – 2011. – 5 p.
120. Pekárek, S. Experimental Study of Nitrogen Oxides and Ozone Generation by Corona-Like Dielectric Barrier Discharge with Airflow in a Magnetic Field / S. Pekárek // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2017. – Vol. 37, No. 5. – P. 1313-1330.

Листинг 1.1 – Пример кода программы для автоматизированного управления групповой обработкой пяти пчелиных семей на базе микроконтроллерной платы Arduino

```
// подключение необходимых библиотек
#include <LiquidCrystal.h> // подключение библиотеки для работы с LCD-дисплеем
#include <Keypad.h> // подключение библиотеки для работы с клавиатурой
// объявление переменных, отвечающих за ввод информации
const byte ROWS = 4; // объявление количества строк клавиатуры
const byte COLS = 4; // объявление количества столбцов клавиатуры
// объявление расположения кнопок клавиатуры
char keys[ROWS][COLS] =
{
  {'D','C','B','A'},
  {'#','9','6','3'},
  {'0','8','5','2'},
  {'*','7','4','1'}
};
// объявление пинов к которым подключены кнопки клавиатуры
byte rowPins[ROWS] = {21, 20, 19, 18};
byte colPins[COLS] = {17, 16, 15, 14};
Keypad kpd = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );
// объявление пинов к которым подключен LCD-дисплей
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
// вспомогательные переменные для последовательной записи в них вводимых с клавиатуры пяти чисел
long Num1,Num2,Num3,Num4,Num5;
// объявление массива, в который будет осуществляться запись вводимых с клавиатуры чисел
long box_arr[5] = {0, 0, 0, 0, 0};
// вспомогательная переменная для отображения вводимого числа на экране LCD-дисплея
long Number=0;
// вспомогательные переменные для ввода чисел с клавиатуры
char key,action;
boolean result = false;

// объявление переменных отвечающих за расчетную часть программы
```



```

// массив с количеством рамок в каждом улье, соответствует массиву box_arr
int ramki[5];
// результирующий массив с временем обработки для каждого улья
float time_result[5];
// счётчик для выбора подачи Q_k в каждый улей
int count = 4;
// массив для хранения необходимой ульям дозы
float doza[5];
// переменная для хранения текущего времени с момента запуска микро-
контроллера
long currentTime = 0;
// переменная для хранения времени начала обработки
long start = 0;
// переменная для хранения требуемой дозы на 1 рамку при проведении лечеб-
но-профилактических мероприятий
float m_ul = 2.50;
// массив, в котором хранятся значения подач озона в ульи в зависимости от
их количества, от 1 до 5
float Q_k[5] = {4.20, 2.78, 2.06, 1.64, 1.36};
// переменная для хранения требуемой концентрации озона при проведении
лечебно-профилактических мероприятий
float c_O3 = 50;

// объявление пинов к которым подключены силовые ключи, отвечающие за
работу клапанов, перекрывающих подачу озона в ульи, а также выполняемых
при запуске микроконтроллера функций необходимых для ввода количества
рамок и расчёта требуемого для обработки времени
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  inputSequence();
  countFunc();
  pinMode(0, OUTPUT); // пин отвечающий за работу клапана улья 1
  pinMode(1, OUTPUT); // пин отвечающий за работу клапана улья 2
  pinMode(2, OUTPUT); // пин отвечающий за работу клапана улья 3
  pinMode(3, OUTPUT); // пин отвечающий за работу клапана улья 4
  pinMode(4, OUTPUT); // пин отвечающий за работу клапана улья 5
}

// функция, отвечающая за отображение вводимых чисел на LCD-дисплее
void inputSequence()
{
  lcd.begin(16, 2);

```

```

lcd.print("Ozone");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Input parameters");
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.print("Yley1");
for (int i=0; i < 5; i++)
{
Number = 0;
lcd.clear();
DisplayNumber(Number);

while (true)
{
key = kpd.getKey();
DisplayYlei(i);
if (key!=NO_KEY)
{
box_arr[i] = DetectButtons();
Serial.println(box_arr[i]);
DisplayNumber(Number);
}
if (result==true)
{
Serial.println(box_arr[i]);

for (long box_number : box_arr)
{
Serial.println(box_number);
}
result = false;
break;
}
}

for (int i = 0; i <= 4; i++)
{
ramki[i]=box_arr[i];
}

Num1 = box_arr[0];
Num2 = box_arr[1];

