

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

На правах рукописи



Шишигин Игорь Николаевич

***ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ ОХЛАДИТЕЛЯ ВОЗДУХА НА
ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ ДЛЯ ОЗОНАТОРОВ В
ПЧЕЛОВОДСТВЕ***

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 – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ПЧЕЛ.....	9
1.1 Факторы, влияющие на продуктивность пчелиной семьи.....	9
1.2 Немедикаментозные способы лечения болезней пчел.....	14
1.3 Современные исследования в области применения озона в пчеловодстве.....	20
1.4 Способы повышения эффективности использования электроозонаторов в пчеловодстве.....	23
1.5 Выводы по главе.....	35
2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОХЛАДИТЕЛЕ НА БАЗЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ.....	38
2.1 Разработка конструктивно-технологической схемы озонирования ульев и геометрической модели охладителя на базе элементов Пельтье.....	38
2.2 Математическое описание термоэлектрических процессов в охладителе на базе элементов Пельтье.....	45
2.3 Компьютерное моделирование термоэлектрических процессов в охладителе на базе элементов Пельтье.....	49
2.4 Выводы по главе.....	64
3 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОХЛАДИТЕЛЯ НА БАЗЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ.....	66
3.1 Методика проведения экспериментальных исследований электроозонирующей установки.....	66
3.2 Результаты экспериментальных исследований по подтверждению теоретических положений процесса охлаждения воздуха подаваемого в электроозонатор.....	69
3.3 Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния охладителя на работу электроозонатора.....	72
3.4 Техничко-экономическая эффективность использования озонирующей установки с охладителем воздуха в пчеловодстве....	75
3.5 Выводы по главе.....	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	87
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	100

ВВЕДЕНИЕ

Современное пчеловодство невозможно себе представить без электротехнологий и электрооборудования, которые ускоряют работу и облегчают труд пчеловода, что в конечном итоге повышает продуктивность всей пасеки. Это касается не только процессов переработки продукции пчеловодства (например, сушка пчелиной перги и пыльцы в конвективных сушильных камерах, предпродажная подготовка меда с помощью рекристаллизаторов и т.д.), но и технологических операций связанных с содержанием пчел. Так, например, проведением профилактических и лечебных мероприятий на пасеке с помощью электрофизического оборудования уже давно никого не удивит. Сюда можно отнести: борьбу с варроатозом с помощью тепловых камер, дезинфекцию ульев и сот, а также лечение пчел растворами анолита и озоном получаемых соответственно с помощью электролизеров воды и электроозонаторов.

Ввиду появления современных, эффективных методов работы на пасеке и электротехнологического оборудования для их осуществления, как никогда ранее стало заметно, что пчеловод не только покровитель пчел, но и самый главный их враг. Порой, желая улучшить состояние пасеки и используя современное оборудование, пчеловод может навредить пчелам. Так, например, при разработке электроозонаторов для весенней стимуляции и развития пчел, профилактики и лечения их, инфекционных и инвазионных заболеваний многими исследователями рассматривалось влияние нагрева электроозонатора на его производительность, а также дестабилизацию концентрации озона внутри улья при его обработке. При этом не рассматривался эффект нагрева внутриульевого воздуха из-за подачи в улей горячей озоновоздушной смеси, образовавшейся путем прохождения воздуха сперва через компрессор, а затем через разрядное устройство электроозонатора рабочая температура которого может достигать 70 °С. Тем временем перегрев внутриульевого воздуха влечет не только увеличение

пчелами трудозатрат на его регулирование, но и увеличение вероятности их последующей гибели, что отрицательно сказывается как на силе пчелиной семьи, так и на продуктивности всей пасеки. К тому же высокие температуры воздуха подаваемого в электроозонатор ведут к снижению производительности и надежности его работы.

Так как применение озона на пасеке для стимуляции развития, а также профилактики и лечения пчелиных семей гораздо более оправдано с точки зрения экологичности получаемых продуктов пчеловодства и влияния на окружающую среду по сравнению с применяемым антибиотиками, то актуальна разработка простого в эксплуатации охладителя для снижения температуры воздуха подаваемого в электроозонатор. Диссертационная работа выполнена по плану НИР Кубанского ГАУ по теме Работа выполнена по плану НИР Кубанского ГАУ ГР №121031700099 (2021-2025 г).

Степень разработанности темы. Вопросами озонирования и эффективности работы электроозонаторных установок в сельском хозяйстве занимались: В.Ф. Сторчевой, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, Ю.П. Пичугин, Д.А. Нормов, Возмилов А.Г., Е.И. Гаврикова, А.Н. Матюнин 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 чрезмерного нагрева разрядного устройства, так как это влечет за собой не только снижение производительности и надежности установки, но и негативные последствия для обрабатываемых объектов.

Большой вклад в развитие установок, облегчающих труд пчеловодов, внесли учёные ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Костычева (г. Рязань).

В пчеловодстве возникает проблемная ситуация – не смотря на высокую эффективность антимикробного и лечебного действия озонозонодушной смеси, применение озонаторов ограничивается из-за вынужденного нагревания потока, подаваемого в улей. Существующие

системы охлаждения воздуха громоздки, энергоемки и не адаптированы для работы в полевых условиях пчеловодства.

Гипотеза. Исследования по использованию элемента Пельтье для предварительного охлаждения воздуха, подаваемого в озонатор с определением параметров и режимов соответствующей конструкции, позволит повысить концентрацию озона в выходном потоке, уменьшит температуру озоновоздушной смеси, что улучшит микроклимат пчелиной семьи и сократит ее затраты на воздухообмен.

Цель работы. Обоснование параметров и режимов охладителя воздуха на основе элемента Пельтье для озонаторов, используемых в пчеловодстве для лечебной профилактики пчелиных семей и обработки пчелоинвентаря.

Задачи исследования.

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему озонирующей установки с определением необходимой холодопроизводительности охладителя.

2. Разработать конструкцию охладителя воздуха для электроозонатора на базе элементов Пельтье и разработать ее геометрическую модель для программного обеспечения.

3. Разработать математическую модель, описывающую тепловые и аэродинамические процессы в охладителе воздуха на базе элементов Пельтье.

4. В программном комплексе «Comsol Multiphysics» разработать и провести реализацию математической модели охлаждения воздуха в охладителе и обосновать его рациональные параметры и режимы.

5. Изготовить охладитель воздуха для озонатора на основе элемента Пельтье, провести экспериментальные исследования по сопоставлению опытных данных с результатами моделирования.

6. Провести экспериментальные исследования по влиянию температуры входного воздуха на производительность озонатора.

7. Обосновать экономическую эффективность использования озонирующей установки с охладителем воздуха в пчеловодстве.

Объект исследования — охладитель воздуха на базе элементов Пельтье для электроозонатора.

Предмет исследования — параметры и режимы работы охладителя на базе элементов Пельтье, зависимости температуры воздуха и концентрации озона на выходе из установки озонирования от ее режимов работы.

Методы исследования: конечных элементов с использованием современного ПО Comsol Multiphysics, законы теплотехники, электротехники и гидравлики, методика проведения экспериментальных исследований.

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель термоэлектрических процессов в охладителе воздуха для электроозонатора;
- зависимости температуры воздуха и концентрации озона на выходе из установки озонирования от ее режимов работы;
- обоснованные параметры и режимы работы охладителя воздуха для электроозонатора.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- математическая модель термоэлектрических процессов, протекающих в охладителе воздуха на базе элементов Пельтье, позволяющая описать изменения выходной температуры в зависимости от параметров и режимов работы;
- зависимости температуры воздуха на выходе из охладителя при различных производительностях компрессора, схемы соединения термоэлектрических модулей (ТЭМ), что дает возможность рекомендовать рациональную конструкцию охладителя и всей установки с минимальным энергопотреблением;
- обоснованные параметры и режимы работы охладителя воздуха для электроозонатора позволяющие увеличить его производительность по озону,

снизить температуру озонородушной смеси подаваемой в пчелиный улей;

- применение озонирующей установки с охладителем воздуха улучшит микроклимат пчелиной семьи, сократит ее затраты на воздухообмен, простимулирует ее развитие, а также позволит проводить экологичные профилактику и лечение пчел;

- разработанный и изготовленный охладитель имеет малые массогабаритные и низкие энергетические показатели, адаптирован к использованию в полевых условиях.

Реализация результатов исследований.

Результаты исследований внедрены в ООО «Предприятие по пчеловодству «Краснодарское» (Краснодарский край). Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе на факультете энергетики Кубанского ГАУ.

Апробация работы. Основные положения и выводы диссертации доложены и одобрены на ежегодных научных конференциях факультета энергетики КубГАУ (2020–2022 гг.); на Международном симпозиуме по автоматизации, информации и вычислительной технике (ISAIC 2021) в секции «Системное моделирование и анализ» 03.12.2021 – 06.12.2021 (Online); на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Потенциал и вызовы развития возобновляемой энергетики» 21-23 декабря 2022 г. (г. Невинномысск); на II Международной научно-практической конференции «Science and technology research» 2023 (г. Петрозаводск).

Публикации результатов работы. Основное содержание диссертации отражено в 9 печатных работах, в том числе: 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК России, 2 статьи в международной базе данных Scopus.

На защиту выносятся следующие положения:

- математическая модель термоэлектрических процессов, протекающих в охладителе воздуха на базе элементов Пельтье, необходимая для обоснования параметров и режимов работы оборудования;

- зависимости температуры воздуха и концентрации озона на выходе из установки озонирования от ее режимов работы;

- обоснованные параметры и режимы работы охладителя воздуха для электроозонатора;

- результаты экспериментальных исследований и их сопоставление с результатами моделирования, опытные данные по влиянию температуры входного воздуха на производительность озонатора.

1. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ПЧЕЛ

1.1 Факторы, влияющие на продуктивность пчелиной семьи

Все работы, проводимые пчеловодами на пасеках, так или иначе, связаны с повышением эффективности производства или хотя бы с поддержанием его на должном уровне. Большой вклад в развитие электротехнологий и электрооборудования облегчающих работу пчеловодов в процессе переработки получаемых ими продуктов внесли ученые Рязанского ГАУ: Д.Е. Каширин, Д.Н. Бышов, С.В. Винокуров, Р.А. Мамонов; Кубанского ГАУ: С.Н. Харченко, Н.Г. Хорошунов и другие [2, 4, 5, 13, 23, 75, 76]. Но помимо извлечения и сушки пчелиной перги и пыльцы, откачки меда и других технологических операций переработки продуктов пчеловодства на пасеке также существует ряд не менее важных работ, связанных непосредственно с самими производителями пчеловодческой продукции – пчелами. Так в весенне-летний период для пчеловодов важно чтобы пчелиные семьи набрали численность отдельных пчел или так называемую силу. Данный показатель играет важнейшую роль в выживании пчелиной семьи. Из научных исследований А.С. Михайлова известно, что корреляция между силой пчелиной семьи и ее продуктивностью составляет $r = 0,74$, что говорит о высокой силе связи между данными параметрами [17, 18]. В 1962 году Г.Ф. Тарановым также проводились исследования по изучению влияния силы семьи на производство меда, результаты которых представлены в табл. 1.1 [22]. В 1965 году В.С. Коптевым доказана взаимосвязь между силой пчелиных семей и медосбором, корреляция которой составила $r = 0,55 — 0,84$. В 1968 году G.H.Cale показал связь между яйцекладкой матки, сбором пыльцы и медосбором. При этом корреляция составила $r = 0,50 — 0,81$. Подобная зависимость также была обнаружена И.К. Давыденко и Ю.А. Субботиным.

Таблица 1.1 – Влияние массы семьи на производство меда согласно [22]

Масса семьи в начале медосбора, кг	Собрано меда		
	в целом на семью	на 1 кг пчел	
		в абсолютном выражении, кг	в %
1,0	7	7	100
1,5	14	9	128
2,0	20	10	143
3,0	34	11	161
4,0	49	12,4	176

Это объясняется тем, что в сильных семьях выращиванием расплода занимается гораздо меньшее количество пчел, а основные силы семья тратит на сбор меда. При этом в сильных семьях за счет наличия большого количества корма и стабильного поддержания теплового режима внутри улья, получается, выращивать крупных молодых пчел с более длинным хоботком и вместительным медовым зобиком, чем в слабых семьях [18]. Таким образом, сила пчелиной семьи напрямую отражается на продуктивности пчел и окупаемости всей пасеки. Поэтому для получения максимальной прибыли пчеловод должен обеспечить соответствующий уровень развития пчелиных семей, что особенно это важно в весенний период. Весной все пчеловоды прикладывают свои усилия, чтобы нарастить семьи, так как это залог получения высоких медосборов.

Но на продуктивность пчелиных семей влияет множество факторов. На некоторые из них пчеловод практически не может повлиять. В основном это внешние условия: температура и влажность окружающего воздуха, количество осадков, ветер, давление воздуха, а также негативное влияние человека на окружающую среду (использование пестицидов, экологические загрязнения). Частично пчеловод — это может изменить при кочевом ведении своей работы. Путем переезда на новые места сбора меда внешние факторы меняются. Из перечисленных наиболее важным является температура окружающего воздуха [16].

В результате своей эволюции пчелы научились регулировать температуру внутри улья при широком диапазоне внешних температур. Так,

например, по данным Е.К. Еськова при температурах окружающего воздуха от плюс 8 до плюс 28 °С, температура внутри улья колеблется в пределах положительных значений от 32 до 35 °С (рис. 1.1). Оптимальной температурой относительно выращивания расплода считается температура внутри улья равная 34 – 35,5 °С. Такие значения пчелиная семья начинает поддерживать уже поздней зимой и ранней весной. Конечно, единственным источником энергии является мед.

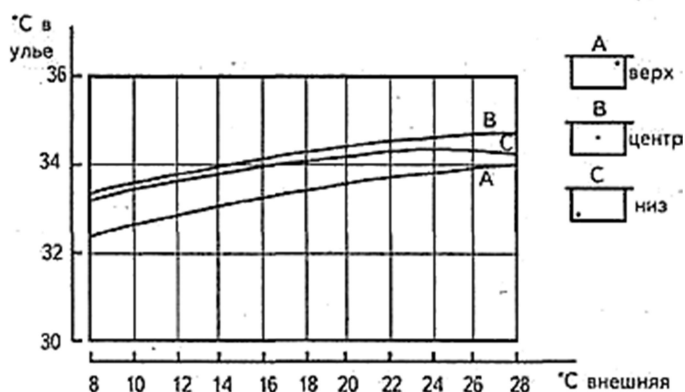


Рисунок 1.1 – Графики влияния температуры окружающего воздуха на температуру в различных зонах улья, согласно исследованиям Е.К. Еськова

Однако, чем больше температура окружающего воздуха отличается от оптимальной, тем больше пчелы затрачивают энергии и сил на ее регулирование, что отражается на продуктивности пасеки. Было установлено, что при температурах окружающего воздуха в диапазоне от 23 до 28 °С пчелы затрачивают меньше всего энергии. В целом же колебания температур внутри пчелиного улья очень сильно влияют на развитие пчел. Например, при температуре 36 °С вылупляются 92% личинок, при 30 °С – 85%, а при 29 °С только 5%. То же самое касается и развития расплода. При оптимальных температурах внутри улья оно протекает в течение 12 дней. Но уже при 30 °С внутри улья это время увеличивается до 15-16 дней. Также и повышение температур внутри улья оказывает дестабилизирующее воздействие на пчел. Так если температуру внутри улья повысить до 46 °С в течении 15-30 минут, то суточная гибель таких пчел составит 0,6-1%. После 45 минут такой

температуры, уже в последующие 3 часа погибнет 20-30% пчел, а остальные через 3-4 дня [10]. Таким образом, несмотря на то, что пчелы сами регулируют температуру внутри улья, допускать резких колебаний температур воздуха внутри пчелиного жилища в результате каких-либо технологических операций на пасеке категорически нельзя. Все такие вмешательства могут привести к резкому снижению продуктивности, сокращению численности пчел, долгому времени восстановлению их работоспособности.

Влажность воздуха внутри улья также важна для пчел. Данный параметр зависит не только от влажности окружающего воздуха, но и от влажности пчелиного корма, степени активности пчел и количества расплода. Диапазон изменения влажности внутри улья может колебаться от 25 до 100%. Например, в ночное время летом пчелам приходится активно вентилировать улей, чтобы удалить излишнюю влагу с поступившего незрелого меда и исключить брожение корма. В то же время, высокая внутриульевая влажность воздуха необходима пчелам ранней весной в момент начала выращивания расплода [16]. Поэтому проведение технологических операций на пасеке также должно предусматривать сезонный характер влажностного режима внутри улья.

Помимо влияния на продуктивность пчел климатических условий и антропогенные факторы также оказывают влияние и на интенсивность появления грибковых, инфекционных и инвазионных заболеваний [66, 79]. Среди которых можно выделить: американский и европейский гнилец, аскосфероз, колибактериоз, гафниоз, септицемия, нозематоз, варроатоз и другие. Эти заболевания могут существенно снизить продуктивность всей пасеки и даже довести до полной гибели отдельных семей. Если взять, например такое заболевание как американский и европейский гнилец, то эта инфекционная болезнь поражает пчелиный расплод. Таким образом, будет отсутствовать достаточное количество новых пчел. Споры бациллы, вызывающей американский гнилец устойчивы к физическим и химическим

воздействиям и способны выдерживать нагревание в воде до 90 °С в течении 3 часов, а при ее кипячении погибают в течении 14 минут. Европейский гнилец может быть вызван одним или несколькими видами микробов, обладающих высокой жизнеспособностью, и сохраняются при температурах 35-37 °С в течении очень длительного времени [7]. Лечение проводят путем изъятия из больных семей сотов с расплодом, обеззараживанием, применением антибиотиков, дезинфекцией ульев и всего пчелиного инвентаря, и т.д.

Грибковая болезнь аскосфероз, поражает трутневые, пчелиные и маточные личинки. Споры гриба, вызывающего данную болезнь, обладают значительной устойчивостью к внешней среде. По мнению большинства исследователей, широкое распространение аскосфероза связано с нарушением микрофлоры в пчелиной семье и в организме пчел, личинок и куколок, вызванным бесконтрольным применением антибиотиков и не соблюдением зоогигиенических правил содержания пчелиных семей. При сильной степени заболевания пчелиные семьи уничтожают. При слабой проводят медикаментозное лечение антибиотиками. Гафниоз, колибактериоз, септицемия в отличие от предыдущих являются инфекционными болезнями взрослых пчел. В целом данные возбудители или их споры погибают при температурах выше 60°С в течении 10-30 минут. В большинстве случаев лечение также проводят антибиотиками [7].

Среди инвазионных болезней распространены нозематоз и варроатоз. Особую опасность имеет варроатоз, который вызывается клещом варроа яacobsoni. Данная болезнь наносит огромный ущерб пчеловодству, способствует снижению продуктивности пчел и их большой гибели. Для борьбы используют химические препараты, тепловую обработку, различные технологические приемы, но кардинального решения до сегодняшнего дня не имеется.

В большинстве случаев комплекс мер борьбы с большинством болезней заключается в скармливании больным пчелам лечебного корма с

добавлением в него необходимых препаратов и химической обработкой семей. В подавляющем большинстве случаев в качестве таких препаратов применяют антибиотики, которые могут попадать в мед и тем самым не только снижать его товарные свойства, но и что самое опасное нести вред потребителю. [25]. Также возможно привыкание болезнетворных микроорганизмов со временем к используемым лекарственным препаратам, что снижает эффект от их использования. Помимо этого, при применении антибиотиков снижается и иммунитет пчел, что ведет к появлению новых заболеваний. Поэтому в настоящее время пчеловоды все больше уделяют внимание экологически чистым способам и средствам лечения пчел. Это, как правило, не медикаментозные способы лечения.

1.2 Немедикаментозные способы лечения болезней пчел

В качестве немедикаментозных способов борьбы с заболеваниями пчел известны следующие. Так, например, могут использоваться тепловые камеры. Они предназначены для борьбы с клещом варроа (рис 1.2).