```

```
Num3 = box_arr[2];  
Num4 = box_arr[3];  
Num5 = box_arr[4];
```

```
lcd.clear();  
lcd.print("Input End");  
delay(1000);  
}
```

```
// функция, отвечающая за ввод чисел с клавиатуры  
long DetectButtons()
```

```
{  
  lcd.clear();  
  // нажатие символа * приводит к удалению введенного числа  
  if (key=='*')  
  {Serial.println ("Button Cancel"); Number=0; result=false;}  
  // ввод цифры 1  
  if (key == '1')  
  {  
    Serial.println ("Button 1");  
    if (Number==0)  
    Number=1;  
    // если цифра 1 введена повторно  
    else  
    Number = (Number*10) + 1;  
  }  
  // ввод цифры 4  
  if (key == '4')  
  {  
    Serial.println ("Button 4");  
    if (Number==0)  
    Number=4;  
    // если цифра 4 введена повторно  
    else  
    Number = (Number*10) + 4;  
  }  
  // ввод цифры 7  
  if (key == '7')  
  {  
    Serial.println ("Button 7");  
    if (Number==0)  
    Number=7;  
    // если цифра 7 введена повторно
```

```

else
Number = (Number*10) + 7;
}
// ввод цифры 0
if (key == '0')
{
Serial.println ("Button 0");
if (Number==0)
Number=0;
// если цифра 0 введена повторно
else
Number = (Number*10) + 0;
}
// ввод цифры 2
if (key == '2')
{
Serial.println ("Button 2");
if (Number==0)
Number=2;
// если цифра 2 введена повторно
else
Number = (Number*10) + 2;
}
// ввод цифры 5
if (key == '5')
{
Serial.println ("Button 5");
if (Number==0)
Number=5;
// если цифра 5 введена повторно
else
Number = (Number*10) + 5;
}
// ввод цифры 8
if (key == '8')
{
Serial.println ("Button 8");
if (Number==0)
Number=8;
// если цифра 8 введена повторно
else
Number = (Number*10) + 8;
}

```

```

// ввод символа # приводит к записи введенного числа и переход на ввод
следующего числа или к концу ввода чисел, если введены все 5
if (key == '#')
{
Serial.println ("Button Enter");
result = true;
return Number;
}
// ввод цифры 3
if (key == '3')
{
Serial.println ("Button 3");
if (Number==0)
Number=3;
// если цифра 3 введена повторно
else
Number = (Number*10) + 3;
}
// ввод цифры 6
if (key == '6')
{
Serial.println ("Button 6");
if (Number==0)
Number=6;
// если цифра 6 введена повторно
else
Number = (Number*10) + 6;
}
// ввод цифры 9
if (key == '9')
{
Serial.println ("Button 9");
if (Number==0)
Number=9;
// если цифра 9 введена повторно
else
Number = (Number*10) + 9;
}
}

// функция, отвечающая за отображение вводимых чисел на LCD-дисплее
void DisplayYlei(int j)
{

```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Yley" + String(j+1));
}

// функция, отвечающая за отображение вводимых чисел на LCD-дисплее
void DisplayNumber(int boxes)
{
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(boxes);
}

// функция, отвечающая за расчет времени обработки ульев
void getTime(float array[])
{
  // текущая подача озонвоздушной смеси
  count = 4;
  // выбор Q_k каждый шаг
  for (int i = 0; i <= 4; i++)
  {
    if (doza[i] == 0)
    {
      // уменьшение счетчика count если элемент массива равен 0
      count -= 1;
    }
  }
  // присваивание переменной Q_k_current участвующей в расчёте времени
  // требуемой подачи в зависимости от значения в счётчике count
  float Q_k_current = Q_k[count];
  float min;
  // определение минимального числа в массиве doza
  for (int i = 0; i <=4 ; i++)
  {
    if (doza[i] != 0)
    {
      min = doza[i];
    }
  }

  for (int i = 0; i <=4 ; i++)
  {
    Serial.println("Доза");
    Serial.println(doza[i]);
    if (doza[i] != 0)

```