Рисунок 1.2 – Изображение и фотография одного из вариантов тепловой камеры для пчел, используемой в борьбе с клещом варроа [11]

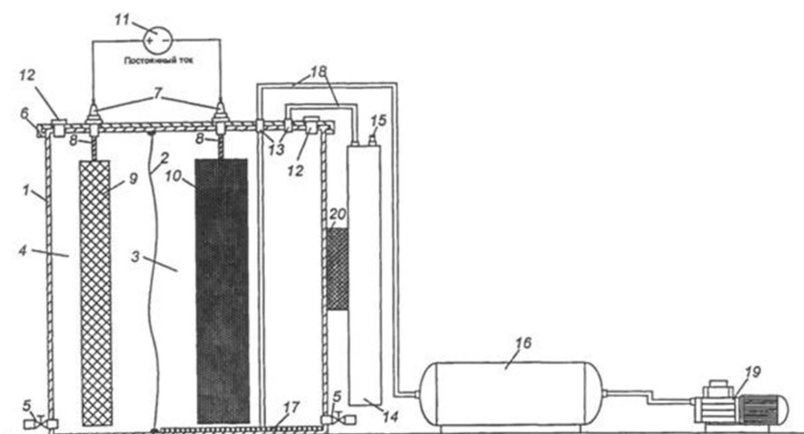
По сравнению с химическими способами борьбы с данным клещом обработка в тепловой камере гораздо эффективнее и достигает почти 100%, к

тому же не вносит никаких химических соединений в мед [11]. Эта процедура опасна для пчел, так как температуры 46-48 °С, при которых клещ теряет возможность держаться на пчеле, может привести к гибели пчел. Пчелиная семья при этой обработке собирается в клуб, где температура может оказаться предельной для самих пчел.

Хорошо зарекомендовало использование электроактивированной воды [6, 15, 20, 51, 59, 68, 69]. Получаемые в ходе диафрагменного электролиза воды экологически чистые растворы анолита (раствор с $\text{pH} < 7$, обладающий дезинфицирующими свойствами) и католита (раствор с $\text{pH} > 7$, обладающий биостимулирующими свойствами) можно использовать в пчеловодстве для дезинфекции ульев, сот и пчелоинвентаря, а также профилактики и лечения болезней пчел. Так известен патент [51] в котором предложен способ обслуживания пчел, включающий как профилактические, так и лечебные мероприятия. Для этих целей используется либо анолит с $\text{pH} 5,0-8,2$ (как средство для дезинфекции ульев и сот, профилактики и лечения пчел), либо католит с $\text{pH} 7,5-9,5$ (в лечебных целях). При получении анолита в исходную для электролиза воду добавляли NaCl , что способствует снижению энергозатрат на электролиз за счет увеличения проводимости обрабатываемой воды. Авторами патента была проведена оценка эффективности применения анолита в борьбе с американским гнильцом, аскоферозом и нозематозом по сравнению с вариантом лечения этих болезней антибиотиками, в частности тетрациклином, нистатином и фузагилином. Отмечается снижение обсемененности спорами *Bacillus larvae* и *Ascosphaera apis* при обработке ульев и сот, а также гибели пчел при их поении электроактивированными растворами в случаи инвазии спорами *Nozema apis*. По мнению авторов [69] электроактивированные растворы безвредны для пчел и не ухудшают качество продуктов пчеловодства.

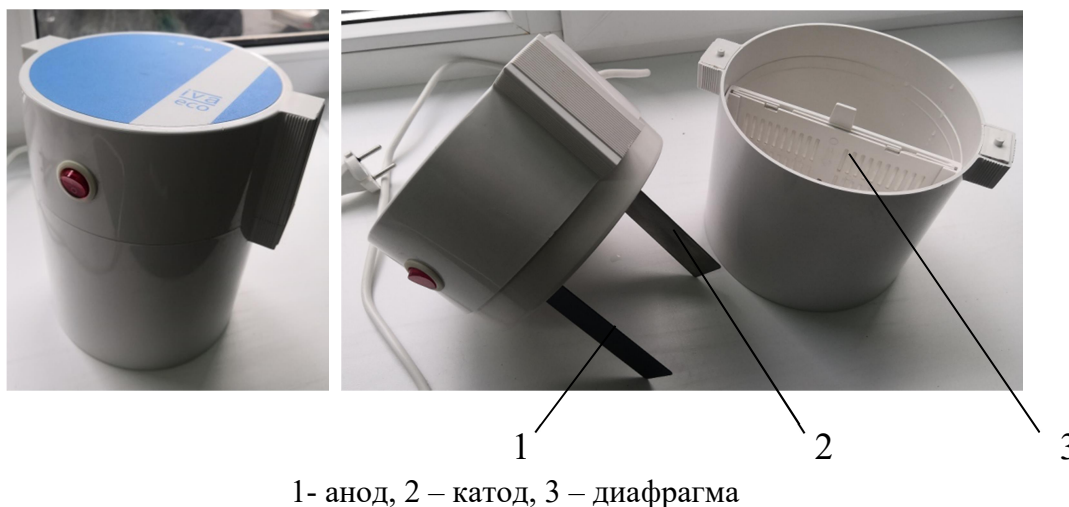
Также известны исследования и разработки электрооборудования по дезинфекции ульев и пчелоинвентаря с помощью растворов анолита барботированного озоном [6, 59]. Данный газ используется для усиления

дезинфицирующих свойств анолита, так как является сильным окислителем способным разрушать оболочку бактерий и вирусов. Как правило, для получения такого раствора используется комбинированная установка, состоящая из непроточного диафрагменного электролизера и электроозонатора. Вариант такой установки показан на рис. 1.3. В литературе [6] отмечается, что для получения подобного дезинфицирующего раствора достаточно иметь бытовой электролизер типа «Ива» (рис. 1.4) и озонатор производительностью 600 мг/ч.



1 – корпус; 2 – диафрагма; 3 – анодная камера; 4 – катодная камера; 5 – сливной кран; 6 – крышка; 7 – изолятор; 8 – соединительный стержень; 9 – катод; 10 – анод; 11 – источник постоянного тока; 12 – заливное отверстие; 13 – соединительный штуцер; 14 – деструктор озона; 15 – выпускной клапан; 16 – электроозонатор; 17 – распределитель озона; 18 – трубопровод; 19 – компрессор; 20 – соединительная пластина

Рисунок 1.3 – Схема установки для получения дезинфицирующего раствора анолита барботированного озоном согласно [59]



1- анод, 2 – катод, 3 – диафрагма

Рисунок 1.4 – Фотографии устройства непроточного диафрагменного электролизера воды «Ива»

Большинство болезнетворных микроорганизмов погибает при взаимодействии с раствором анолита, полученным в ходе 10 минутного диафрагменного электролиза водопроводной воды, и последующем 2 минутном его барботировании озоном. Также из работы автора указывается на то, что дезинфицирующие свойства анолита во многом определяются исходным составом воды и химическими реакциями, протекающими в результате электролиза, как внутри электролита (воды), так и на поверхности электродов. Стоит отметить, что основными действующими на болезнетворные микроорганизмы веществами в анолите, являются соединения хлора. Например, в процессе электролиза в анодной камере образуются такие кислоты, как HCl и HClO , а также гипохлорит (рис. 1.5).

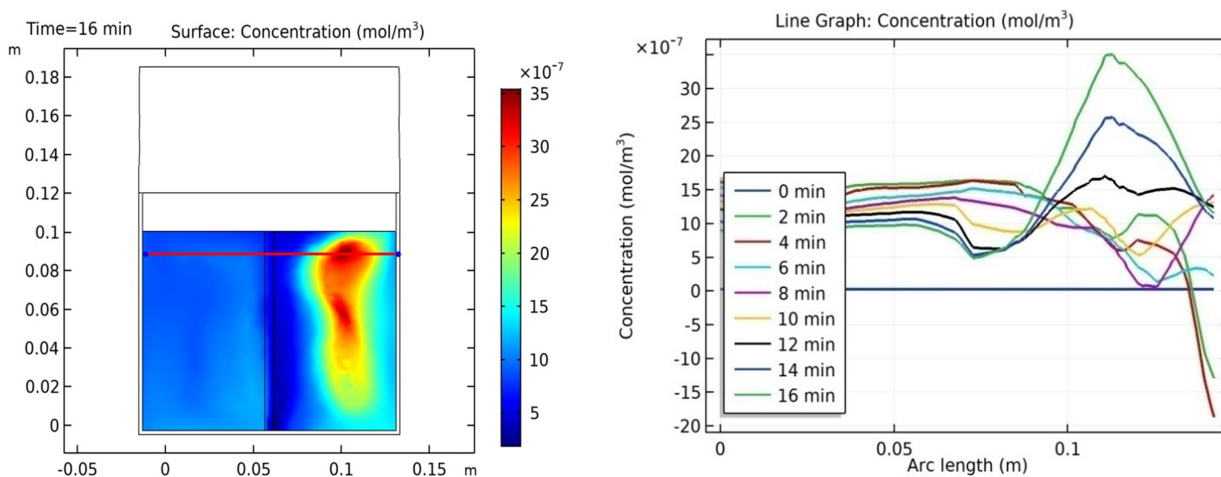


Рисунок 1.5 – Изображения концентраций HClO в анолите через 16 минут работы (слева) и графики изменения концентрации HClO по диаметру электролизера «Ива» с течением времени (справа) из работы [6]

Несмотря на доказанную эффективность от применения электроактивированных растворов в пчеловодстве, данный способ профилактики и лечения болезней пчел больше применим в стационарных условиях. В полевом состоянии пасеки он трудозатратен, так как помимо скармливания пчелам лечебных препаратов необходимо провести дезинфекцию ульев, которая согласно [51] может занимать больше суток и заключается в: разборке улья, нанесении анолита на его составные части с

последующей экспозицией в течение 3 часов, а затем их дальнейшую сушку и сборку. Помимо этого, необходимо иметь классическую систему электроснабжения.

Использование озонирования будет иметь меньше затрат труда, но эффективно. Нужно также отметить, что озон еще является и стимулятором весеннего развития пчелиных семей [31]. Данный газ убивает практически все виды бактерий, грибков и даже вирусов [67]. В табл. 1.2 приведены данные по влиянию озона на некоторые из них.

Таблица 1.2 – Влияние озона на микроорганизмы и вирусы согласно [67]

Наименование микроорганизма/вируса	Концентрация озона, мг/м ³	Экспозиция, мин	Результат
<i>Bacillus subtilis</i>	100	33	Уменьшение количества клеток на 90%
<i>Escherichia coli</i> (из чистой воды)	250	1,6	99,9% клеток разрушаются
<i>Clostridium sp</i>	50	0,083	-
<i>Streptococcus sp</i>	200	0,5	-
Энтеровирус и вирус герпеса	100-800	менее 0,5	Полное разрушение
Вирус Коксаки В5	400	2,5	99,99% вирионов разрушается

Способ обработки данным газом не предполагает разборку ульев, прост в использовании, экологически чист, безвреден для пчел, а также не оказывает влияния на продукты пчеловодства и позволяет лечить все вышеуказанные инфекционные и инвазионные заболевания пчел, и частично осуществляет борьбу с варроатозом. Если сравнивать эффективность действия озона и хлора, то первый оказывает влияние на гораздо большее количество болезнетворных микроорганизмов, чем второй. Так, согласно [33], некоторые микроорганизмы устойчивы к хлору, например *Cryptosporidium oocyst*, но легко разрушаются с помощью озона. В [77] отмечается, что на споровые формы бактерий озон действует разрушающе в 300-600 раз сильнее хлора. Таким образом, газообразный озон оказывает на

болезнетворные механизмы большее влияние по сравнению с электроактивированными растворами.

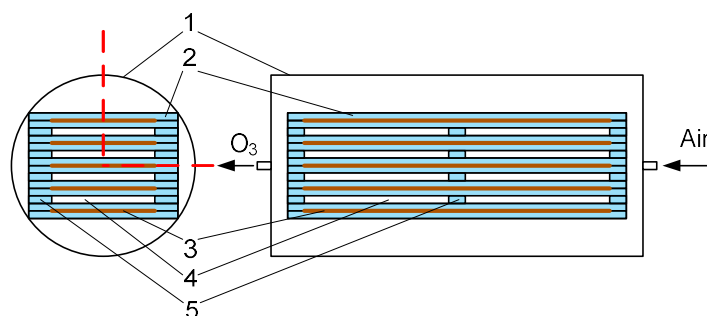
Исследованиями влияния озона на организм пчел занималась И.В. Сердюченко. В литературе [70] автором отмечается положительное действие рассматриваемого газа на микрофлору кишечного тракта насекомых. Выяснено, что озон способствует общему улучшению физиологического состояния организма пчел [71]. Также отмечается, что небольшие концентрации озона (6 мг на улей) в течении 2 часов оказывают губительное действие на большинство болезнетворных бактерий, но воздействие на такие грибы, как *Penicillium glaucum* и *Aspergillus ustus* слабое, что связано с их большой устойчивостью. В этом случае либо необходимо увеличить концентрацию озона, либо время обработки. Причем, в отличие от человека, согласно [52], пчелы выдерживают в тысячи раз большие концентрации озона (свыше 500 мг/м³ по сравнению с ПДК для человека равным 0,1 мг/м³), что позволяет проводить обработку в достаточно широком диапазоне концентраций, тем самым значительно сократив ее время. При этом озон безопасен для человека за счет того, что быстро распадается на воздухе, а начало и конец обработки могут быть автоматизированы с помощью таймера и проводиться без участия пчеловода.

В работе Р.Т. Клочко и С.Н. Луганского [14] также отмечается достижение дезинфицирующего эффекта при лечении европейского гнильца. Наилучший результат был получен при концентрации озона 5 мг/м³ и экспозиции 2 ч. Авторы заявляют о безвредности озона для пчел и их расплода после проведенной ими обработки.

Таким образом, использование озона является наиболее актуальным немедикаментозным вариантом лечения большинства грибковых, инфекционных и некоторых инвазионных заболеваний пчел. Данный метод позволяет минимизировать трудозатраты на лечебную обработку пчелиных семей и пчелоинвентаря, является экологически чистым, не оказывает негативного влияния на пчел, а также не остается в продуктах пчеловодства.

1.3 Современные исследования в области применения озона в пчеловодстве

Вклад в исследование и разработку современных электроозонаторов для сельского хозяйства внесли такие ученые как: В.Ф. Сторчевой, Ю.П. Пичугин, А.Г. Возмилов, А.Н. Матюнин и другие [24, 60, 72, 73,]. Непосредственно разработкой электрооборудования для озонирования пчелиных ульев, определением его рациональных параметров и режимов работы занимались ученые Кубанского ГАУ. Так в работах Д.А. Овсянникова, С.А. Николаенко и Д.А. Нормова показана эффективность применения озона в пчеловодстве для стимуляции весеннего развития пчел, а также для профилактики и лечения их бактериальных заболеваний [25, 26, 28, 29, 30, 31, 36, 39, 41]. Разработанные авторами электроозонаторы представляют из себя корпус, в котором находится разрядное устройство пластинчатого типа. Оно состоит из воздушных (или ещё называемых разрядными) промежутков, формируемых с помощью последовательного расположения электродов заключенных между диэлектрических барьеров. Как правило, последние выполнены из стекла толщиной 2 мм, а сами электроды из фольги. Воздушные промежутки создаются за счет размещения между диэлектрическими барьерами небольших вставок из стекла, той же толщины (рис. 1.6 и 1.7).



1 – корпус; 2 - диэлектрические барьеры; 3 – электроды; 4 - разрядный промежуток; 5 –
кусочки стекла

Рисунок 1.6 – Схема устройства электроозонатора пластинчатого типа
показанная в [93]

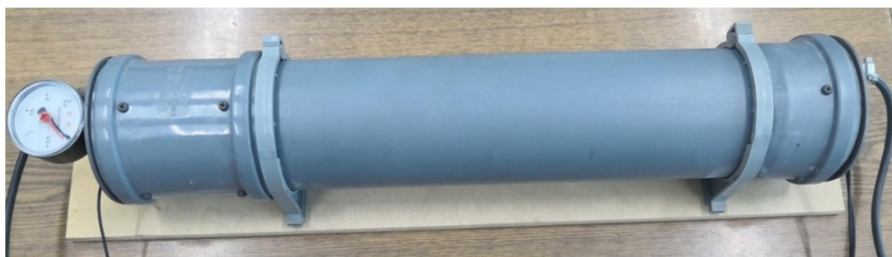


Рисунок 1.7 – Фотография озонатора для обеззараживания пчелиных ульев, используемого в исследованиях С.А. Николаенко и показанная в [93]

Принцип действия установок заключается в подаче на электроды высокого напряжения, что приводит к электрическим разрядам (стримерам) в воздушном промежутке. Воздух подается в разрядное устройство электроозонатора с помощью компрессора. По предлагаемой авторами технологии возможна одновременная обработка нескольких ульев с помощью одного электроозонатора и системы гибких шлангов (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Фотография обработки нескольких ульев с помощью одного электроозонатора [25]

В ходе проводимых исследований Д.А. Овсянниковым и Д.А. Нормовым были установлены режимы электроозонирования: для стимуляции весеннего развития пчелиных семей концентрация озона 32 мг/м^3 , экспозиция 24 часа, с периодичностью 1 раз в сутки, в течение 24 дней; при лечении и профилактике против аскосфероза концентрация озона 250 мг/м^3 , экспозиция 1 час, двукратно с периодичностью 7 дней. Также было отмечено, что значения концентрации озона на выходе из озонатора (которые и учитывались авторами в качестве одного из режимных параметров) и концентрация озона внутри улья могут существенно различаться. Дело в том, что концентрация озона в улье при обработке очень сильно дестабилизируется внутриульевым воздухообменом, создаваемым пчелами, который в свою очередь сильно зависит от температуры наружного воздуха. В итоге дальнейшим развитием данной электротехнологии стала система электроозонирования с автоматической стабилизацией концентрации озона в ульях для лечения бактериозов пчел, разработанная С.А. Николаенко и Д.А. Овсянниковым [25]. Она позволяет обрабатывать от 1 до 30 пчелиных семей. Исследования, проводимые авторами на таких тест-микроорганизмах, как *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* показали, что снижение их выживаемости до нуля осуществляется при концентрациях озона от 25 до 100 мг/м^3 и времени обработки от 15 до 120 минут. С позиции же минимальной энергоемкости обработки озоном: концентрация газа должна быть 50 мг/м^3 , время обработки 30 минут, энергоемкость 71 Вт·ч/улей. Данный режим работы заявлен авторами, как наиболее рациональный при лечении бактериальных заболеваний пчел.

Одним из факторов сдерживающих применение электроозонаторов пластинчатого типа в пчеловодстве, которые использовались в работах описанных выше, является их низкая надежность и частые пробои диэлектрических барьеров из-за перегрева. Как правило, способы решения проблемы заключаются в отключении питания устройства по датчику

температуры при достижении ее критических значений, что не повышает их срок службы и останавливает технологический процесс обработки озоном.

1.4 Способы повышения эффективности использования электроозонаторов в пчеловодстве

Многими авторами отмечается факт высокого нагрева разрядного устройства электроозонатора при его работе. Это связано, конечно, с принципом действия, так как основная энергия (более 70%) идет на нагрев пространства озонатора [21, 31]. Давно установлено, что температура — это определяющий фактор, который влияет на концентрацию образовавшегося озона. Также известно, что при высокой температуре увеличивается вероятность пробоя его диэлектрических барьеров, которые согласно [31] могут нагреваться до 70 и более градусов (рис. 1.9).

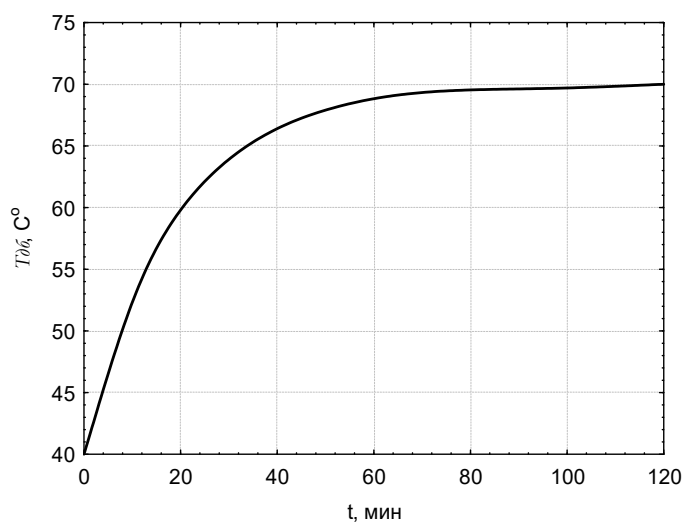


Рисунок 1.9 – График изменения температуры диэлектрических барьеров во времени [31]

На увеличение вероятности пробоя стекла диэлектрических барьеров и снижение производительности электроозонатора помимо температуры также оказывает влияние и влажность воздуха (рис. 1.10).

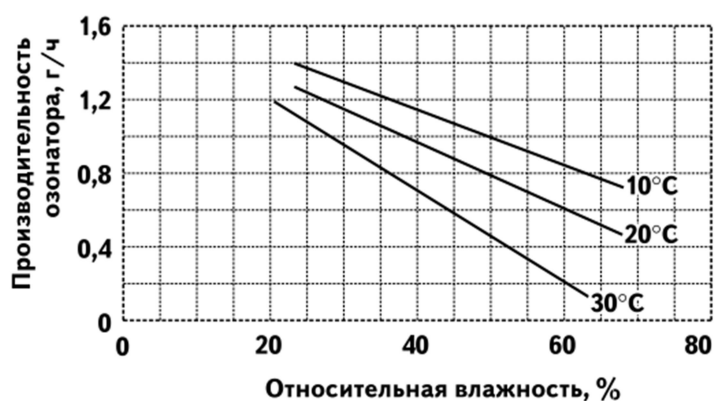


Рисунок 1.10 – Зависимость производительности электроозонатора от влажности и температуры воздуха в нем из [12]

Так согласно [12] производительность электроозонатора при увеличении температуры воздуха с 10°C до 30°C и при одинаковой влажности (60%) может упасть в 3 раза (с 0,6 г/ч, до 0,2 г/ч). Из рис. 1.10 видно, что чем суше и холоднее воздух, подаваемый в электроозонатор, тем выше его производительность и, по всей видимости, надежность его работы. Снижение производительности установки при повышении влажности объясняется в [25] ускорением процессов деструкции озона. В [32] показано, что наилучшая производительность электроозонатора при влажности 60-70% достигается при температуре подаваемого воздуха от 0 до 20°C (рис. 1.11). В летнее время получить такие температуры без применения охлаждающей установки невозможно.

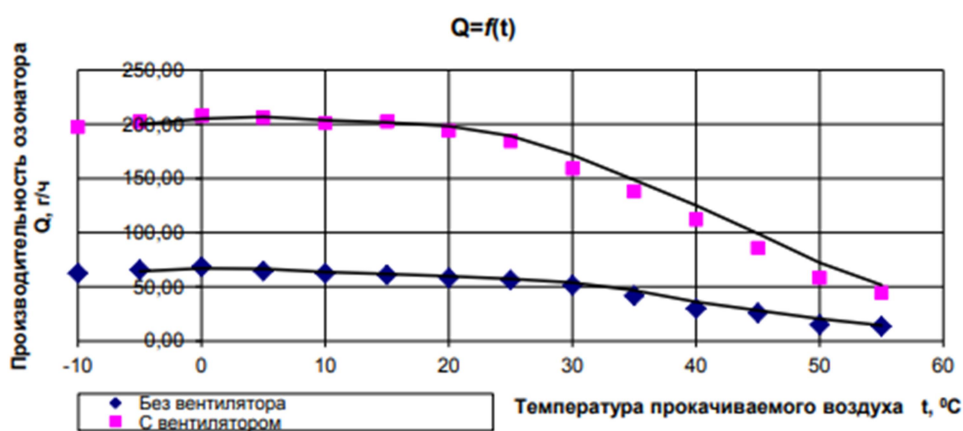
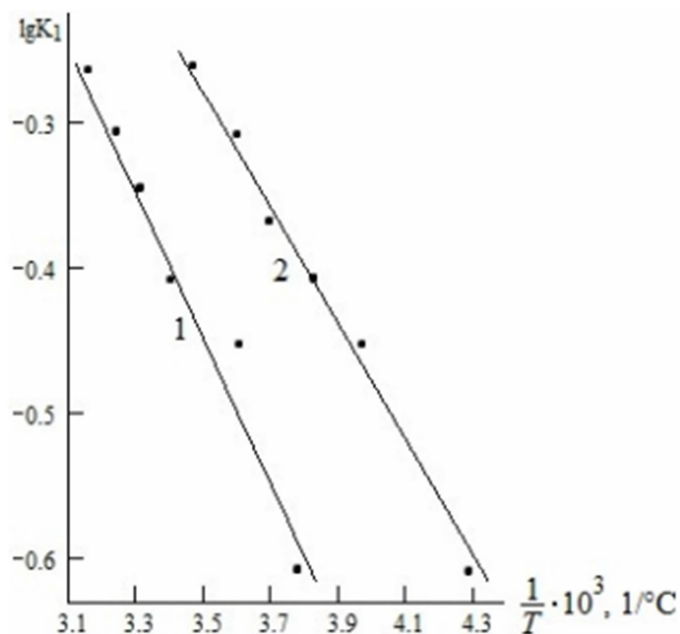


Рисунок 1.11 – График изменения производительности электроозонатора от температуры подаваемого воздушного потока из [32]

В работах Ю.В. Филиппова и Н.И. Кобозева показано, что с ростом температуры воздуха растет значение константы разложения озона, что обосновывается увеличением скорости химических реакций, при которых происходит его разложение (рис. 1.12).



1 – по температурам электродов электроозонатора, 2 – по температурам газа в разрядном промежутке

Рисунок 1.12 – Зависимость логарифма константы разложения озона от обратной величины температуры из работы [74]

Таким образом, снижение температуры воздуха внутри электроозонатора, а соответственно и самого разрядного устройства приводит к повышению энергоэффективности процесса генерации озона [24]. Поэтому для изучения параметров и режимов работы данных установок необходимо знать распределение тепловых полей в них. Но тепловые процессы, протекающие в электроозонаторе зависят от множества факторов (температура и влажность окружающего воздуха, конструкция, тип течения воздуха внутри установки, материалы из которых она изготовлена, подаваемая мощность) и очень сложны для наблюдения. Тепловизионная съемка не позволяет заглянуть внутрь корпуса, а установка

термосопротивлений на разрядном устройстве, как это было сделано в [25] не даст полной картины тепловых полей. Поэтому для их определения многие исследователи используют математическое моделирование, а также современные программные среды для проведения компьютерной обработки разработанных моделей. Это позволяет учесть в рассматриваемой задаче не только процессы теплопередачи, но также химические, гидродинамические и электрические процессы.

Так, например, В.А. Кузнецовым было проведено математическое моделирование в ходе, которого автором обосновано преимущество озонаторов с турбулентным режимом течения воздуха в разрядных промежутках перед озонаторами с ламинарным режимом [19]. Полученные тепловые модели позволяют увидеть изменение температуры по толщине разрядного промежутка в различные его сечения находящиеся на расстоянии l от точки входа газа в озонатор (рис. 1.13). Модель не позволяет увидеть изменение полей температур во всём объёме установки.

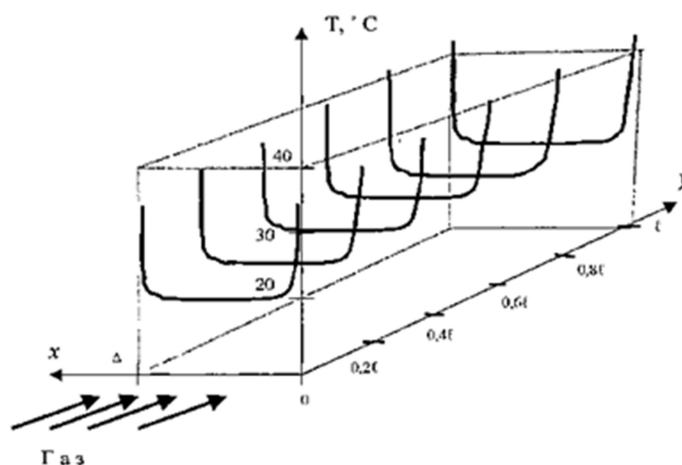


Рисунок 1.13 – Изображение изменения температуры по толщине разрядного промежутка в различных его сечениях, отстоящих на расстоянии l от точки входа при турбулентном потоке газа из [19]

В [25] было проведено компьютерное моделирование разработанной математической модели тепловых процессов в электроозонаторе с помощью отечественного ПО MBTU (SimInTech). Полученная автором модель

учитывает влияние подачи воздуха на температуру стекла диэлектрических барьеров. С помощью нее была обоснована минимально допустимая подача воздуха в электроозонатор (равная 3,1 м³/ч) при условии максимально допустимой температуры диэлектрических барьеров принятой равной 50 °С (рис. 1.14).

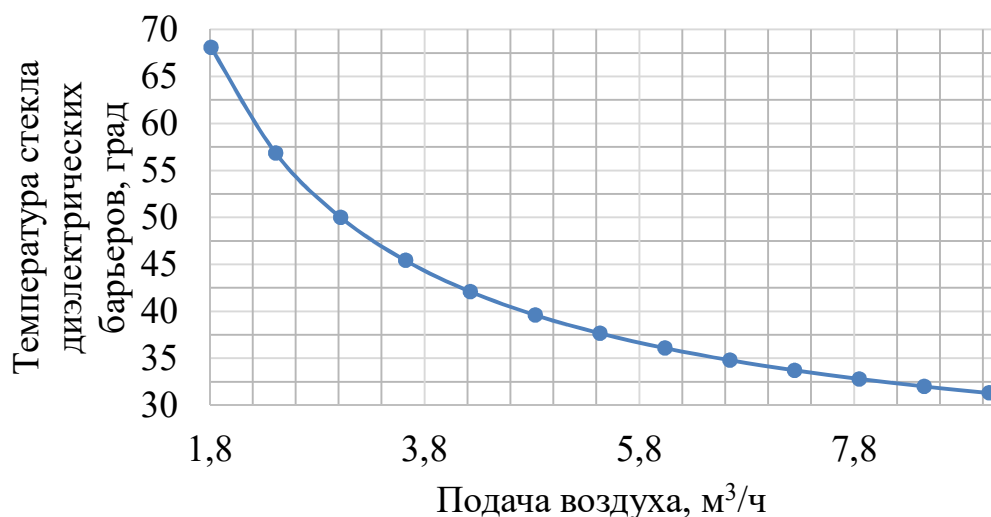
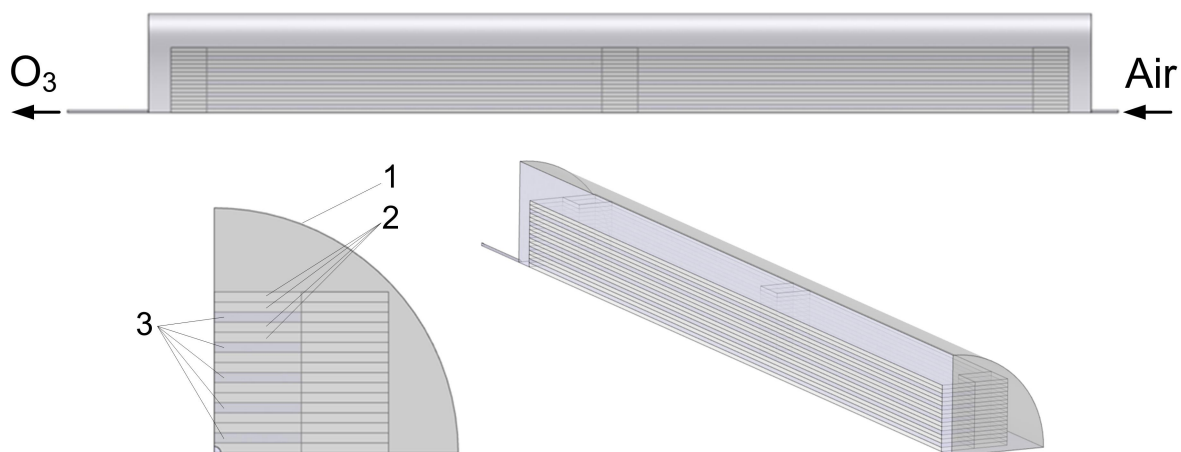


Рисунок – 1.14 График влияния подачи воздуха в электроозонатор на температуру стекла диэлектрических барьеров согласно модели представленной в [25]

В качестве исходных данных для расчета в модели принималась температура окружающего воздуха равная 20 °С и такое же значение температуры воздуха задавалось на входе в электроозонатор, что далеко не всегда соответствует действительности в летнее время. К тому же подаваемый в электроозонатор воздух, проходя через компрессор дополнительно нагревается. Учитывая, то, что летом средние температуры днем в Краснодарском крае согласно [62] могут варьироваться от 27 °С до 35 °С, то на входе в электроозонатор температуры могут быть на 10-15 °С выше и составлять порядка 40 и более градусов, что не учитывалось автором при моделировании. Таким образом, в летний период на входе в улей температура озоновоздушной смеси и вовсе будет свыше 50 °С. Пчелы будут вынуждены увеличить воздухообмен и удалят вместе с отработанным

воздухом и озонированную воздушную смесь. Тогда эффект от обработки может быть только отрицательным.

Также известны исследования [93] в которых проводилось моделирование тепловых процессов в электроозонаторе с помощью современного программного обеспечения Comsol Multiphysics (рис. 1.15 и 1.15).



1 - корпус озонатора; 2 - диэлектрические барьеры; 3 - разрядные промежутки

Рисунок 1.14 – Изображение геометрической модели озонатора из [93]

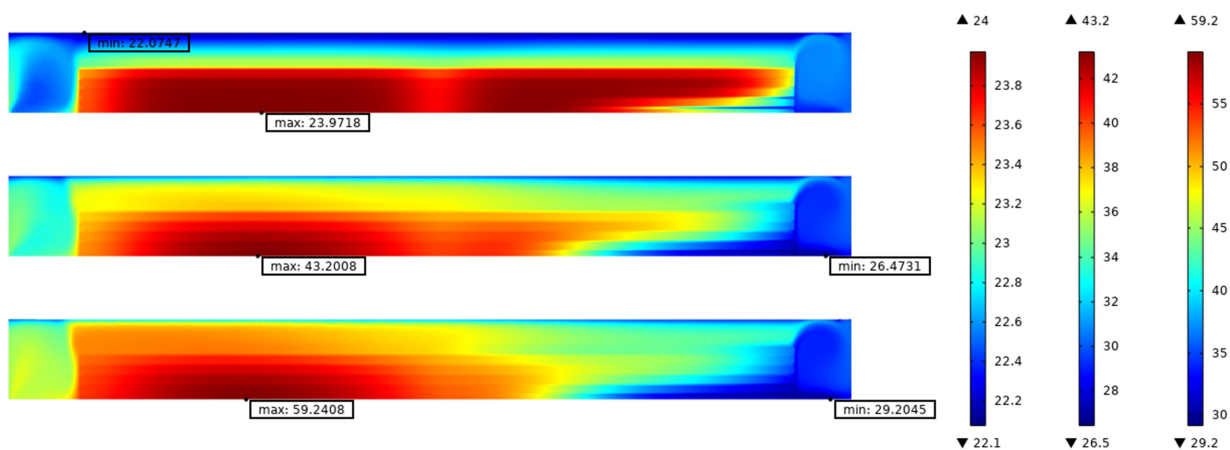


Рисунок 1.15 – Поверхности распределения температур, в озонаторе полученные в [93]: сверху - через 5 минут, посередине - через 60 минут, снизу - через 120 минут

Рассматриваемая в [93] математическая модель в общем виде выглядела следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} P = (2/\pi)\omega U_g [C_b(U_0 - U_g) - U_g C_p] \\ \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \\ \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \nabla u = \\ = -\nabla p + \nabla \left((\mu + \mu_T) \left(\nabla u + (\nabla u)^T - \frac{2}{3} (\mu + \mu_T) (\nabla u) I \right) \right) + \rho g \end{array} \right. \quad (1.1)$$

где P – мощность, подводимая к электроозонатору, Вт; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота тока, Гц; f – частота тока ($f = 50$ Гц), Гц; U_g – мгновенное значение напряжения на разрядном промежутке, В; U_0 – амплитудное значение напряжения на озонаторе, В; C_b – ёмкость двух диэлектрических барьеров соединённых последовательно, Ф; C_p – ёмкость разрядного промежутка, Ф; ρ – плотность среды, кг/м³; C_p – теплоёмкость среды, Дж/(кг·К); u – поле скорости воздуха продуваемого через озонатор, м/с; Q – мощность источника тепла, Вт/м³; q – плотность теплового потока $q = -k\nabla T$, Вт/м²; k – теплопроводность воздуха, Вт/(м·К); T – температура, К; μ – коэффициент динамической вязкости влажного воздуха, Па·с; p – давление, Па; I – единичный вектор; g – сила тяжести; μ_T – турбулентная вязкость, Па·с.

Согласно системе уравнений (1.1) авторами проводилось моделирование тепловой и гидродинамической задачи на базе уравнений Фурье и Навье-Стокса (для сжимаемой жидкости в случае турбулентного потока) соответственно. Формула для нахождения подводимой к электроозонатору мощности P , полученная Ю.В. Филипповым применима только для одного разрядного промежутка. Поэтому тепловая мощность источника тепла (в роли которого выступает разрядное устройство электроозонатора) согласно авторам исследования имеет вид:

$$Q = (0,85 \cdot N \cdot P) / V \quad (1.2)$$

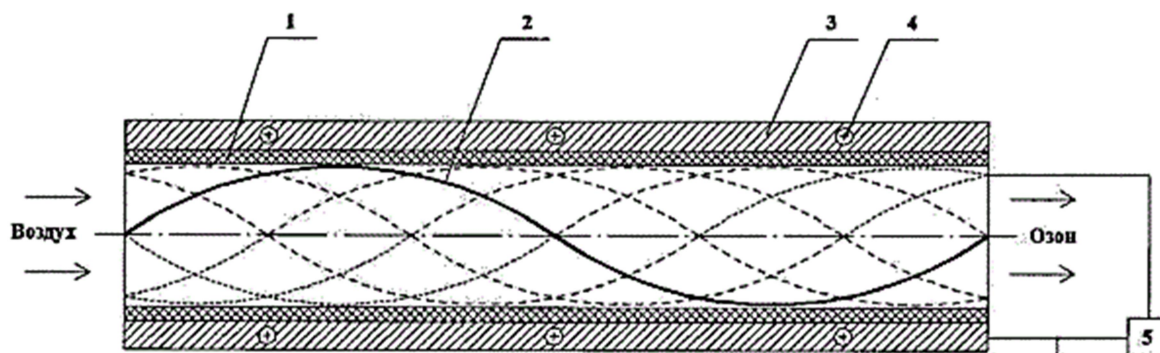
где N – количество разрядных промежутков, шт.; V – объём источника тепла, м³; 0,85 – коэффициент учитывающий процент, от подводимой мощности, идущий на нагрев.

Температура окружающего воздуха в модели так же, как и в предыдущей работе, была принята равной 20 °С. Моделирование проводилось для ¼ части установки, так как согласно рисунка 1.13 она имеет цилиндрическую форму и соответствующую ось симметрии, поэтому на представленных температурных полях показана половина установки в продольном сечении (рис. 1.15). В работе авторами показано, что результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными. Из рис. 1.15 видно, что максимальная температура в электроозонаторе находится всегда в области около 2/3 установки от входного сечения. Через 1 и 2 часа работы электроозонатора температура принимает значение на 10-15 °С больше, чем температура озоновоздушной смеси на выходе. В модели также не учитывалась реакция низкотемпературного (до 200°С) разложения озона, которая протекает с выделением тепла: $O_3 + O \rightarrow 2O_2 + 392 \text{ кДж/моль}$ [21].

Несмотря на некоторые недостатки компьютерной модели, стоит отметить современный подход авторов к решению поставленной задачи. Использование мощных компьютерных инструментов для проведения моделирования позволяет ускорить процесс исследования и разработки электротехнологических устройств.

Как видно из проведенного литературного анализа в имеющихся на сегодняшний день исследованиях по разработке электроозонаторов для нужд пчеловодства важный вопрос по температуре озоновоздушной смеси не освещается. Поэтому для пчеловодства актуальна разработка системы охлаждения для электроозонаторов. Если рассматривать наиболее приемлемые для эксплуатации в данной отрасли изобретения по данной теме, то можно выделить 2 способа охлаждения электроозонаторов. Первый способ представлен, например, в патенте [65]. В нём предлагается проводить

охлаждение одного из электродов установки с помощью жидких хладагентов через специальные каналы в нем (рис. 1.16).



1 – диэлектрический цилиндр, 2 и 3 – электроды, 4 каналы охлаждения

Рисунок 1.16 – Изображение устройства электроозонатора из патента [65]

Стоит отметить, что делать электроды полыми достаточно распространенный способ для их охлаждения, так, например, в [53] через полые электроды протекает водопроводная вода. А в [55] для этих же целей используется деионизированная вода. Такой способ охлаждения является очень эффективным, но все-таки трудно осуществимым в условиях пасеки, усложняет изготовление электродов для электроозонатора, а в случае использования для охлаждения жидкости требует особых мер безопасности и водоподготовки. Электроозонаторы с таким типом охлаждения чаще всего служат для обеззараживания воды, которая их и охлаждает. Сюда же стоит отнести и озонаторы, у которых к электродам, которых крепятся различные воздушные или водяные радиаторы, как например, в [54]. Как правило, наличие мощной системы охлаждения присуще электроозонаторам используемым в промышленности и в большинстве случаев они не пригодны к использованию в сельском хозяйстве, в частности в пчеловодстве, ввиду своей сложной конструкции и больших массогабаритных показателей.