```

    {
    Serial.println("Миним");
Serial.println(min);
    if (doza[i] < min)
    {
        min = doza[i];
    }
}

Serial.println("МИНИМАЛЬНЫЙ");
Serial.println(min);
}

// отнимаем min от всех элементов в массиве doza, если они != 0 и добавляем
// время в массив time_result
Serial.println("Доза была");
Serial.println(String(doza[0])+" "+String(doza[1])+" "+String(doza[2])+"
"+String(doza[3])+" "+String(doza[4]));
for (int i = 0; i <= 4; i++)
{

    if (doza[i] > 0)
    {
        doza[i] -= min;
        time_result[i] += min/Q_k_current/c_O3;
    }

}
Serial.println("Доза стала");
Serial.println(String(doza[0])+" "+String(doza[1])+" "+String(doza[2])+"
"+String(doza[3])+" "+String(doza[4]));
}

// определение максимального числа в полученном массиве time_result
float getMax(float array[])
{
    float array_[5] = {array[0],array[1],array[2],array[3],array[4]};
    float max = array[0];
    for (float number : array_)
    {
        if (number > max)
        {
            max = number;
        }
    }
}

```

```

    }
  }
  return max;
}

// функция, отвечающая за определение дозы, которую должен получить
каждый улей, а также за необходимое количество итераций расчета времени
обработки
void countFunc()
{
  // заполняем массив doza
  for (int i = 0; i <= 4; i++) {
    doza[i] = ramki[i]*m_ul;
  }

  // цикл выполняемый до тех пор, пока не будет полностью проведен расчет
времени обработки
  while(count >= 0)
  {
    getTime(doza);
    Serial.println(time_result[0]);
    Serial.println(time_result[1]);
    Serial.println(time_result[2]);
    Serial.println(time_result[3]);
    Serial.println(time_result[4]);
    lcd.clear();
  }

  // вывод общего времени обработки 5 ульев
  float max = getMax(time_result);
  lcd.print("Estimated Time");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(max);
  lcd.print(" hours");
  // перевод значений в массиве time_result из часов в миллисекунды
  for (int i = 0; i <= 4 ; i++)
  {
    time_result[i]*3600000;
  }
  // запоминаем время начала обработки
  start = millis();
}

```