Другой способ охлаждения электроозонаторов предполагает использование элементов Пельтье или так называемых термоэлектрических модулей [88-92, 95-97, 100, 101]. Принцип действия элементов основан на эффекте Пельтье и заключается в одновременном охлаждении и нагреве

соответствующих керамических пластин устройства при пропускании электрического тока через последовательно соединенные полупроводники р и n типа заключенных между ними (рис. 1.17).

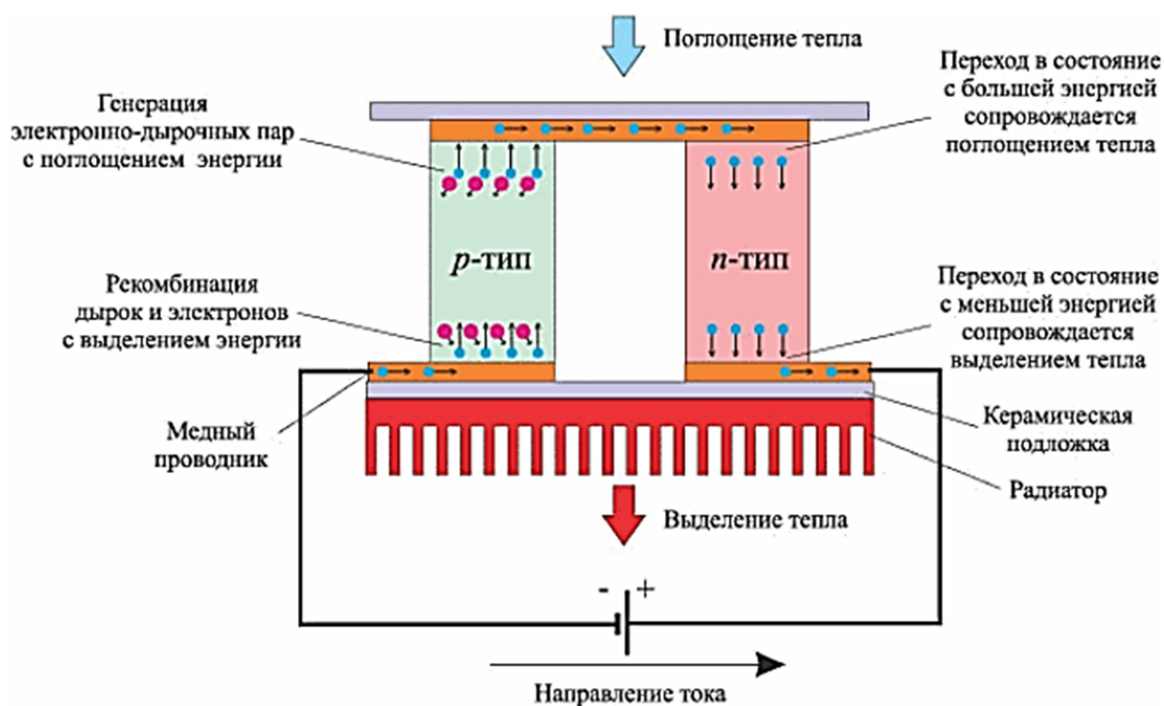
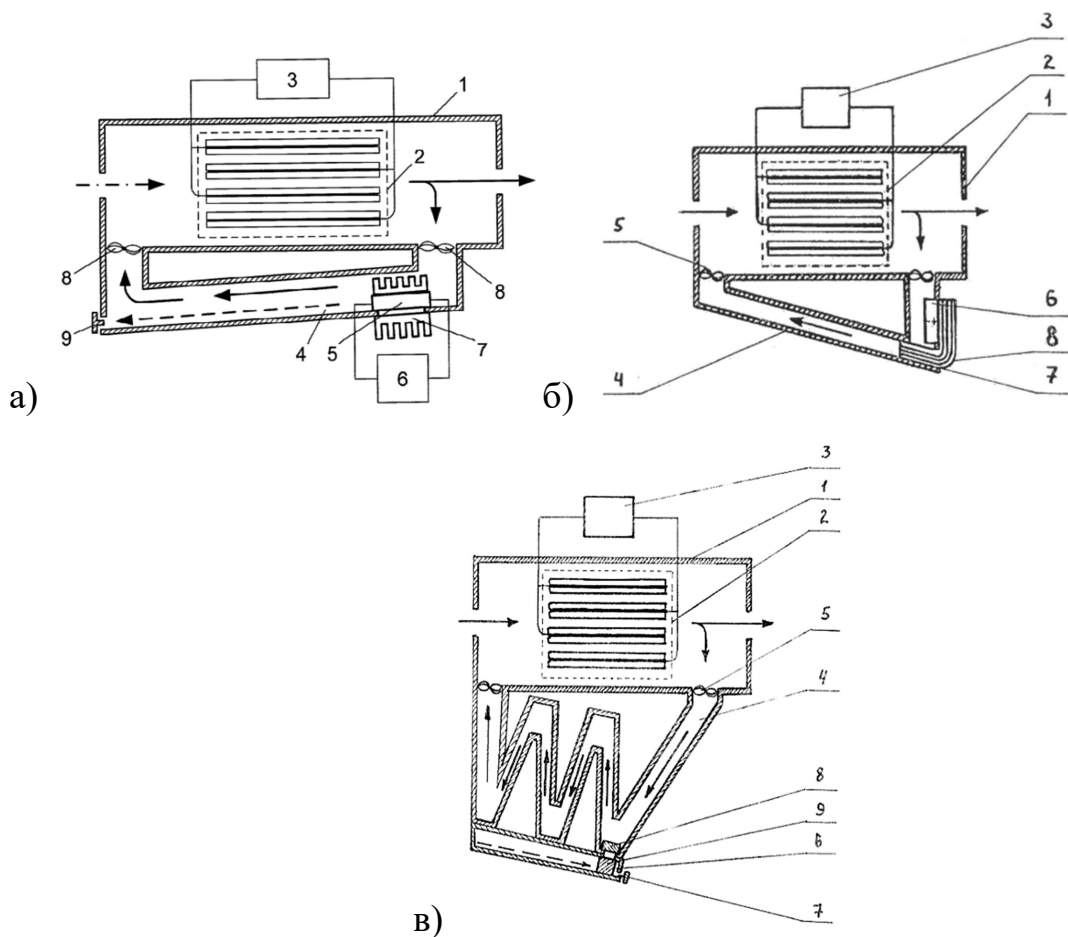


Рисунок 1.17 – Принцип работы элемента Пельтье

В результате перехода электронов через полупроводники происходит либо отдача ими энергии, либо поглощение. Так, например, известен патент [57] в котором охлаждение электроозонатора предполагается выполнить следующим образом. Часть озоноздушную смеси генерируемой электроозонатором с выхода установки возвращают на ее вход с помощью перепускного патрубка, в котором установлен элемент Пельтье. Температура возвращаемой озоноздушную смеси, соприкасаясь с холодной стороной элемента Пельтье снижается и тем самым способствует охлаждению разрядного устройства электроозонатора (рис. 1.18 а). Также известны последующие совершенствования данной конструкции [63, 64]. Они отличаются от изначального варианта различными способами удаления конденсата из установки, неминуемо образующегося при работе элемента Пельтье (рис. 1.18 б и в).

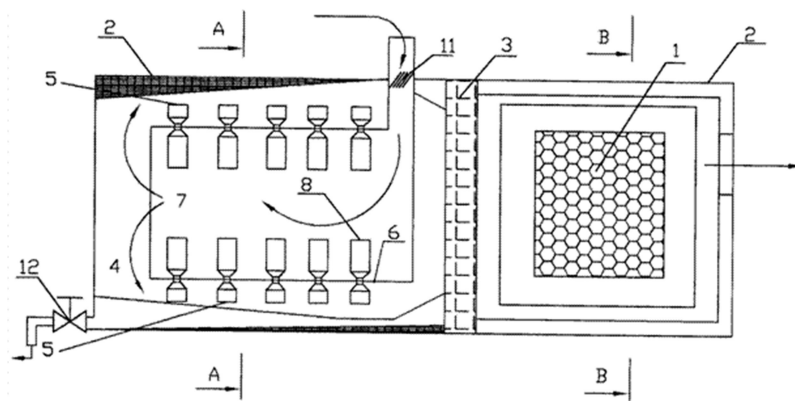


а) согласно патенту РФ №2429192, б) согласно полезной модели №125314, в) согласно полезной модели №126696

Рисунок 1.18 – Изображения различных вариантов охлаждения электроозонатора с помощью элемента Пельтье

Гораздо эффективнее охлаждать воздух, подаваемый к электроозонатору, так как он имеет температуры изначально ниже, чем озоновоздушная смесь, нагреваемая его разрядным устройством. К тому же в такой конфигурации не потребуется перепускной патрубков, что упростит конструкцию. Такая конструкция показана в патенте [58], где подаваемый в электроозонатор воздух вначале проходит через радиаторы соединенные с горячими сторонами элементов Пельтье и далее уже нагретый соприкасается с радиаторами, установленными на холодной стороне термоэлектрических модулей, на которых конденсируется влага. Тем самым, согласно заявлению

авторов патента, воздух осушается и охлаждается перед его подачей в электроозонатор (рис. 1.19).



1 – разрядное устройство барьерного типа, термозоляционный кожух, 3 – влагозадерживающий фильтр, 5 – «холодный» радиатор, 8 – «горячий» радиатор

Рисунок 1.19 – Изображение электроозонатора по патенту [58]

Несмотря на заявляемый положительный эффект подвергается сомнению возможность таким способом охлаждения, подаваемого к разрядному устройству электроозонатора воздуха. Так как, вначале он нагревается компрессором, затем нагревается «горячими радиаторами» и только потом поступает на охлаждение. К тому же получить для этого достаточный термоэлектрический эффект невозможно нагревая «холодные» радиаторы. Таким образом, способ пригоден для сушки воздуха подаваемого в электроозонатор, но не для его охлаждения.

Тем не менее, использование элементов Пельтье по сравнению с другими способами охлаждения имеет ряд существенных преимуществ: большая разница температур между холодной и горячей сторонами элемента Пельтье (при соответствующем отводе тепла и холода она может достигать 70 °С); малые размеры; бесшумность; чаще всего электропитание постоянным током напряжением 12 В, возможность применения на пасеке. Это наилучший способ охлаждения воздуха подаваемого в электроозонатор. Но проведенный литературный анализ показал, что существующие конструкции охладителей на базе элементов Пельтье для электроозонаторов

так и остаются на уровне идеи и не имеют определенных параметров и режимов работы для того чтобы их использовать в пчеловодстве.

Практическое применение термоэлектрических модулей в качестве элемента охлаждения позволит повысить надежность работы электроозонаторных установок и повысить их производительность. Самое главное – позволит снизить температуру озоновоздушной смеси, подаваемой в пчелиный улей.

1.5 Выводы и задачи исследований

Таким образом, несмотря на многие исследования, проводимые в области озонирования пчелиных семей, остаётся ещё ряд нерешённых задач. Можно определить следующие выводы.

1. Большой вклад в развитие электроозонаторов для пчеловодства внесли ученые Кубанского ГАУ: Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко и Д.А. Нормов. Ими доказан положительный эффект от применения электроозонирования при стимуляции развития пчел, а также профилактике и лечении их заболеваний в условиях пасек Краснодарского края. Тем не менее, разработанные установки требуют совершенствования.

2. Согласно проведенному анализу имеющихся источников литературы основным сдерживающим фактором применения электроозонирования в пчеловодстве, как эффективного и экологически чистого метода стимуляции развития пчелиных семей, а также профилактики и лечения их грибковых, инфекционных и некоторых инвазионных заболеваний является сильный нагрев озоновоздушной смеси на выходе электроозонатора. С одной стороны, это приводит к снижению производительности и надежности работы озонатора. Например, согласно [12] производительность электроозонатора при увеличении температуры воздуха с 10°C до 30°C и при одинаковой влажности (60%) может упасть в 3 раза (с 0,6 г/ч, до 0,2 г/ч).

Согласно [32] наилучшим вариантом сохранения производительности установки является подача в нее воздуха в диапазоне температур от 0°C до 20°C, которые в летнее время получить без применения охлаждающей установки невозможно. С другой стороны, в результате работы компрессора и озонатора горячий воздух попадает внутрь пчелиного улья, а это вынуждает пчел увеличивать воздухообмен улья, что приводит к частичному удалению озона, снижению эффективности обработки, привлечению дополнительных пчел к вентиляции.

3. Исправить ситуацию возможно путем создания охладителя, подаваемого в электроозонатор воздуха. Наиболее эффективным в условиях пасеки будет использование в качестве элемента охлаждения термоэлектрического модуля известного, как элемент Пельтье.

4. Использование современного программного обеспечения для проведения компьютерного моделирования позволит провести тщательный анализ работы охладителя и рекомендовать рациональные параметры и режимы его работы.

Проблема. Не смотря на высокую эффективность антимикробного и лечебного действия озоновооздушной смеси, применение озонаторов ограничивается из-за вынужденного нагревания потока, подаваемого в улей. Существующие системы охлаждения воздуха громоздки, энергоемки и не адаптированы для работы в полевых условиях пчеловодства.

Гипотеза. Исследования по использованию элемента Пельтье для предварительного охлаждения воздуха, подаваемого в озонатор с определением параметров и режимов соответствующей конструкции, позволит повысить концентрацию озона в выходном потоке, уменьшит температуру озоновооздушной смеси, что улучшит микроклимат пчелиной семьи и сократит ее затраты на воздухообмен.

Цель работы. Обоснование параметров и режимов охладителя воздуха на основе элемента Пельтье для озонаторов, используемых в пчеловодстве для лечебной профилактики пчелиных семей и обработки пчелоинвентаря.

Задачи исследования.

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему озонирующей установки с определением необходимой холодопроизводительности охладителя.
2. Разработать конструкцию охладителя воздуха для электроозонатора на базе элементов Пельтье и разработать ее геометрическую модель для программного обеспечения.
3. Разработать математическую модель, описывающую тепловые и аэродинамические процессы в охладителе воздуха на базе элементов Пельтье.
4. В программном комплексе «Comsol Multiphysics» разработать и провести реализацию математической модели охлаждения воздуха в охладителе и обосновать его рациональные параметры и режимы.
5. Изготовить охладитель воздуха для озонатора на основе элемента Пельтье, провести экспериментальные исследования по сопоставлению опытных данных с результатами моделирования.
6. Провести экспериментальные исследования по влиянию температуры входного воздуха на производительность озонатора.
7. Обосновать экономическую эффективность использования озонирующей установки с охладителем воздуха в пчеловодстве.

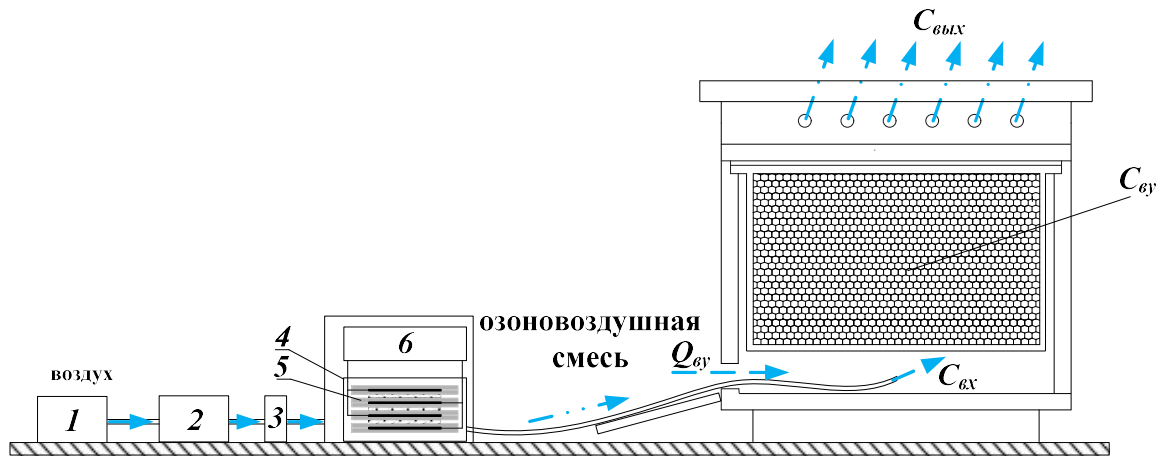
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОХЛАДИТЕЛЕ НА БАЗЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ

2.1 Разработка конструктивно-технологической схемы озонирования ульев и геометрической модели охладителя на базе элементов Пельтье

Для внедрения рассматриваемого охладителя в электротехнологический процесс озонирования пчелиных ульев необходимо определить его место в нем. Стандартная схема включает в себя компрессор подающий воздух в электроозонатор из которого образованная в нем озоновоздушная смесь через систему гибких шлангов поступает в один или несколько пчелиных ульев. Поэтому возможны 2 варианта установки. После электроозонатора для охлаждения озоновоздушной смеси с целью исключить негативное воздействие высоких температур на пчел. Либо между компрессором и электроозонатором, что даст возможность не только снизить температуру озоновоздушной смеси, но и снизить нагрев разрядного устройства, что как было показано в предыдущей главе увеличивает его производительность и надежность работы. По нашему мнению, наибольший положительный эффект можно достичь при 2 варианте установки охладителя. Но стоит отметить, что в любом из этих вариантов присутствует необходимость осушения воздуха вследствие возникновения перепада температур и появления влаги, которая не желательна ни в улье, ни внутри электроозонатора. Поэтому после охладителя необходимо ставить воздушные фильтры-влагоотделители для устранения этого недостатка. Таким образом, конструктивно-технологическая схема озонирования с предлагаемым охладителем будет иметь вид, показанный на рис. 2.1.

В работе [25] была определена минимальная подача компрессора для электроозонатора равная 70 л/мин или 42 м³/ч. С учетом добавления в систему «компрессор-охладитель» дополнительного воздушного сопротивления в виде охладителя целесообразнее принять большую

производительность компрессора. Так в той же работе экспериментальные исследования проводились на базе компрессора с производительностью 125 л/мин ($7,5 \text{ м}^3/\text{ч}$).



1 – компрессор, 2 – охладитель, 3 – фильтр-влажнотделитель, 4 – корпус электроозонатора, 5 – разрядное устройство, 6 – источник питания электроозонатора

Рисунок 2.1 – Изображение конструктивно-технологической схемы озонирования ульев с охладителем воздуха, поступающего в электроозонатор

Для проведения математического описания и последующего компьютерного моделирования поставленной задачи вначале необходимо определить конструкцию рассматриваемой охладительной установки и основные ее параметры. Так для выбора марки и количества элементов Пельтье в охладителе, в первом приближении, необходимо знать какое количество мощности P_C необходимо затратить на охлаждение воздуха, подводимого от компрессора. Температура воздуха на выходе из компрессора в зависимости от температуры окружающей среды может составлять $35-45^\circ\text{C}$ (примем 40°C), а температура на входе в электроозонатор согласно [32] должна иметь температуру $10-20^\circ\text{C}$ (примем 20°C). Тогда требуемая холодопроизводительность P_C :

$$P_C = Q_B \cdot \rho_B \cdot C_B (T_1 - T_2) = 7,5 [\text{м}^3/\text{ч}] \cdot 1,2 [\text{кг}/\text{м}^3] \cdot 1 [\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})] \cdot (40 [^\circ\text{C}] - 20 [^\circ\text{C}]) = 180 [\text{кДж}/\text{ч}] = 50 [\text{Вт}] \quad (2.1)$$

где Q_B – объемный расход или производительность компрессора, м³/ч; ρ_B – плотность воздуха для перевода Q_B в массовый расход, кг/м³; C_B – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры воздуха, °С.

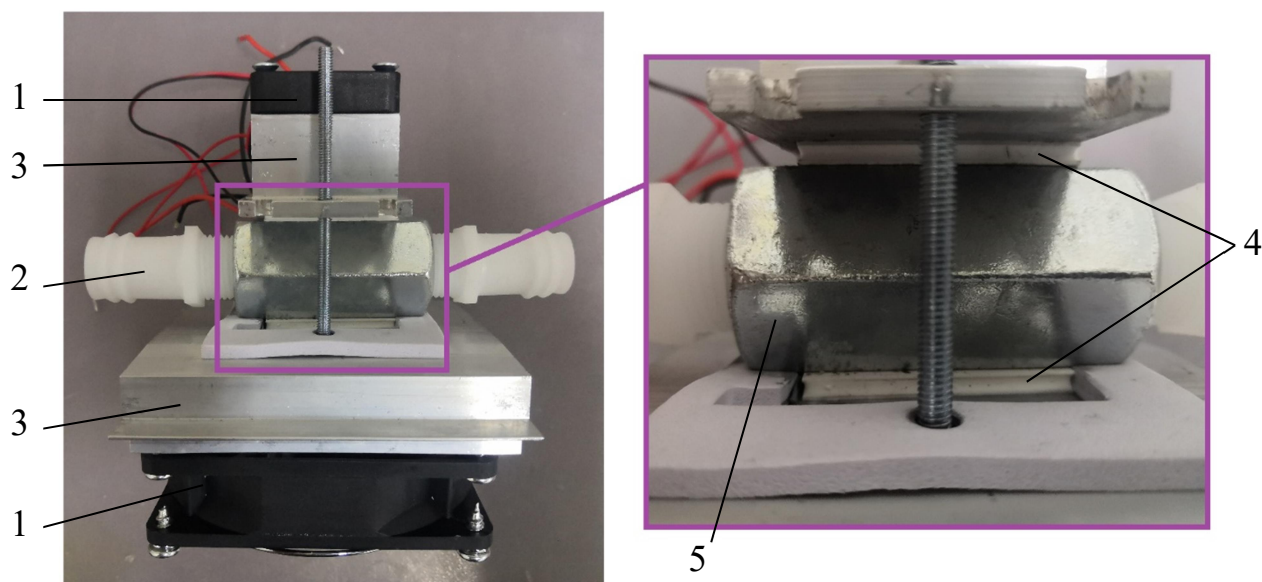
Обычными составляющими охладителей на базе элементов Пельтье являются: сами элементы в виде термоэлектрических модулей (ТЭМ), кулеры для отвода тепла и холода от них. Существует большое разнообразие ТЭМ. Они имеют различные размеры и бывают чаще всего квадратной, реже прямоугольной формы. Как правило, размер сторон ТЭМ составляет от 1 до 4 см. В соответствии с габаритами в ТЭМ размещается разное количество полупроводниковых элементов от чего зависят их основные характеристики: максимальная холодопроизводительность P_{Cmax} , максимальный ток I_{max} , максимальное напряжение U_{max} , максимальная разность температур ΔT_{max} между сторонами модуля при температуре горячей стороны равной 300 К (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Характеристики наиболее распространенных на рынке ТЭМ

Наименование	I_{max} , А	U_{max} , В	P_{Cmax} , Вт	ΔT_{max} , °С	Габаритные размеры, мм
TEC1-127060-40	6	15,4	54,9	60	40x40x4
TEC1-127040-40	4	15,4	35,6	60	40x40x4,8
TEC1-127030-30	3	14,2	25,1	60	30x30x4
TEC1-017040-15	4	2	4,7	60	15x15x4,8
TEC1-065040-4Н	4	7,6	17,8	60	40x20x4,8
TEC1-035030-3Н	3	4,2	7,4	60	30x15x4,8

Естественно, что наибольшей холодопроизводительностью будут обладать ТЭМ с большей площадью сторон. Номинальное напряжение стандартных ТЭМ составляет, как правило, либо 5, либо 12 В. Для рассматриваемой задачи предпочтительнее последнее, так как зачастую в условиях пасеки отсутствует доступ к привычной системе электроснабжения, но существует возможность питания от аккумуляторных кислотных батарей (АКБ).

В наших исследованиях опубликованных в [81] показано, что невозможно значительно снизить температуру подаваемого в охладитель воздуха в установке, где воздух однократно проходит через небольшой радиатор, установленный на холодной стороне ТЭМ. Так в установке, представленной на рис. 2.2 температура воздуха, подаваемого от компрессора, упала всего лишь на 1,7 °С.



1 – вентилятор, 2 – патрубок для подвода воздуха, 3 – радиаторы, установленные на горячих сторонах элементов Пельтье, 4 – элементы Пельтье, 5 – соединительная гайка – радиатор на холодной стороне ТЭМ

Рисунок 2.2 – Фотографии варианта охладителя на базе элементов Пельтье

Поэтому для существенного снижения температуры воздуха, подаваемого в охладитель необходимо чтобы он как можно дольше контактировал с поверхностью холодного радиатора, а для этого в нем должен быть зигзагообразный канал. Радиаторы с таким каналом чаще всего используются для охлаждения воды и различаются разной длиной. Такие радиаторы представлены на рис. 2.3. Как правило, они имеют стандартную ширину 4 см, что определяет в нашем случае размеры ТЭМ – 40x40 мм.

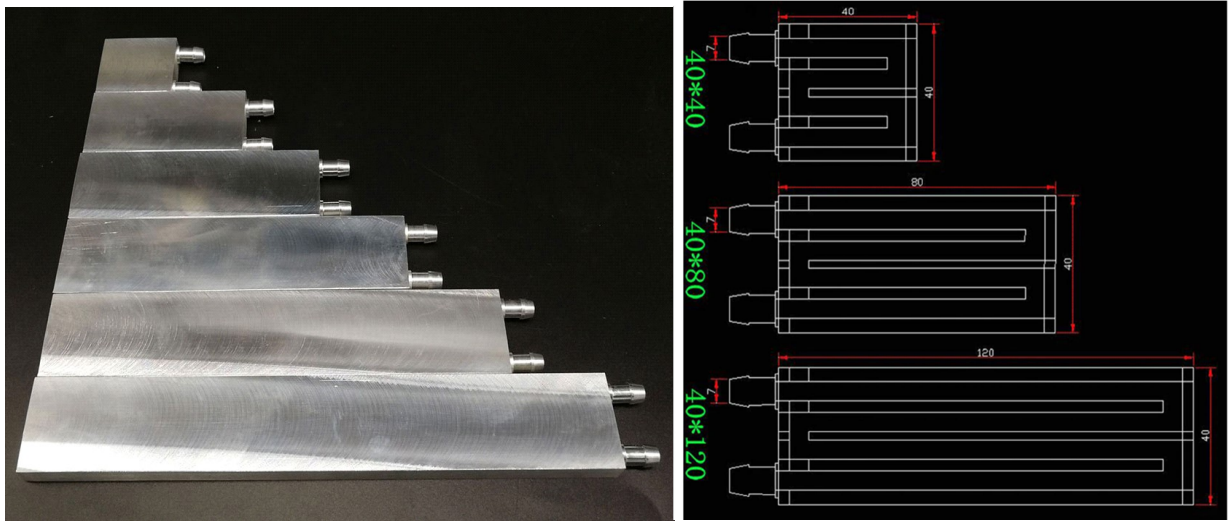


Рисунок 2.3 – Изображение радиаторов водяного охлаждения (слева) и их внутренняя конструкция (справа)

Определив размеры ТЭМ, а также требуемую холодопроизводительность P_{Cmax} , согласно табл. 2.1 можно выбрать 1 ТЭМ типа TEC1-127060-40 ($P_{Cmax} = 54,9$ Вт). Но для получения необходимого значения P_C требуется очень эффективная система охлаждения, сильно увеличивающая массогабаритные показатели охладителя, к тому же работа при максимальных значениях тока приводит к быстрой деградации ТЭМ. При этом, как было указано выше, при малой площади выбранного ТЭМ время контакта воздуха с его холодной поверхностью мало. Чтобы его увеличить, а также снизить нагрузку на ТЭМ согласно характеристикам TEC1-127060-40, представленным на рисунке 2.4 выберем 8 ТЭМ такого типа работающих при силе тока 1,5-2 А. В этом случае значение P_C каждого ТЭМ при принятой ранее разности температур $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ составит около 5-7 Вт, что в сумме даст требуемую холодопроизводительность от 48 до 56 Вт.

Для исследования нами были выбраны 2 каналных радиатора длиной 16 см, что позволяет отводить холод с 8 выбранных ТЭМ (по 4 ТЭМ на каждом радиаторе). Они будут соединены последовательно с помощью гибкого шланга. Для отвода тепла с горячих сторон ТЭМ достаточно одного общего радиатора и одного вентилятора.

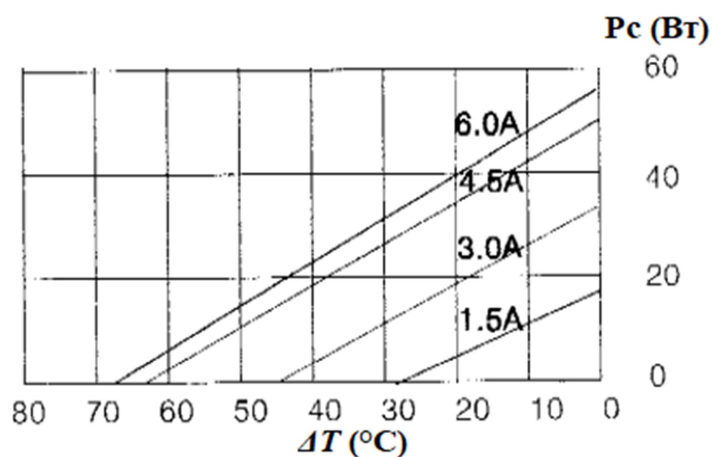
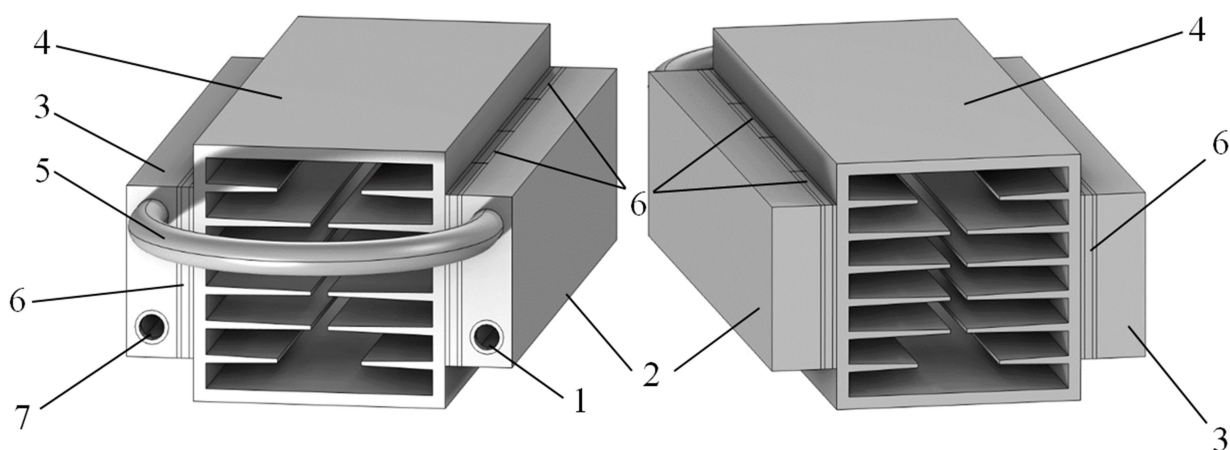


Рисунок 2.4 – Графики зависимости холодопроизводительности ТЕС1-127060-40 от силы тока и разности температур между холодной и горячей сторонами

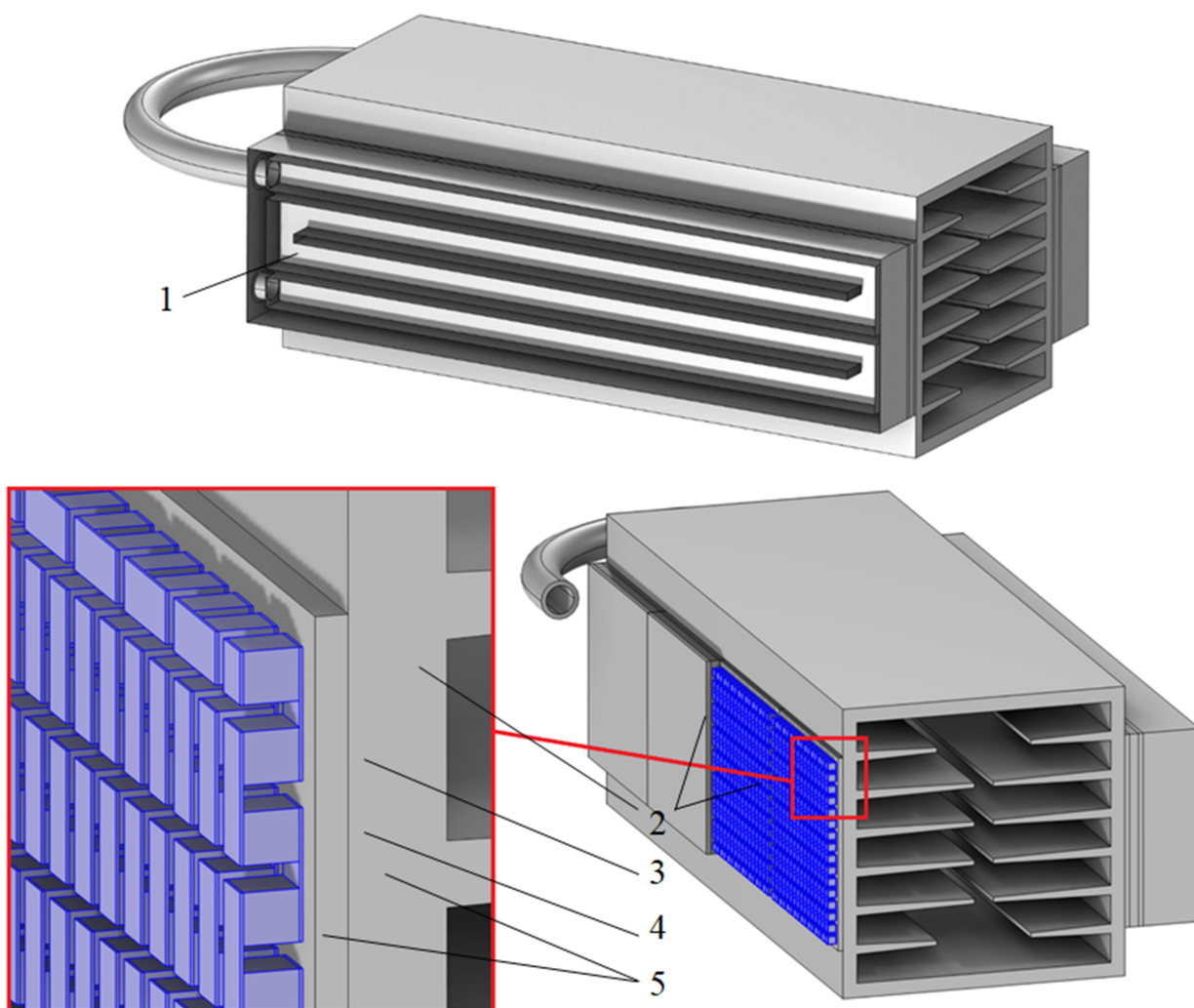
Таким образом, геометрическая модель исследуемой конструкции охладителя будет выглядеть, как показано на рисунке 2.5. В геометрической модели не показан вентилятор создающий поток вдоль ребер горячего радиатора, так как по нашему мнению, его корпус не вносит значимого влияния в рассматриваемые тепловые процессы, а скорость потока воздуха им создаваемая может быть задана с помощью соответствующего граничного условия.



1 – входное воздушное отверстие, 2 – первый «холодный» радиатор, 3 – второй «холодный» радиатор, 4 – «горячий» радиатор, 5 – силиконовый гибкий трубопровод, соединяющий радиаторы 2 и 3, 6 – элементы Пельтье, 7 – выходное воздушное отверстие

Рисунок 2.5 – Изображение исследуемой геометрической модели

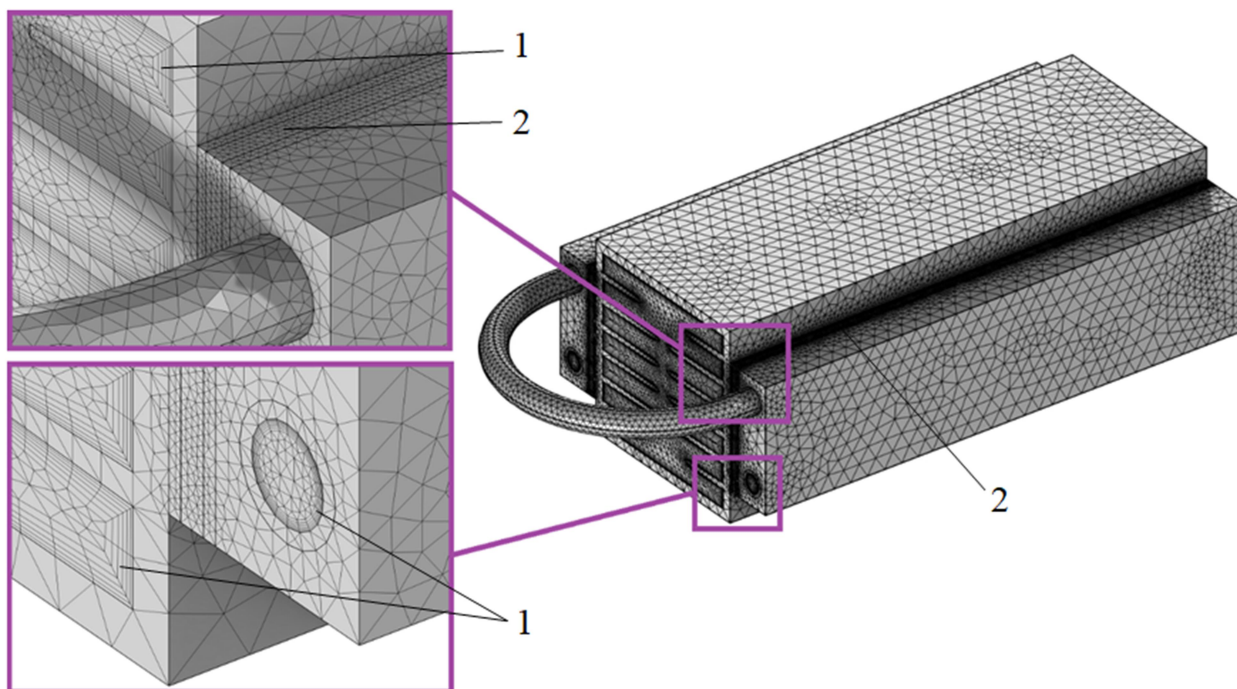
На рис. 2.6 показано внутренне строение элементов охладителя.



1 – зигзагообразный воздушный канал в одном из радиаторов согласно рис. 2.2,
 2 – керамические пластины из Al_2O_3 , 3 и 4 – полупроводниковые элементы р и n типа,
 5 – медные пластины соединяющие полупроводниковые элементы 3 и 4.

Рисунок 2.6 – Внутреннее строение элементов охладителя

Для компьютерного моделирования рассматриваемой геометрической области методом конечных элементов была создана сетка, состоящая из более чем 10 млн. элементов (тетраэдров). Среднее качество элементов равно 0,62, что говорит о хорошем качестве полученной сетки (должно быть не менее 0,6). На «твердых» границах модели, соприкасающихся с потоками воздуха, была построена так называемая погранслойная сетка для лучшей сходимости гидродинамической задачи. Области рассматриваемой геометрической модели, имеющие малые размеры по сравнению со всей моделью, такие как ТЭМы и их элементы, состоят из гораздо более мелких элементов сетки, чем например алюминиевые радиаторы (рис. 2.7).



1 – погранслойная сетка для улучшения сходимости гидродинамической задачи,
2 – мелкие элементы сетки

Рисунок 2.7 – Изображение сетки построенной для компьютерного моделирования рассматриваемой модели методом конечных элементов

Для дальнейшего проведения компьютерного моделирования необходимо определить процессы, протекающие в рассматриваемой геометрической области.

2.2 Математическое описание термоэлектрических процессов в охладителе на базе элементов Пельтье

Процессы, протекающие в охладителе на базе элементов Пельтье, можно разделить на три, а именно:

1) Процессы теплопередачи, включающие в себя теплопроводность через стенки элементов Пельтье, слои термопасты (рассмотрением которых мы пренебрежем ввиду их очень малой толщины), радиаторы, а также конвективный теплообмен между поверхностью радиаторов и окружающей средой.

2) Протекание электрического тока через последовательно соединенные полупроводники р и n типа имеющие электрическое сопротивление R и как следствие их нагрев (Джоулево тепло).

3) Термоэлектрический процесс, связанный с предыдущими двумя процессами и заключающийся в преодолении электронами потенциального барьера между двумя соединенными разнородными полупроводниками вследствие их подключения к цепи электрического тока. В результате чего при прохождении носителей заряда из р в n полупроводник в месте перехода выделяется тепловая энергия, а при переходе носителей из n в р энергия поглощается, что проявляется в виде охлаждения.

Таким образом, при симметричном распределении Джоулева тепла на холодных и горячих спаях полупроводников р и n типа тепловые мощности, выделяемые на горячей и холодной сторонах элемента Пельтье, будут определяться как:

$$P_r = -SIT_r + \frac{RI^2}{2} + \frac{\Delta T}{R_t} - C_r \frac{\partial T_r}{\partial t}, \quad (2.2)$$

$$P_x = -SIT_x + \frac{RI^2}{2} + \frac{\Delta T}{R_t} - C_x \frac{\partial T_x}{\partial t}, \quad (2.3)$$

где S – коэффициент Зеебека, В/К; I – сила тока, А; R – электрическое сопротивление, Ом; R_t – термическое сопротивление, К/Вт; ΔT – разница температур между горячей и холодной сторонами, К; T_r , T_x – температуры горячей и холодной сторон элемента Пельтье соответственно, К; C_r , C_x – удельные теплоемкости холодной и горячей сторон элемента Пельтье соответственно, Дж/(кг·К).