```

void loop()
{
  // записываем текущее время обработки
  currentTime = millis();
  //отслеживаем нужно ли выключить улей 1
  if (time_result[0]+start > currentTime)
    digitalWrite(0, LOW);
  else
    digitalWrite(0, HIGH);
  //отслеживаем нужно ли выключить улей 2
  if (time_result[1]+start > currentTime)
    digitalWrite(1, LOW);
  else
    digitalWrite(1, HIGH);
  //отслеживаем нужно ли выключить улей 3
  if (time_result[2]+start > currentTime)
    digitalWrite(2, LOW);
  else
    digitalWrite(2, HIGH);
  //отслеживаем нужно ли выключить улей 4
  if (time_result[3]+start > currentTime)
    digitalWrite(3, LOW);
  else
    digitalWrite(3, HIGH);
  //отслеживаем нужно ли выключить улей 5
  if (time_result[4]+start > currentTime)
    digitalWrite(4, LOW);
  else
    digitalWrite(4, HIGH);
}

```

Описание работы алгоритма групповой обработки пчелиных ульев

Алгоритм можно условно разделить на 3 этапа (рис. 2.22). Первый этап (шаги с 1-го по 22-ой) заключается во вводе количества рамок для каждого из пяти ульев и записи этих значений в память микроконтроллера (МК). На втором этапе (шаги с 23-го по 38-ой) производится расчёт времени обработки для каждого улья в соответствии с количеством рамок в них согласно формуле (2.10). При этом учитывается изменение подачи озона в ульи при отключении одного или нескольких из них (согласно полученным в ходе компьютерного моделирования данным). Также в алгоритме учитывается уже полученная доза озона ульями, которые продолжают обрабатываться в момент изменения подачи в них (при отключении уже обработанных ульев). На третьем этапе (шаги с 38-го по 58-ой) происходит включение обработки ульев и далее их последовательное отключение согласно рассчитанному времени обработки на предыдущем этапе.

В начальный момент времени запуска МК происходит инициализация его начальных параметров и загрузка в память необходимых данных в виде переменных и массивов чисел. Последние представляют из себя последовательную запись значений (элементов массива) того или иного параметра обработки, к которым можно обратиться по индексам от 0 до 4 (т.к. все массивы имеют одинаковое количество значений равное 5, что следует из количества обрабатываемых ульев). Обращение к элементам массива и действие с ними происходит с помощью принятых в программировании циклов `for` (для).

В качестве основных переменных в алгоритме используются:

1) `count` – специальная переменная, необходимая для расчёта времени обработки каждого улья, является своеобразным «счётчиком»; в нее записы-

вается количество работающих ульев, а также от нее зависит выбор значения подачи в них из массива Q_k ; принимает значений от 0 до 4, где 4 является значением по умолчанию и означает обработку всех 5 ульев (по мере отключения ульев с меньшим количеством рамок, «счётчик» будет уменьшаться, до тех пор, пока не ставит равным 0, что будет соответствовать отключению всех ульев);

2) $currentTime$ (текущее время) – переменная для хранения текущего времени с момента запуска МК, используется для реализации отсчёта времени обработки ульев озоном и её остановки, по умолчанию равна 0 мс;

3) m_{ul} – переменная для хранения дозы озона на 1 рамку, может меняться в зависимости от режима обработки, по умолчанию равна $2,5 \text{ мл/м}^3$, что соответствует проведению лечебно-профилактических мероприятий от бактериозов пчел, если выбран режим стимуляции весеннего развития, то данная переменная становится равной $64,5 \text{ мл/м}^3$; используется для расчёта времени обработки ульев;

4) $Q_{current}$ – переменная также необходимая для расчёта времени обработки, в ней хранится текущая подача озона в ульи; значение в данной переменной меняется в зависимости от значения счётчика $count$ на этапах (итерациях) расчета времени обработки ульев и берётся из массива данных Q_k ;

5) min – переменная для хранения минимальной дозы, получаемой ульем/ульями на каждой итерации расчёта времени обработки, по умолчанию равна 0;

6) c_{O3} – переменная для хранения необходимой концентрации озона в зависимости от выбранного режима работы; по умолчанию равна 50 мл/м^3 , что соответствует лечебно-профилактическому режиму при бактериозах, в случаи же выбора режима весенней стимуляции пчел она равна 32 мл/м^3 ;