Так как полупроводники р и n типа соединены внутри элемента Пельтье последовательно, то его электрическое сопротивление R является суммой сопротивлений каждого из них.

Уравнение сохранения энергии для рассматриваемой установки с учетом теплопроводности и конвекции будет иметь вид:

$$\rho_i C_i \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla q_i + \rho_i C_i u_B \nabla T = Q_{\text{общ}}, \quad (2.4)$$

где ρ_i – плотность i -го элемента охладителя, кг/м³; C_i – удельная теплоемкость i -го элемента охладителя, Дж/(кг·К); T – температура, К; q_i – тепловой поток обусловленный теплопроводностью i -го элемента охладителя, Вт/м²; u_B – скорость воздушного потока, м/с; $Q_{\text{общ}}$ – общее тепловыделение, Вт/м³.

Общее тепловыделение $Q_{\text{общ}}$ складывается из нескольких составляющих, которые представляют собой резистивные потери $Q_{\text{дж}}$ (Джоулево тепло) и непосредственно сам эффект Пельтье $Q_{\text{п}}$:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{дж}} + Q_{\text{п}} = E \cdot i + \nabla V_p \cdot i \quad (2.5)$$

где E – напряженность электрического поля, В/м; V_p – коэффициент Пельтье, В; i – плотность тока через ТЭМ, А/м².

Тепловой поток q_i с учетом термоэлектрического эффекта для каждого из элементов охладителя:

$$q_i = -k_i \nabla T + V_p i, \quad (2.6)$$

где k_i – коэффициент теплопроводности i -го элемента охладителя, Вт/(м·К).

Вместо коэффициента Пельтье V_p , как правило, в расчетах используют коэффициент Зеебека S , который связан с первым следующим соотношением: $V_p = ST$.

Плотность электрического тока можно определить, как:

$$i = -\sigma_i (\nabla V + S \nabla T), \quad (2.7)$$

где σ_i – электропроводимость i -го элемента ТЭМ, См; V – электрическое напряжение, В.

Для моделирования воздушного потока необходимо определить число Рейнольдса Re . Как известно для труб круглого сечения данное число равно:

$$Re = \frac{u_B D}{\nu_B}, \quad (2.8)$$

где v_B – средняя скорость потока воздуха в сечении, м/с; D – внутренний диаметр трубы, м; ν_B – коэффициент кинематической вязкости воздуха м²/с.

Согласно принятой геометрической модели внутренний диаметр трубопровода D равен 0,006 м. При коэффициенте кинематической вязкости ν_B взятом для температур 30-40°С (приблизительные значения температуры на выходе из компрессора) и равном $16,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с и средней скорости воздуха v_B от 10 до 15 м/с (значения основанные на измерении скоростей воздуха на выходе из различных компрессоров используемых в работе и принятых в первом приближении) число Рейнольдса составит $Re = 3636 - 5454$, что говорит о турбулентном характере течения воздуха внутри холодных радиаторов.

Для описания турбулентных потоков, охлаждающих электронные устройства, в настоящее время используют преимущественно модели Algebraic uPlus и L-VEL [1, 8]. Обе модели наименее чувствительны к сетке при решении методом конечных элементов и не требуют больших вычислительных затрат. Наилучшей сходимостью, по нашему мнению, обладает первая. В основе данной модели лежат уравнения неразрывности и движения Навье-Стокса, в нашем случае для сжимаемой среды они будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_B}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_B u_B) = 0 \\ \rho_B \frac{\partial u_B}{\partial t} + \rho_B u_B \nabla u_B = -\nabla p_B + \nabla K + \rho_B g \\ K = (\mu_B + \mu_T) \left(\nabla u_B + (\nabla u_B)^T - \frac{2}{3} (\mu_B + \mu_T) (\nabla u_B) I \right) \end{cases} \quad (2.9)$$

где μ_B – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с; p_B – давление воздуха, Па; I – единичный вектор; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ_T – турбулентная вязкость, Па·с.

Таким образом, рассматриваемые процессы, протекающие в охладителе, можно описать с помощью следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\rho_i C_i \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla q_i + \rho_i C_i u_B \nabla T = Q_{\text{ОБЩ}} \\
Q_{\text{ОБЩ}} = E \cdot i + \nabla V_p \cdot i \\
q_i = -k_i \nabla T + V_p i \\
i = -\sigma_i (\nabla V + S \nabla T) \\
\frac{\partial \rho_B}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_B u_B) = 0 \\
\rho_B \frac{\partial u_B}{\partial t} + \rho_B u_B \nabla u_B = -\nabla p_B + \nabla K + \rho_B g \\
K = (\mu_B + \mu_T) \left(\nabla u_B + (\nabla u_B)^T - \frac{2}{3} (\mu_B + \mu_T) (\nabla u_B) I \right)
\end{array} \right. \quad (2.10)$$

Получить результат с помощью компьютерного моделирования на базе системы уравнений (2.10) невозможно без задания начальных и граничных условий.

2.3 Компьютерное моделирование термоэлектрических процессов в охладителе на базе элементов Пельтье

Для проведения компьютерного моделирования рассматриваемой задачи использовалось программное обеспечение Comsol Multiphysics 6.1. Основными физическими интерфейсами были выбраны: «Heat Transfer in Solids and Fluids» для определения температурных полей на базе уравнения (2.3) и «Turbulent Flow» для определения скоростей воздуха u и давлений p на базе системы уравнений (2.7).

В модели были заданы плотность ρ , теплопроводность k , теплоемкость C для следующих материалов: оксида алюминия Al_2O_3 (керамические поверхности ТЭМ), силикона (гибкий трубопровод соединяющий холодные радиаторы), алюминия (радиаторы горячей и холодной сторон ТЭМ). Помимо этих параметров для воздушных областей

была задана динамическая вязкость μ , а для областей, по которым в модели протекает электрический ток, были заданы электропроводимость σ (медные подложки) и коэффициент Зеебека S (полупроводниковые элементы из теллурида висмута Bi_2Te_3).

На границах каждого ТЭМ, к которым подключаются проводники, задавались соответствующие значения электрического тока I_0 и нулевого потенциала ($V = 0$).

На всех границах соприкосновения воздуха и твердых тел было задано стандартное гидродинамическое условие «прилипания», т.е. считаем, что скорость потока относительно данных границ равна нулю $u = 0$.

На входных границах, через которые поток воздуха поступает в пределы расчетной области были заданы нормальные компоненты векторов скорости. Данные границы показаны на рис. 2.8 синим цветом.

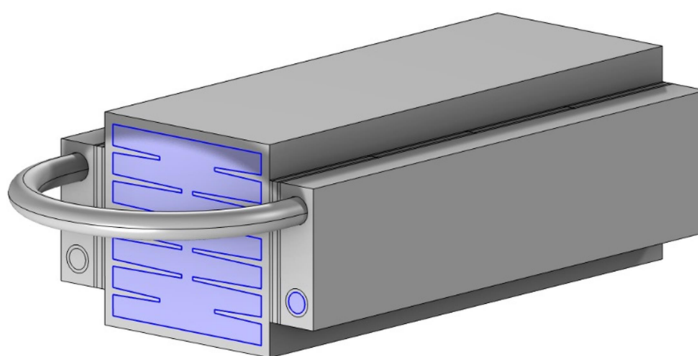


Рисунок 2.8 – Изображение входных границ для потоков воздуха в рассматриваемой компьютерной модели

Без задания условий передачи тепла от внешних поверхностей в окружающую среду рассматриваемая модель будет считаться теплоизолированной, поскольку в реальности это далеко не так, то необходимо определить тепловой поток q_{CTi} от стенок установки наружу:

$$q_{CTi} = h_i(T_{BH} - T_{CT}) \quad (2.11)$$

где T_{BH} и T_{CT} – температура внешнего воздуха (при моделировании была принята равной 27°C) и стенки соответственно, $^\circ\text{C}$; h_i – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Как видно из (2.10) для определения q_{CTi} необходимо знать коэффициент теплоотдачи h_i , который будет иметь разные значения в зависимости от геометрического расположения и формы каждой поверхности модели. Так на горизонтальных границах охладителя, обдуваемых воздухом сверху и снизу коэффициент теплоотдачи $h_{ГСВ}$ определится по формуле [9]:

$$h_{ГСВ} = \begin{cases} \frac{k_B}{L} 0,54 Ra_L^{1/4} & \text{если } T_{CT} > T_{ВН} \quad \text{и} \quad 10^4 \leq Ra_L \leq 10^7 \\ \frac{k_B}{L} 0,15 Ra_L^{1/3} & \text{если } T_{CT} > T_{ВН} \quad \text{и} \quad 10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11} \\ \frac{k_B}{L} 0,27 Ra_L^{1/4} & \text{если } T_{CT} \leq T_{ВН} \quad \text{и} \quad 10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10} \end{cases} \quad (2.12)$$

где k_B – теплопроводность воздуха, Вт/(м·°С); L – характерная длина плоскости, на которой задаётся граничное условие (площадь поверхности стенки деленная на ее периметр), м; Ra_L – число Рэлея связанное с характерной длиной L .

$$Ra_L = \frac{g \alpha_p \rho_B^2 C_B |T_{CT} - T_{ВН}| L^3}{k_B \mu_B} \quad (2.13)$$

где α_p – коэффициент теплового расширения воздуха, 1/К; C_B – удельная теплоёмкость воздуха, Дж/(кг·К); k_B – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К).

На горизонтальных границах, обдуваемых воздухом снизу коэффициент теплоотдачи $h_{ГСН}$ будет определяться в соответствии с уравнением (2.12), но при этом условия сравнения T и $T_{ВН}$ будут противоположными.

На вертикальных стенках установки коэффициент теплоотдачи h_B [9]:

$$h_B = \begin{cases} \frac{k_B}{L} \left(0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{1/4}}{\left(1 + \left(\frac{0,492k}{\mu_B C_B} \right)^{9/16} \right)^{4/9}} \right) & \text{если } Ra_L \leq 10^9 \\ \frac{k_B}{L} \left(0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,492k}{\mu_B C_B} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right) & \text{если } Ra_L > 10^9 \end{cases} \quad (2.14)$$

где L – характерная длина плоскости, на которой задаётся граничное условие (высота плоскости стенки), м.

На стенках трубопровода, имеющих цилиндрическую форму и расположенных горизонтально $h_{ц}$ [9]:

$$h_{ц} = \frac{k_B}{D} \left(0,6 + \frac{0,387 Ra_D^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 \quad (2.15)$$

где D – диаметр цилиндра, м; Ra_D – число Рэлея, связанное с диаметром D , т.е. рассчитанное по формуле (2.13), но вместо L подставляется D ; Pr – число Прандтля.

$$Pr = \frac{\mu_B C_B}{k_B} \quad (2.16)$$

На входных границах указанных на рис. 2.4 также необходимо задать граничное условие, определяющее тепловой поток q_{BX} , который учитывает энергию, вносимую потоком воздуха.

$$q_{BX} = \rho_B \Delta H u_B n \quad (2.17)$$

где ΔH - изменение энтальпии, Дж/кг; n – нормальный вектор.

$$\Delta H = \int_{T_{BX}}^T C_B dT \quad (2.18)$$

где T_{BX} – температура воздуха на входе, °С.

Так как, температура воздуха, подаваемого во внутрь 1-го холодного радиатора, будет увеличиваться по мере нагрева компрессора, то значение температуры T_{BX} в (2.18) также должно изменяться. Для его определения и последующего задания в рассматриваемой модели были проведены исследования двух компрессоров: используемого в исследованиях [25] производительностью 125 л/мин и компрессора с меньшей производительностью – 70 л/мин. Кривые разгона для каждого из них представлены на рис. 2.9. Из них видно, что компрессор с большей производительностью нагревается гораздо медленнее, что должно отразиться на распределении температур.

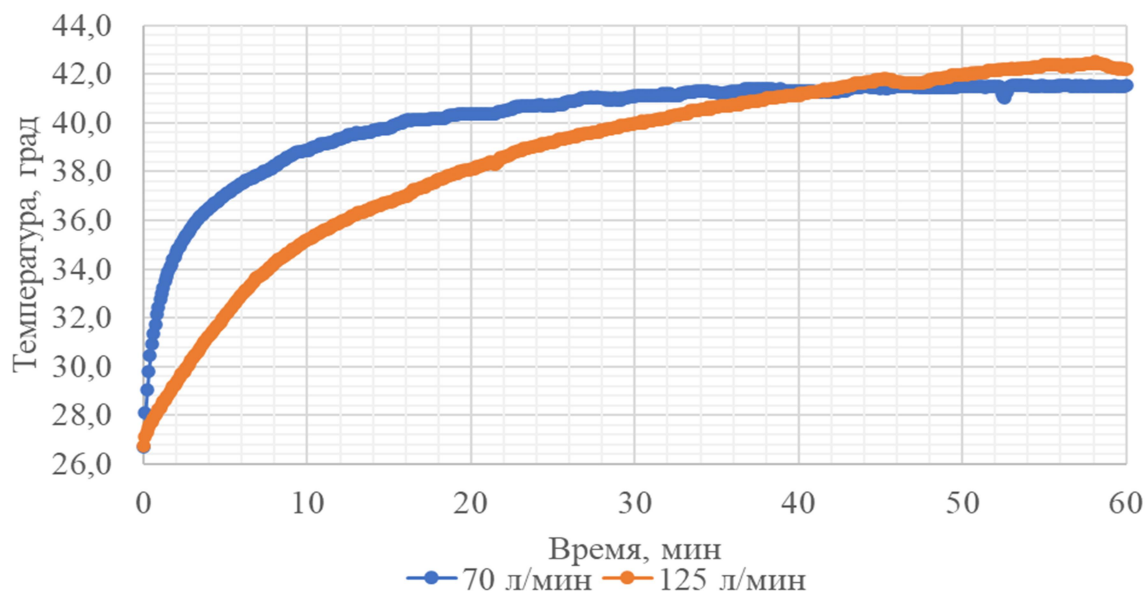


Рисунок 2.9 – Графики изменения во времени, подаваемой в охладитель температуры воздуха от компрессоров, используемых в исследовании

Использование 2-х компрессоров с разной производительностью позволит оценить влияние расхода воздуха через «холодные» радиаторы установки на температуру воздуха на выходе из нее. Так как предполагается, что уменьшение расхода воздуха приведет к увеличению времени его нахождения внутри холодных радиаторов, что в свою очередь должно способствовать его охлаждению.

При использовании компрессора с производительностью 125 л/мин среднее значение температуры на выходе из него через 1 час работы составило 38,7 °С, а максимальное 42,5 °С. При использовании компрессора меньшей производительности среднее значение температуры составило 40,2 °С, а максимальное – 41,6 °С.

На входном сечении, через которое поступает воздух в «горячий» радиатор (показанном на рис. 2.8) в качестве значения T задавалась постоянная равная температуре окружающего воздуха T_{BH} (принятая в модели равной 27 °С). Скорость воздуха на входе в данное сечение в модели задавалась равной от 2 до 4 м/с.

Таким образом, с учетом системы уравнений (2.10) и рассмотренных начальных и граничных условий математическая модель в ПО Comsol теплофизических процессов в охладителе примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_i C_i \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla q_i + \rho_i C_i u_B \nabla T = Q_{\text{общ}} \\ Q_{\text{общ}} = E \cdot i + \nabla V_p \cdot i \\ q_i = -k_i \nabla T + V_p i \\ i = -\sigma_i (\nabla V + S \nabla T) \\ \frac{\partial \rho_B}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_B u_B) = 0 \\ \rho_B \frac{\partial u_B}{\partial t} + \rho_B u_B \nabla u_B = -\nabla p_B + \nabla K + \rho_B g \\ K = (\mu_B + \mu_T) \left(\nabla u_B + (\nabla u_B)^T - \frac{2}{3} (\mu_B + \mu_T) (\nabla u_B) I \right) \\ q_{CTi} = h_i (T_{BH} - T_{CT}) \\ h_i = f(k_B, L, Ra_L, Pr, \mu_B, C_B) \\ q_{BX} = \rho_B \Delta H u_B n \\ \Delta H = \int_{T_{BX}}^T C_B dT \end{array} \right. , (2.18)$$

В результате реализаций полученной геометрической модели и системы уравнений (2.18) в интерфейсах ПО Comsol Multiphysics были

получены поля распределения температур в рассматриваемой геометрической области при различной производительности компрессора и при производительности вентилятора обдувающего горячий радиатор равной $36 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рис. 2.10).

Из рис. 2.10 видно, что воздух, проходя последовательно через первый и второй холодные радиаторы, постепенно охлаждается и к выходу из установки его температура становится равной температуре поверхности 2-го холодного радиатора. При этом поверхности холодных радиаторов имеют разные температуры, отличающиеся друг от друга на $3-4^\circ\text{C}$. Это хорошо видно, на поперечном сечении в середине установки (рис. 2.11).

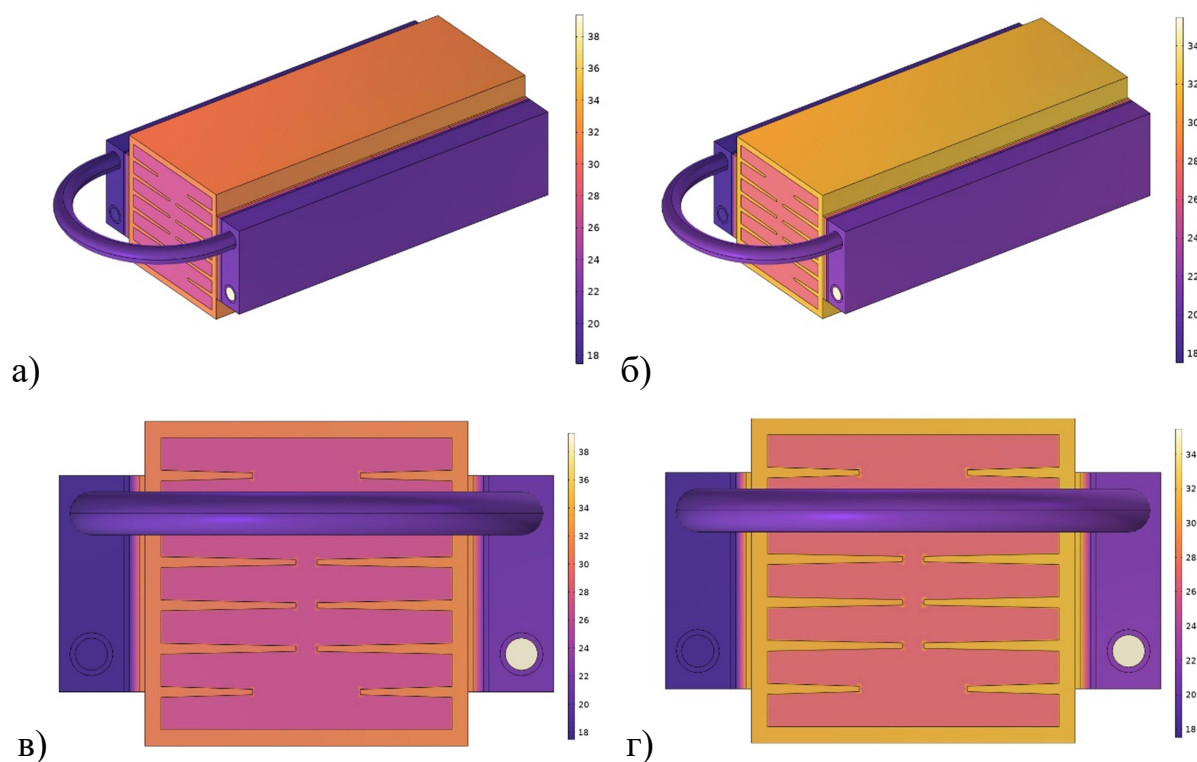


Рисунок 2.10 – Изображения распределения температур на поверхности охладителя при производительности компрессора 70 л/мин (а, в) и 125 л/мин (б, г) через 10 минут

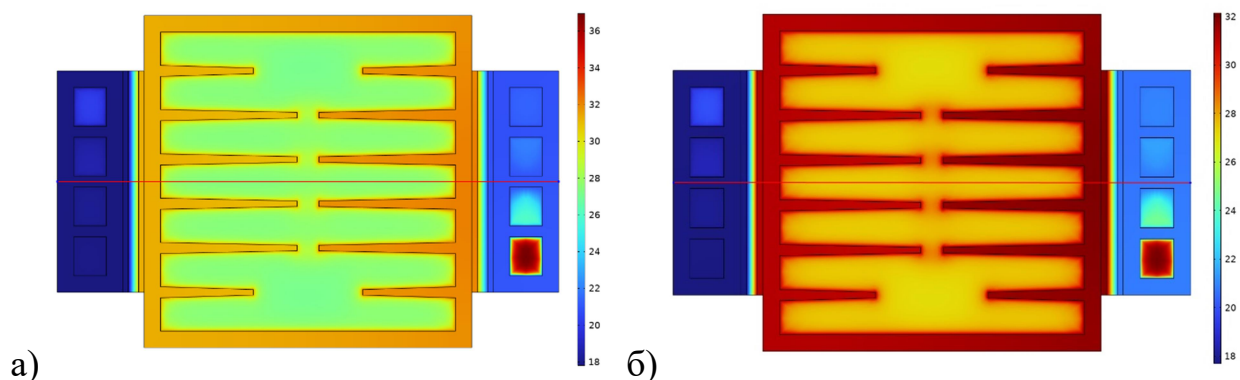


Рисунок 2.11 – Изображение распределения тепловых полей в поперечном сечении охладителя при производительности компрессора 70 л/мин (а) и 125 л/мин (б) через 10 минут

Согласно графикам изменения температур вдоль красных линий, прочерченных на рисунке выше следует, что при производительности компрессора равной 70 л/мин температуры элементов установки быстрее приходят к установившемуся значению, чем при работе с компрессором производительностью 125 л/мин. Это связано с долгим нагревом второго (рис. 2.12).