7) $start$ – переменная, в которой хранится время начала проведения обработки ульев, используется для реализации отсчёта времени обработки ульев озоном и её остановки, по умолчанию равна 0 мс.

В качестве основных массивов, используемых для расчётов времени обработки ульев в алгоритме, используются:

1) `box_arg[5]` – массив, в который последовательно через ввод с клавиатуры записываются значения количества рамок в ульях;

2) `time_result[5]` – основной массив алгоритма, в котором содержатся рассчитанные для каждого улья интервалы времени их обработки;

3) `doza[5]` – массив, в котором хранятся дозы озона для каждого из ульев; каждый элемент массива является произведением переменной `m_ul` на соответствующее количество рамок, в улье введенное с клавиатуры и хранящееся в массиве `box_arg[5]`; его заполнение осуществляется на 22 шаге алгоритма;

4) `Q_k[5] = {4,2, 2,78, 2,06, 1,64, 1,36}` – данный массив является единственным массивом, чьи элементы заранее определены и равны найденным теоретически в данной главе значениям подачи озона при разном количестве обрабатываемых ульев (см. рис. 2.20); выбор необходимой подачи осуществляется на 28-ом шаге алгоритма с помощью счётчика `count`.

После загрузки всех необходимых переменных и массивов в память МК оператором осуществляется выбор режима обработки: стимуляция весеннего развития пчел или проведение лечебно-профилактических мероприятий. От выбора режима работы будут зависеть значения переменных `m_ul` и `c_O3`. Далее с 6 по 20 шаг алгоритма осуществляется последовательный ввод количества рамок в каждом из 5-ти ульев. Все вносимые значения записываются в ячейки массива `box_arg`. После чего ввод заканчивается, о чём свидетельствует выводимая на экран надпись «Ввод окончен». После небольшой паузы алгоритм переходит к началу расчёта времени обработки для каждого из ульев. Это происходит с 21 по 38 шаг алгоритма. Вначале каждый элемент полученного массива `box_arg` умножается на переменную `m_ul` для получения дозы озона, которую должен получить каждый улей. Полученные произведения записываются в массив `doza`. Затем с помощью условия (23 шаг) прове-

руется равенство счётчика count нулю. Т.к. изначально он равен 4-ём, что соответствует началу обработки всех 5-ти ульев, то должно пройти n-ое количество итераций расчёта времени обработки ульев пока данное условие выполнится. Во время этих итераций, во-первых, проверяется равенство нулю элементов массива doza (шаги с 25 по 27). Если, хотя бы один элемент данного массива будет равен нулю, то это приведёт к уменьшению счётчика count на единицу и изменение подачи $Q_{current}$, которая берётся из ячеек массива Q_k на 28 шаге алгоритма. Во-вторых, согласно алгоритму в массиве doza определяется элемент/элементы с минимальным значением, которое записывается в переменную min (шаги с 29 по 34). И в-третьих, происходит расчёт времени обработки на шагах с 35 по 38. Для этого от каждого элемента массива doza значение, которого больше нуля отнимается переменная min. Что приводит к приравниванию минимальных доз в данном массиве к нулю и таким образом «выведению» их из расчёта на дальнейших итерациях. После чего происходит запись в массив time_result значений времени, определяемых согласно формуле (2.10) следующим образом: $time_result[i] = time_result[i] + min/(Q_{current} \cdot c_{O3})$, где i – элемент массива. Так как на первой итерации все элементы массива time_result равны нулю, то все его элементы станут при этом равны времени обработки ульев доза озона, для которых минимальна, т.е. ульев с меньшим количеством рамок. На следующей итерации данные улья не будут участвовать в алгоритме (т.к. дозы для этих ульев в массиве doza на предыдущем шаге стали равны нулю) и рассчитанное на последующих шагах время будет увеличиваться только для тех ульев, которые имеют большее количество рамок по сравнению с предыдущими. От разности ульев по количеству рамок будет зависеть количество проводимых итераций расчёта времени их обработки, выполняемых на шагах с 25 по 38. В конечном итоге счётчик count станет равным нулю, и алгоритм перейдёт к включению процесса обработки ульев (шаги с 39 по 58). Для этого полученные значения элементов массива time_result записанные в нём в часах будут