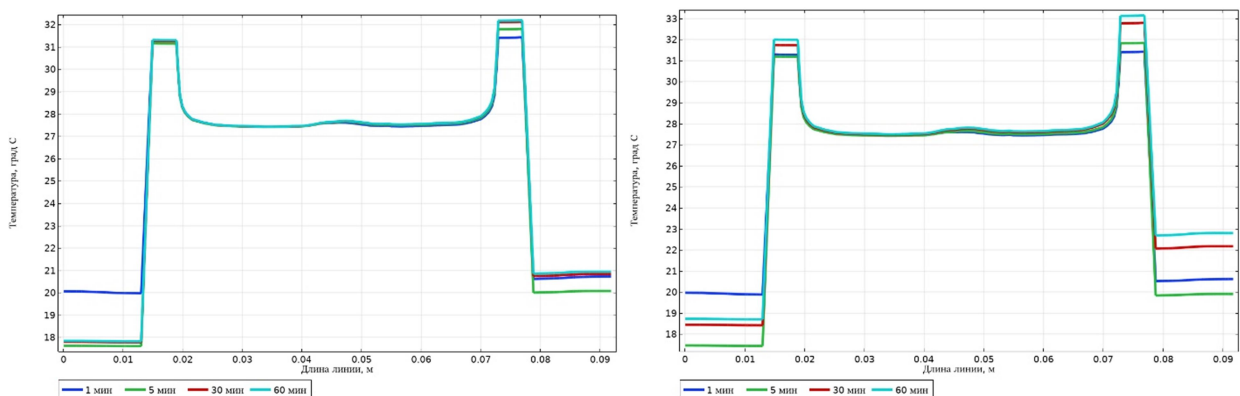


Рисунок 2.12 – Графики изменения температур от времени в поперечных сечениях

На рис. 2.13 видно, что при разной производительности компрессора температура воздуха на выходе из охладителя изменяется слабо и в выходном сечении через 1 час его работы составляет 17,8°C при производительности компрессора 70 л/мин и 18,6°C при производительности

компрессора 125 л/мин. Таким образом, уменьшение производительности компрессора почти в 2 раза не оказывает значительного воздействия на снижение температуры воздуха на выходе из установки, которая при этом упала лишь на 0,8 °С. Незначительное уменьшение температуры воздуха на выходе из установки наблюдаемое с 3 по 10 минуту при производительности 125 л/мин по сравнению с этим же временным отрезком при производительности 70 л/мин также связано с медленным нагревом более производительного компрессора.

Из графиков 2.14 также видно, что существенной разницы между температурами на входе и выходе из охладителя ΔT нет. При производительности 70 л/мин $\Delta T = 23,3^\circ\text{C}$, а при 125 л/мин $\Delta T = 23,2^\circ\text{C}$.

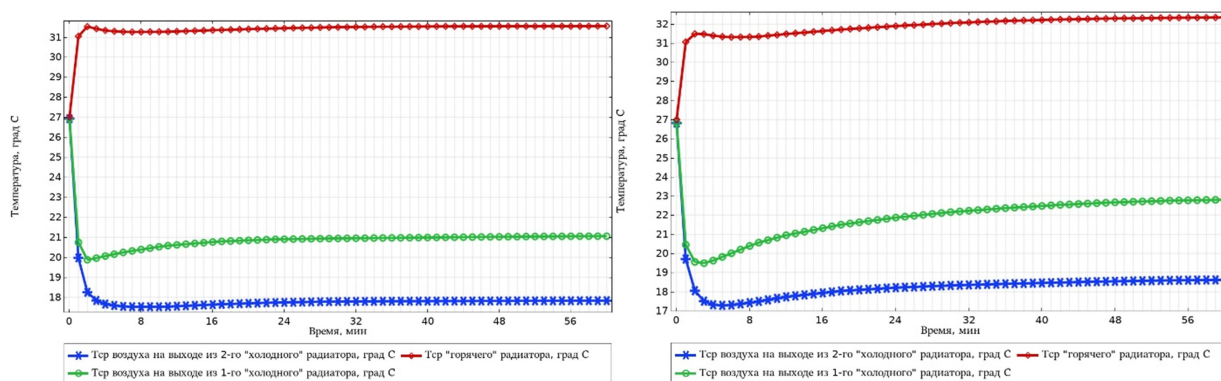


Рисунок 2.13 – Графики изменения средних температур в охладителе с течением времени при производительности компрессора равной 70 л/мин (слева) и 125 л/мин (справа)

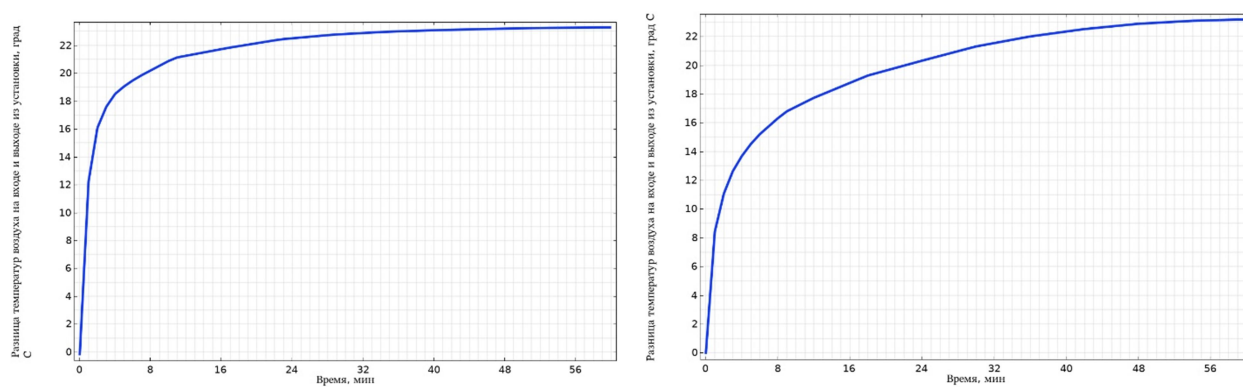


Рисунок 2.14 – Графики изменения во времени разностей температур воздуха ΔT на входе и выходе из охладителя

Таким образом, предположение об уменьшении температуры охлаждаемого воздуха за счет снижения его расхода через установку не подтвердилось. Поэтому дальнейшие исследования компьютерной модели будут основаны на использовании компрессора с производительностью 125л/мин, который более подходит для продувки электроозонатора.

Уменьшение производительности вентилятора, обдувающего горячий радиатор, в 2 раза (с 36 м³/ч до 18 м³/ч) приводит к уменьшению ΔT с 23,2°С до 20,8°С за счет снижения эффективности отвода тепла. При этом температура горячего радиатора увеличилась с 32,3°С до 35°С (рис. 2.15).

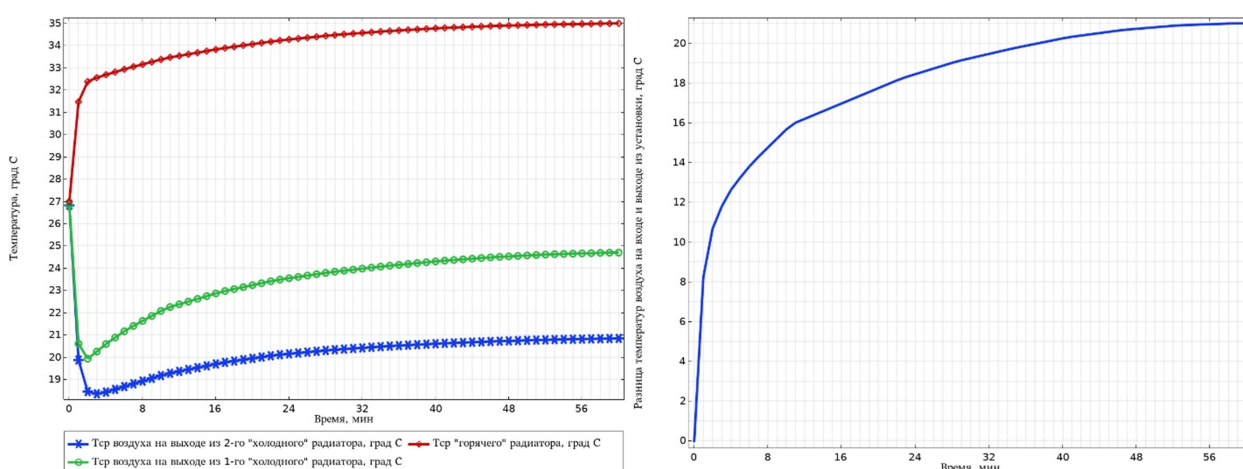


Рисунок 2.15 – Графики изменения средних температур в охладителе с течением времени при производительности компрессора равной 125 л/мин и производительности вентилятора 18 м³/ч

Таким образом, наилучшим вариантом производительности для вентилятора, обдувающего горячий радиатор, является производительность 36 м³/ч или выше если это позволяют характеристики оборудования. Данную производительность примем для дальнейших расчетов.

Все вышеприведенные результаты компьютерного моделирования были получены при последовательном соединении по два ТЭМ (четыре пары) к источнику тока с обеих сторон охладителя (рис. 2.16 а). Моделирование проводилось при напряжении 12,9 В (что соответствует полностью заряженному АКБ), ток через каждый ТЭМ составил 1,7 А (ток,

потребляемый всей установкой равен 6,8 А). Общая мощность установки составила 87,7 Вт. При термоэлектрическом эффекте часть потребляемой энергии идет на получение холода, а часть на разогрев внутренних переходов элемента Пельтье. При этом на охлаждение энергия пропорциональна первой степени тока, а на нагрев – квадрату тока. Так как охладитель включал 8 элементов ТЭМ, то проведена оптимизация их схем соединения по минимальному энергопотреблению с получением максимальной разницы температур входного и выходного воздуха (Рис 2.16).

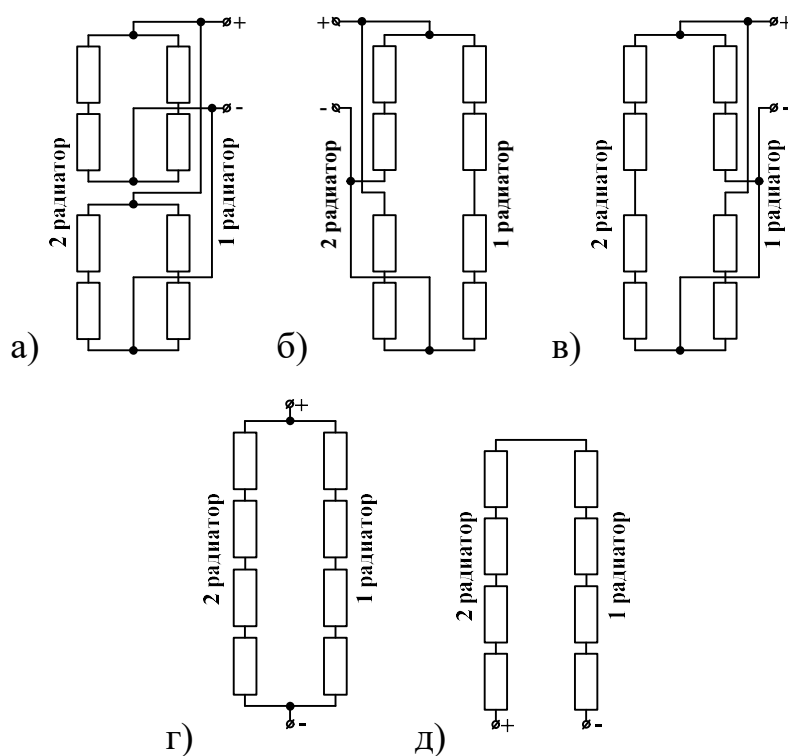


Рисунок 2.16 – Варианты соединения ТЭМ в проводимом исследовании

Максимальная потребляемая мощность (55 Вт) получена при последовательном соединении четырех элементов на одном радиаторе и при парном последовательном соединении на втором радиаторе (рис. 2.16, б, в). Среднее значение потребляемой мощности (22 Вт) имелось при последовательном соединении по 4 элемента на каждом радиаторе (рис. 2.16, г). Минимальное потребление энергии (5,5 Вт) получено при последовательном соединении всех восьми ТЭМ охладителя и последующим включением в общую питающую сеть постоянного тока (рис. 2.16, д).

На рис. 2.17 - 2.20 показаны результаты моделирования при различных вариантах соединения ТЭМ в установке.

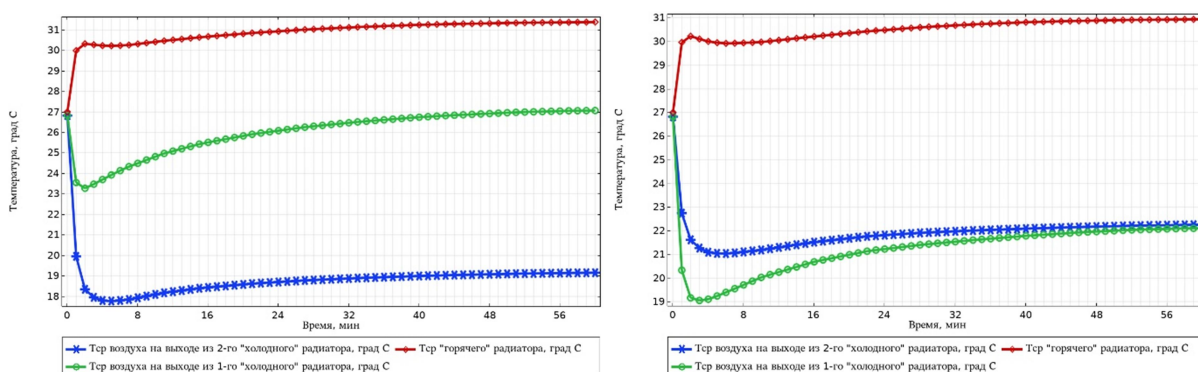


Рисунок 2.17 – Графики изменения средних температур в охладителе с течением времени при производительности компрессора равной 125 л/мин и соединении ТЭМ согласно рис. 2.16 б (слева) и на рис. 2.16 в (справа)

Из рис. 2.17 видно, что последовательное соединение ТЭМ, прилегающих к 1-му радиатору (входной), как показано на рис. 2.16 б оказывается гораздо выгоднее, чем при последовательном соединении ТЭМ прилегающих ко 2-му радиатору (выходной) (рис. 2.16 в), за счет последовательного охлаждения воздуха при той же потребляемой мощности – 55 Вт. Так в первом случае температура воздуха на выходе из 1-го радиатора составляет 27,1°С, а на выходе из 2-го она холоднее на 7,9°С и равна 19,1°С. Во втором же случае температура воздуха на выходе из 1-го радиатора составляет через 1 час работы 22,1°С, но пройдя через 2-ой радиатор она не охлаждается, а наоборот нагревается до 22,3°С за счет меньшей в 2 раза холодопроизводительности ТЭМ.

Разница температур ΔT на входе и выходе из установки также свидетельствует о преимуществе варианта подключения ТЭМ показанного на рис. 2.16 б (через 60 минут $\Delta T=22,7^\circ\text{C}$) по сравнению с вариантом на рис. 2.16 в (через 60 минут $\Delta T=19,5^\circ\text{C}$). Таким образом, разница по ΔT к 60 минуте работы установки составляет 3,2°С (рис. 2.18).

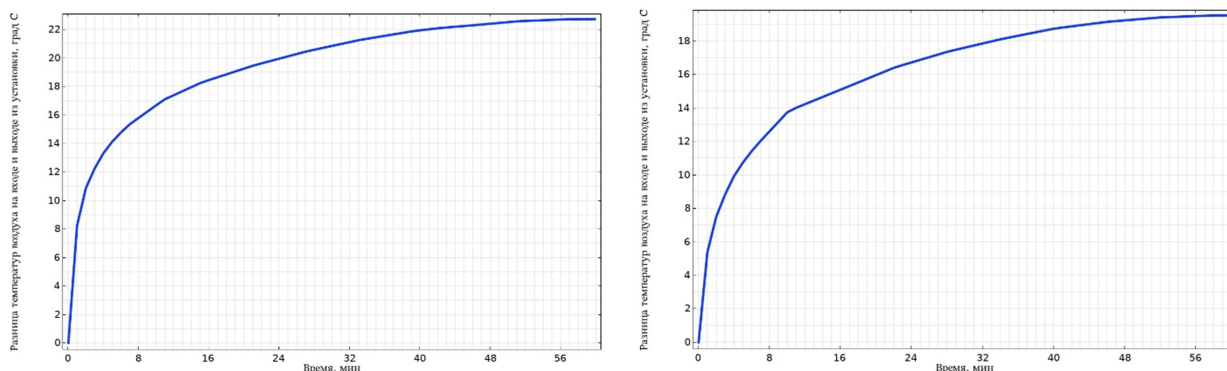


Рисунок 2.18 – Графики изменения во времени разностей температур воздуха ΔT на входе и выходе из охладителя при подключении ТЭМ согласно варианту 2.16 б (слева) и варианту 2.16 в (справа)

Сравнение вариантов соединения ТЭМ согласно рис. 2.16 г и рис. 2.16 д показало, что в первом случае через 1 час работы температура воздуха на выходе из установки составила $22,8^{\circ}\text{C}$, а во втором $25,4^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.19).

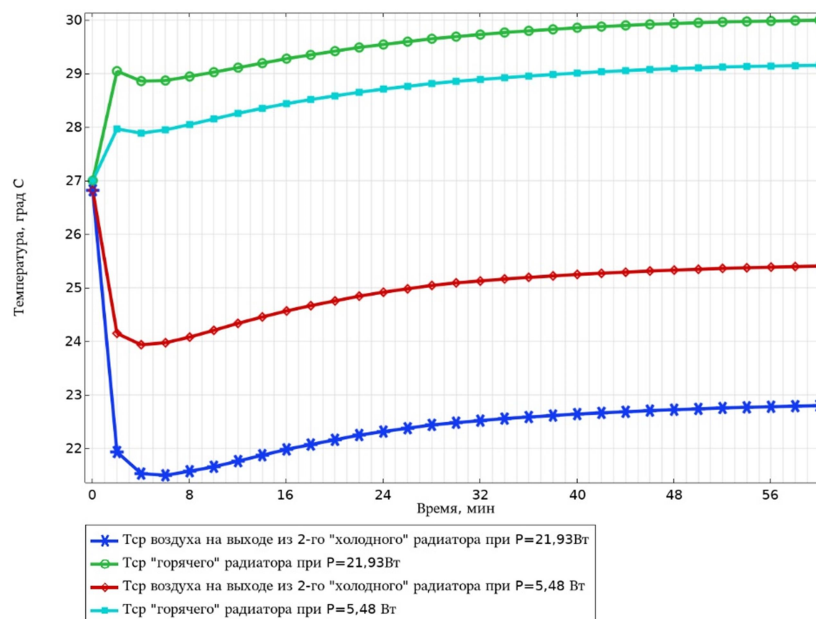


Рисунок 2.19 – Графики изменения средних температур в охладителе с течением времени при производительности компрессора равной 125 л/мин и соединении ТЭМ согласно рис. 2.16 г и на рис. 2.16 д

Температура горячего радиатора, ранее всегда державшаяся на уровне $30\text{--}32^{\circ}\text{C}$ упала до 29°C . Разница по ΔT между рассматриваемыми вариантами соединения ТЭМ составила $19,1^{\circ}\text{C} - 16,5^{\circ}\text{C} = 2,6^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.20).