переведены в миллисекунды, т.к. задание временных интервалов для МК осуществляется в данной временной размерности (шаг 39). При этом на экран будет выведено общее время обработки ульев (для этого будет определено максимальное число в массиве `time_result`). Время начало обработки ульев будет записано в переменные `start` и `currentTime` (шаг 42). После этого значение в переменной `start` останется неизменным, а в переменную `currentTime` будет постоянно записываться текущее время. Алгоритм будет постоянно сверять значения суммы переменной `start` и элементов массива `time_result` со значениями в переменной `currentTime` (шаги с 43 по 57). Если указанная сумма станет меньше, чем число в переменной `currentTime` это будет означать о превышении времени обработки того или иного улья, что приведет к его отключению. Алгоритм будет работать до тех пор, пока не отключатся все ульи.

Приведем пример работы алгоритма управления групповой обработкой озоном пчелиных ульев. Имеем 5 ульев с количеством рамок с 1-го по 5-ый соответственно: 10, 12, 12, 20, 10. Режим работы выбираем – лечебно-профилактическая обработка от бактериозов пчел. Выбранный режим предполагает установление следующих параметров в памяти микроконтроллера: масса озона на 1 рамку $m_{ul} = 2,5$, концентрация озона $c_{O3} = 50 \text{ мг/м}^3$. Вводим поочередно количество рамок для каждого улья, начиная с первого. Введенное количество рамок для каждого улья записывается в массив `box_arr[5] = {10; 12; 12; 20; 10}`. Данные операции выполняются с 1-го по 20-ый шаг алгоритма. Далее с помощью цикла на 21-ом и 22-ом шагах происходит последовательное заполнение массива `doza[5]` результатами произведения количества рамок каждого улья из массива `box_arr[5]` на необходимую массу озона m_{ul} . Иначе говоря, массив `doza[5]` заполняется следующим образом: $doza[5] = \{10 \cdot 2,5; 12 \cdot 2,5; 12 \cdot 2,5; 20 \cdot 2,5; 10 \cdot 2,5\} = \{25; 30; 30; 50; 25\}$. Данное вычисление соответствует действию в числителе формулы (2.10). После того как все элементы массива `doza[5]` будут заполнены проверяется условие о равен-

стве переменной (счетчика) count нулю. До тех пор, пока это условие не будет выполнено будет проводиться расчет времени обработки для каждого улья. По умолчанию значение этой переменной равно 4. Причем на 24 шаге оно каждый раз приравняется четырем для того, чтобы значение в последующем не стало меньше нуля. Пока переменная count не будет равна нулю, будут выполняться шаги с 24-го по 38-ой. На 25-27 шагах выполняется цикл, который проверяет равенство элементов массива doza[5] нулю. В данный момент все его элементы больше нуля, поэтому после проверки далее выполняется шаг 28 на котором переменной Q_current присваивается значение из массива $Q_k[5] = \{4,2, 2,78, 2,06, 1,64, 1,36\}$ причем выбор элемента данного массива осуществляется с помощью переменной count. Т.к. в данный момент она равна 4, то выбирается элемент со значением 1,36 (т.е. пятый по счету в массиве Q_k[5], т.к. нумерация идет с нуля). Таким образом, переменная Q_current в данный момент равна 1,36. Далее на шагах с 29 по 34 определяется минимальное значение в элементах массива doza[5], это значение записывается в переменную min причем если в массиве будут элементы равные нулю, то они никогда не будут записаны в эту переменную. Т.е. переменная min не может быть равна нулю. В данном случае переменная min = 25. Далее с 35 по 38 шаги выполняется первая итерация расчета времени обработки для каждого из ульев. Для этого на 36 шаге проверяется каждый элемент массива doza[5] = {25; 30; 30; 50; 25} на равенство нулю, если это равенство будет соблюдено, то данный элемент не будет участвовать в расчете. Сейчас все элементы данного массива больше нуля, поэтому от каждого из них на 37 шаге будет отнята переменная min = 25. Т.е. массив doza[5] = {25-25; 30-25; 30-25; 50-25; 25-25} = {0; 5; 5; 25; 0}. На 38 шаге в массив time_result[5] будут записаны значения времени обработки ульев по формуле: $time_result[i] = time_result[i] + min/(Q_current \cdot c_{O3})$. Это вычисление согласуется со знаменателем формулы (2.10). Т.к. в начальный момент времени все i-е элементы массива time_result[5] равны нулю, то в данный момент все его элементы

станут равны: $0 + 25/(1,36 \cdot 50) = 0,37$ часов. Т.е. $\text{time_result}[5] = \{0,37; 0,37; 0,37; 0,37; 0,37\}$. После первой итерации алгоритм опять возвращается к 23 шагу и проверяется условие равенства счётчика count нулю. Т.к. он до сих пор равен 4, то алгоритм опять сводится к шагам с 24, по 38. Начинается вторая итерация расчета времени обработки. Теперь на 26 шаге выполняется условие равенства нулю двух элементов в массиве $\text{doza}[5]$ в результате чего на 27 шаге от значения в переменной count во время выполнения цикла два раза будет отнята единица и таким образом в count будет записана цифра 2. В результате этого на 28 шаге в переменной $Q_current$ будет перезаписано число 1,36 на третий элемент массива $Q_k[5]$ и таким образом $Q_current$ станет равным 2,06. Что равносильно отключению двух воздухопроводов, подающих озон в первый и пятый ульи и изменению подачи в оставшихся с 1,36 м³/ч до 2,06 м³/ч согласно проведенному компьютерному моделированию. С 29 по 34 шаги в переменную min будет записано минимальное значение из массива $\text{doza}[5]$ равное на данный момент 5. Далее на 35-38 шагах массив $\text{doza}[5]$ будет преобразован в $\text{doza}[5] = \{0; 5-5; 5-5; 25-5; 0\} = \{0; 0; 0; 20; 0\}$. А в расчете массива $\text{time_result}[5]$ будут участвовать только элементы соответствующие второму, третьему и четвертому ульям. Они станут равны: $0,37 + 5/(2,06 \cdot 50) = 0,42$ часа. Таким образом массив $\text{time_result}[5] = \{0,37; 0,42; 0,42; 0,42; 0,37\}$. Далее алгоритм снова возвращается к 23 шагу, но так как счетчик count вновь больше нуля опять выполняются шаги с 24 по 38. В результате выполнения 24-26 шагов счетчик count становится равен нулю, т.к. в массива $\text{doza}[5]$ в данный момент находится четыре нуля. В результате этого на 28 шаге в переменной $Q_current$ будет перезаписано число 2,06 на нулевой элемент массива $Q_k[5]$ и таким образом $Q_current$ станет равным 4,2. Что равносильно отключению всех воздухопроводов кроме одного и изменению подачи в нем с 2,06 м³/ч до 4,2 м³/ч согласно проведенному компьютерному моделированию. С 29 по 34 шаги в переменную min будет записано минимальное значение из массива $\text{doza}[5]$ равное на данный момент 20 (т.к. эле-

менты равные нулю не участвуют в нахождении минимального числа). Далее на 35-38 шагах массив `doza[5]` будет преобразован в `doza[5] = {0; 0; 0; 20-20; 0} = {0; 0; 0; 0; 0}`. А в расчете массива `time_result[5]` будет участвовать только четвертый элемент. Он станет равен: $0,42 + 20/(4,2 \cdot 50) = 0,52$ часа. Таким образом, массив `time_result[5] = {0,37; 0,42; 0,42; 0,52; 0,37}`. Т.к. теперь счетчик `count` равен нулю, то расчет времени групповой обработки ульев озоном окончен. Далее алгоритм переходит к 39 шагу, на котором для работы МК требуется перевести полученные значения времени из часов в миллисекунды. Таким образом, массив `time_result[5] = {1332000; 1512000; 1512000; 1872000; 1332000}`. На 40-м и 41-м шагах определяется максимальное время обработки и отображается на экране системы управления в часах. В данном случае это будет 0,52 часа. На 42 шаге осуществляется запись текущего времени с момента запуска МК в переменные `start` и `currentTime`. Т.к. очень трудно посчитать, какое количество на данный момент времени прошло с включения МК (для этого надо знать программный код алгоритма и знать с какой частотой работает МК), то предположим, что на все предыдущие шаги алгоритма потрачена 1 секунда, тогда в данные переменные будет записано время в миллисекундах, т.е. `start = 1000` и `currentTime = 1000`. Выполнение всех оставшихся шагов будет приводить к следующему. Во-первых, значение в переменной `currentTime` будет постоянно увеличиваться в соответствии с ходом времени пока работает МК, а значение в переменной `start` останется неизменным. Во-вторых, будут выполняться условные операторы 43, 46, 49, 52, 55 и 58. Во всех из них кроме 58-го будет проверяться условие, не превышено ли значение времени для каждого улья. Т.е. например время обработки первого улья (имеет индекс $i = 0$ в массиве `time_result[5]` на 43 шаге) равно 1332000 мс. Когда в переменной `currentTime` значение станет больше, чем сумма $1332000 + 1000$, то улей должен отключиться. И так для каждого улья, пока не отключатся все.

ДОКУМЕНТЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИССЛЕДОВАНИЙ

УТВЕРЖДАЮ:
Глава крестьянского
фермерского хозяйства
Овсянников Д.А.

04/04/2024



АКТ внедрения научной работы

по использованию системы групповой обработки ульев озоном на пчелиной пасеке

Комиссия в составе: начальник отдела ветеринарно-санитарной экспертизы Серпиевский Геннадий Иванович, инженер-технолог Пархоменко Александр Иванович.


Мы, нижеподписавшиеся, начальник отдела ветеринарно-санитарной экспертизы Серпиевский Геннадий Иванович, инженер-технолог Пархоменко Александр Иванович составили настоящий акт в том, что результаты научной работы Лозы Андрея Александровича по определению параметров и режимов работы системы группового озонирования ульев на пасеках среднего и большого размеров использованы на пасеке в 50 ульев. В качестве контроля были взяты 10 ульев с общепринятой периодической обработкой химическими препаратами. Опытные 10 ульев были взяты с разными по силе семьями. Обработка озоном проводилась 4 раза за сезон и без применения химических препаратов.


После внедрения данной установки в течение одного сезона получены следующие результаты:

- к началу первого медосбора в опытных ульях наблюдалась прибавка силы семей на уровне 15-20%;
- в обработанных озоном ульях количество рамок с расплодом было больше на 15%;
- заклещеванность опытных ульев была меньше на 5%;
- в итоге в опытных ульях получено меда на 10% больше чем в контрольных.

Использование установки по групповой обработки ульев позволяет пчеловоду с низкой трудоемкостью обрабатывать ульи озоном и максимально сократить использование химических препаратов. Такое озонирование стимулирует развитие семей, снижает заболеваемость пчел, повышает медопродуктивность пасеки.

Члены комиссии:


Серпиевский Г.И.


Пархоменко А.И.



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор ФГБОУ ВО
«Кубанский ГАУ», профессор

С.М. Резниченко

АКТ

об использовании результатов кандидатской диссертационной работы
аспиранта Лозы Андрея Александровича в учебном процессе ФГБОУ ВО
Кубанский ГАУ на факультете энергетики

Комиссия в составе:

Председателя – декана факультета энергетики к.т.н., доцента А.А. Шевченко; членов комиссии: заведующего кафедрой «Электрические машины и электропривод», д.т.н., профессора С.В. Оськина; профессора кафедры «Электрические машины и электропривод» д.т.н., профессора И.Г. Стрижкова составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Параметры и режимы работы установки для групповой обработки озоном пчелиных ульев», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в учебном процессе на факультете энергетики.

Комиссия установила, что материалы диссертационной работы Лозы А.А. использованы при изучении дисциплины «Основы электротехнологии» на кафедре электрических машин и электропривода.

Комиссия считает, что материалы диссертации, включенные в рассматриваемую дисциплину, повышают степень освоения профессиональных компетенций обучающимися по направлению подготовки 35.03.04.

Председатель комиссии: А.А. Шевченко А.А. Шевченко

Члены Комиссии: С.В. Оськин С.В. Оськин

И.Г. Стрижков И.Г. Стрижков

Infinity publishing

International Conference
«SCIENTIFIC RESEARCH OF THE SCO COUNTRIES:
SYNERGY AND INTEGRATION»

CERTIFICATE

Loza Andrey Alexandrovich

Features of ozone-air treatment of bee hives

Location: _____ *Haidian, Beijing, PRC*

Date: _____ *September 30, 2023*

Co-chairman, Ph.D., Associate Professor: _____ *Khismatullin D.R.*

Co-organizer (for foreign participants): _____ *Infinity publishing*



научно-издательский центр
"Академический"

ДИПЛОМ

За активное участие в работе
XXXIII Международной научно-практической конференции
"21 век: фундаментальная наука и технологии"
2-3.10.2023 г. Bengaluru, Karnataka, India

награждается

Лоза Андрей Александрович



3 октября 2023 г.

Председатель ООНР
н.-и.ц. "Академический"
к.ф.-м.н., доц. Моисеев Е.В.