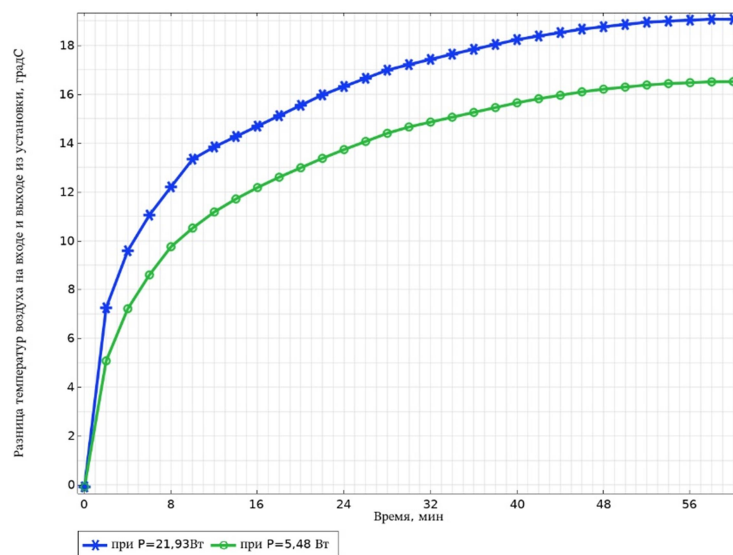


Рисунок 2.20 – Графики изменения во времени ΔT на входе и выходе из охладителя при подключении ТЭМ согласно вариантам 2.16 г и 2.16 д

Таким образом, уменьшение мощности охладителя (путем изменения соединения ТЭМ) в 1,6 раза (с 87,7 Вт до 55 Вт) приводит к уменьшению ΔT с 23,2°C до 22,7°C. Уменьшение мощности в 4 раза (с 87,7 Вт до 22 Вт) приводит к уменьшению ΔT с 23,2°C до 19,1°C. Дальнейшее уменьшение мощности в 16 раз (с 87,7 Вт до 5,5 Вт) по схеме представленной на рис. 2.16 д приводит к уменьшению ΔT с 23,2°C до 16,5°C. Можно увидеть, что резкое снижение мощности не приводит к сильному снижению холодопроизводительности, что связано с преобладанием процессов нагрева внутренних элементов ТЭМ над термоэлектрическим эффектом.

Следует рекомендовать для пазек с небольшим количеством пчелиных ульев и ограниченной мощностью источника тока рациональное соединения ТЭМ по варианту 2 либо 3 (рис. 2.16 г, д). В случаи, когда питание не столь ограничено, а электроозонатор обрабатывает сразу несколько ульев, то тогда стоит использовать вариант соединения, показанный на рис. 2.16 б.

Также по результатам моделирования можно рекомендовать 2 режима работы охладителя: постоянный и повторно-кратковременный в связи с инерционностью процесса нагрева и охлаждения разрядного устройства электроозонатора. Повторно-кратковременный режим можно использовать

для еще большего сокращения потребления электроэнергии в условиях кочующей пасеки. Как видно из рис. 2.13-2.15, 2.17, 2.19 и 2.20 для любого из вариантов соединений ТЭМ затухание переходного процесса по температуре на выходе из установки происходит в течение первых 5 минут ее работы. Поэтому можно рекомендовать производить первое отключение питания через это время. На рис. 2.21 показан результат компьютерной обработки модели с ТЭМ, соединенными согласно рис. 2.16 г (вариант 1) в котором отключение охладителя осуществлялось на 5-ой минуте.

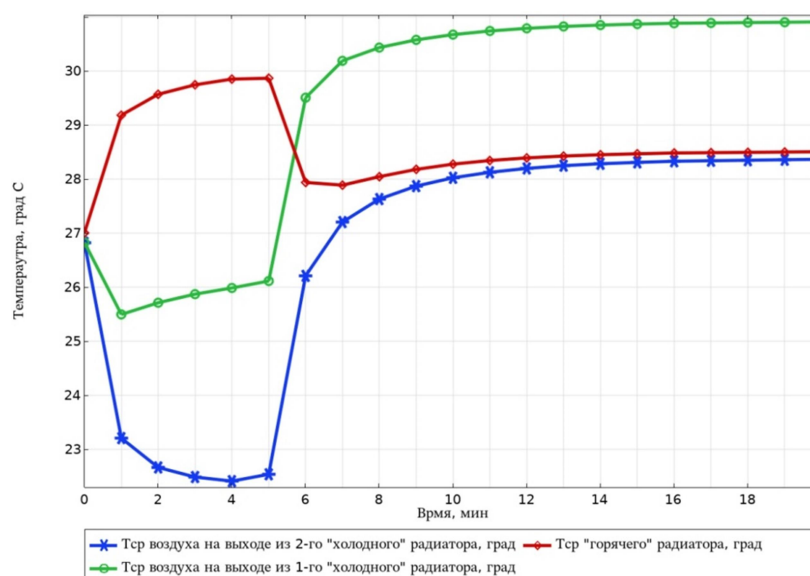


Рисунок 2.21 – Графики изменения средних температур в охладителе с течением времени при производительности компрессора равной 125 л/мин, соединении ТЭМ согласно рис. 2.16 г и их отключении на 5-ой минуте

Из рис. 2.21 видно, что через 2-3 минуты температура на выходе охладителя становится равной входной. Таким образом, данное время можно принять за интервал минимальной паузы при работе установки в повторно-кратковременном режиме. Период работающего охладителя нужно установить не менее 5-6 минут.

Стоит также отметить, что в Краснодарском крае в летний период по статистике наблюдаются высокие температуры воздуха. Так согласно статистическим данным [61] летом 2022 года температура в дневное время достигала 39°C. На основании полученных результатов моделирования,

которые были сделаны при температуре внешней среды $T_{ВН} = 27^{\circ}\text{C}$ легко понять какой будет температура воздуха на выходе из охладителя $T_{ВЫХ}$ при более высоких значениях $T_{ВН}$. Например, при соединении ТЭМ согласно рис. 2.16 б, производительности компрессора 125 л/мин и температуре внешней среды $T_{ВН} = 39^{\circ}\text{C}$ температура на выходе из охладителя (т.е. на входе в электроозонатор) через 1 час работы составит $31,1^{\circ}\text{C}$. При тех же условиях, но в случае соединения ТЭМ согласно рис. 2.16 д температура на выходе из охладителя через 1 час работы составит $37,4^{\circ}\text{C}$. При этом без применения охладителя на входе в электроозонатор от компрессора (согласно рис. 2.9) подавался бы воздух с температурой 54°C , что привело бы к повышенному воздухообмену пчелами и снижению медопродуктивности. Нужно также отметить, что температура озоновоздушной смеси на выходе из электроозонатора (т.е. на входе в улей) будет ещё выше.

2.4 Выводы по главе

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема озонирующей установки, определена требуемая холодопроизводительность охладителя, которая составила 50 Вт, при подаче компрессора $7,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ для понижения температуры входного воздуха на 20°C .

2. Разработана конструкция и геометрическая модель охладителя воздуха на основе элементов Пельтье для ПО Comsol, состоящая из: 8-ми ТЭМ типа TEC1-127060-40, вентилятора на 12 В с производительностью $36 \text{ м}^3/\text{ч}$ обдувающего радиатор, который соприкасается с горячими сторонами всех ТЭМ, 2-х последовательно соединенных канальных радиаторов, каждый из которых соприкасается с холодными сторонами 4-х ТЭМ.

3. Получено математическое описание термоэлектрических процессов в охладителе на базе элементов Пельтье для электроозонаторов на основе

уравнения теплового баланса с учетом теплопроводности, конвекции и термоэлектрического эффекта.

4. Разработана математическая модель термоэлектрических процессов в охладителе на базе элементов Пельтье включающая в себя начальные и граничные условия, в которых заданы значения исследуемых параметров на входных и выходных границах исследуемой геометрической области.

5. При определении эффективности охлаждения воздуха через охладитель на его входных границах задавались разные значения расхода – от 70 л/мин до 125 л/мин и температуры воздуха от 27°C до 42°C. Анализ результатов моделирования в ПО Comsol Multiphysics показал, что расход воздуха через охладитель в таких диапазонах не оказывает существенного влияния на эффективность его охлаждения, например, увеличение производительности компрессора в 1,8 раз приводит к снижению получаемой разницы температур между входным и выходным воздухом ΔT с 23,3°C до 23,2°C.

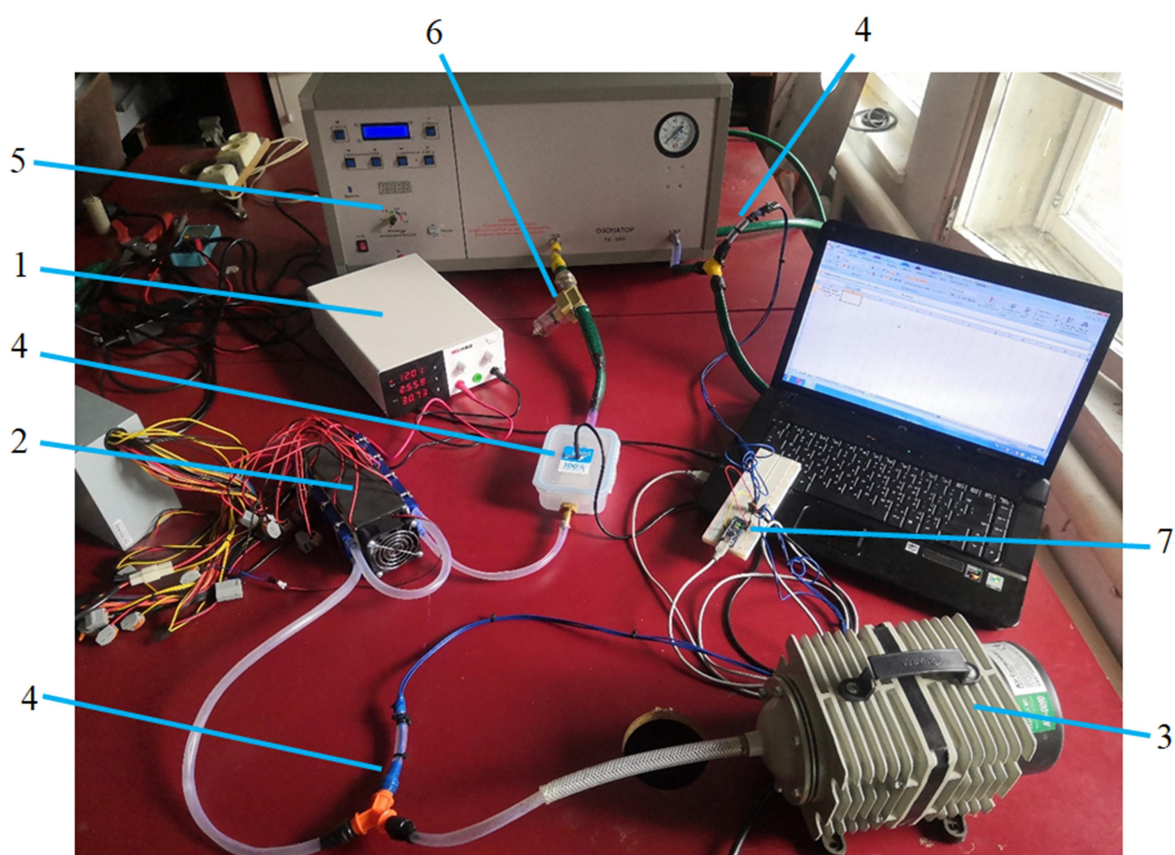
6. Моделирование показало, что за счет изменения схемы соединений ТЭМ можно получить 3 варианта потребляемой охладителем мощности: 5,5 Вт, 22 Вт и 55 Вт, при этом разница температур ΔT на входе и выходе из установки составит соответственно 16,5°C, 19,1°C и 22,7°C. Это позволяет рекомендовать для пасек с небольшим количеством пчелиных ульев и ограниченной мощностью источника тока рациональное соединение ТЭМ по варианту 1 либо 2. В случае же обработки большего числа ульев или доступа к неограниченной мощности источника электроэнергии рекомендуется соединение ТЭМ по варианту 3.

7. Установка может работать в двух режимах: постоянном и повторно-кратковременном. Работа в повторно-кратковременном режиме может происходить в следующей последовательности: включение и выход на установившейся режим в течении 6 минут и более, отключение охладителя – пауза 2-3 минуты, работа охладителя не менее 5 минут и т.д.

3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОХЛАДИТЕЛЯ НА БАЗЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ

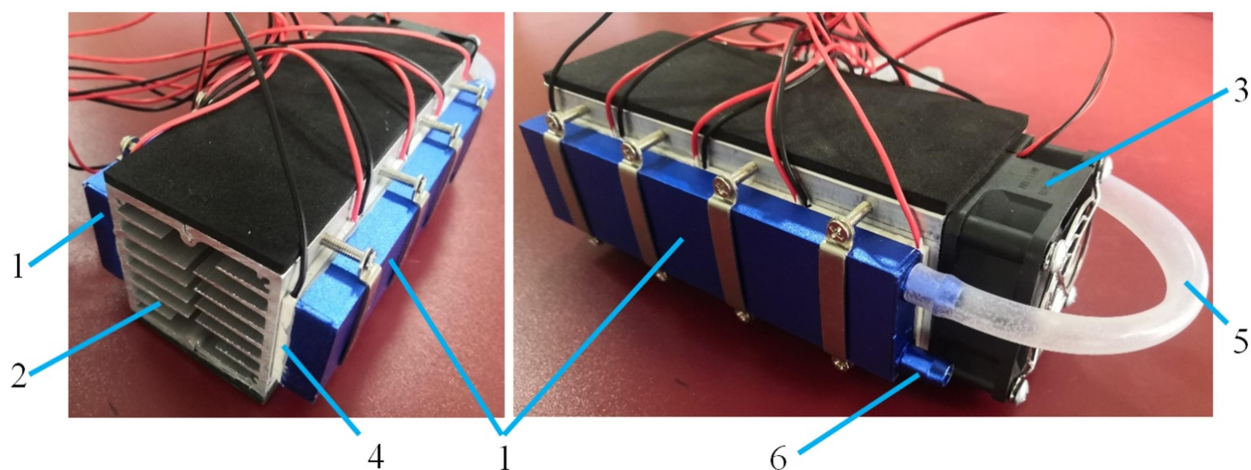
3.1 Методика проведения экспериментальных исследований электроозонирующей установки

Для проведения экспериментальных исследований с целью подтверждения эффективности охлаждения воздуха подаваемого в электроозонатор через охладитель на базе элементов Пельтье, а также подтверждения разработанной его математической модели на кафедре электрических машин и электропривода Кубанского ГАУ была изготовлена экспериментальная установка фотографии которой представлены на рис. 3.1 и 3.2.



1 – лабораторный блок питания, 2 – охладитель, 3 – один из двух используемых в исследовании компрессоров, 4 – места установки датчиков температуры DS18B20, 5 – электроозонатор, 6 – фильтр-влагоотделитель, 7 – платформа Arduino

Рисунок 3.1 – Фотографии экспериментальной установки



1 – каналный «холодный» радиатор, 2 – ребристый «горячий» радиатор, 3 – вентилятор,
4 – ТЭМ, 5 – соединительный шланг, 6 – входное/выходное отверстие одного из
каналных радиаторов

Рисунок 3.2 – Фотографии исследуемого охладителя воздуха

Размеры охладителя соответствует созданной ранее геометрической модели, представленной на рис. 2.5 и 2.6. Для измерения температуры окружающего воздуха, а также на входе и выходе из установки (охладителя или электроозонатора) использовалось 3 цифровых датчика температуры DS18B20 данные, от которых поступали в автоматическом режиме на ноутбук с помощью микроконтроллерной платформы Arduino и макроса для программы Excel – PLX-DAQ (алгоритм соответствующей программы представлен в приложении 1). Измерение температуры воздуха производилось каждые 6 секунд.

В качестве электроозонирующей установки, использовалось электрооборудование для стабилизированной обработки пчелиных ульев, разработанное в научной работе [25]. Контроль скорости воздушного потока на входе и выходе из установки осуществлялся с помощью анемометра testo 405. Скорость воздушного потока, создаваемая вентилятором на выходе из горячего радиатора, составила 4 м/с, что соответствует значению, принятому при моделировании. Температура поверхностей радиаторов контролировалась с помощью контактных термометров testo и тепловизора этой же фирмы (рис. 3.3).



1 – цифровой датчик DS18B20, 2 – портативный измеритель концентрации озона,
 3 – контактный термометр testo 905-T2,
 4 – анемометр testo 405 V1, 5 – тепловизор testo

Рисунок 3.3 – Фотографии используемого в экспериментальном исследовании измерительного оборудования

Экспериментальные исследования проводились в 2 этапа. На первом этапе была проведено сравнение теоретических результатов, полученных в предыдущей главе с экспериментальными. Так как в проводимых экспериментах невозможно поддерживать все время одинаковую температуру окружающего воздуха, то при сравнении теоретических и экспериментальных данных последние были скорректированы относительно начальной температуры воздуха, поступающей в охладитель. Сравнение данных проводили по следующей методике. С помощью двухвыборочного F-теста определяли, равны или нет дисперсии в двух выборках – теоретической и экспериментальной. В зависимости от полученного результата делали либо двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями либо его же, но с одинаковыми дисперсиями. Расчеты проводили при уровне значимости $p = 0,01$. Их результаты представлены в приложении 2. На втором этапе оценивалась эффективность работы охладителя путем его подключения к электроозонатору. При этом измерялась концентрация озона, а также температура озоновоздушной смеси на выходе из него. В качестве

используемой схемы подключения ТЭМ использовалась схема при последовательном соединении по 4 элемента на каждом радиаторе (рис. 2.16 г).

3.2. Результаты экспериментальных исследований по подтверждению теоретических положений процесса охлаждения воздуха подаваемого в электроозонатор

Первоначально проведены эксперименты по процессу охлаждения воздуха разработанным охладителем. На рис. 3.4. показано сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных по температурам воздуха на выходе из охладителя. Анализировался вариант при последовательном соединении по два ТЭМ (четыре пары) к источнику тока с обеих сторон охладителя и при разной производительности компрессора. Цифры на графиках показывают процентную разницу между ними. Так при производительности компрессора 70 л/мин наибольшая разница между модельными и экспериментальными данными составила 3,4%, а при 125 л/мин она не превышала 1,3%, что говорит о хорошей сходимости полученных результатов.

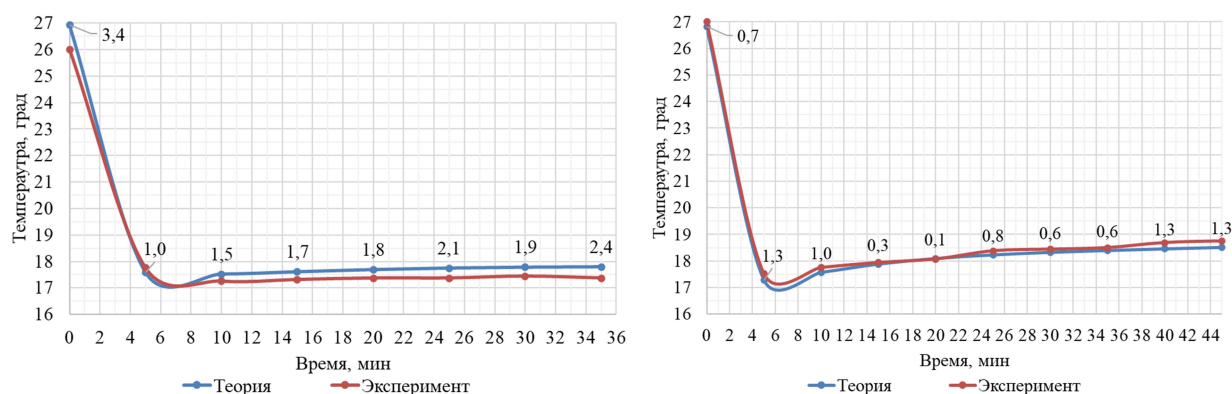


Рисунок 3.4 – Графики сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительностях компрессора 70 л/мин (слева) и 125 л/мин (справа)

Температура воздуха на выходе из охладителя при моделировании и эксперименте находилась в интервале 18°C -19°C. Таким образом, вывод о слабом влиянии производительности компрессора на температуру воздуха на выходе из охладителя был доказан экспериментально.

Далее на рис. 3.5 показано сравнение результатов теоретических и экспериментальных данных при потребляемой мощности 55 Вт и различным вариантам соединения ТЭМ.

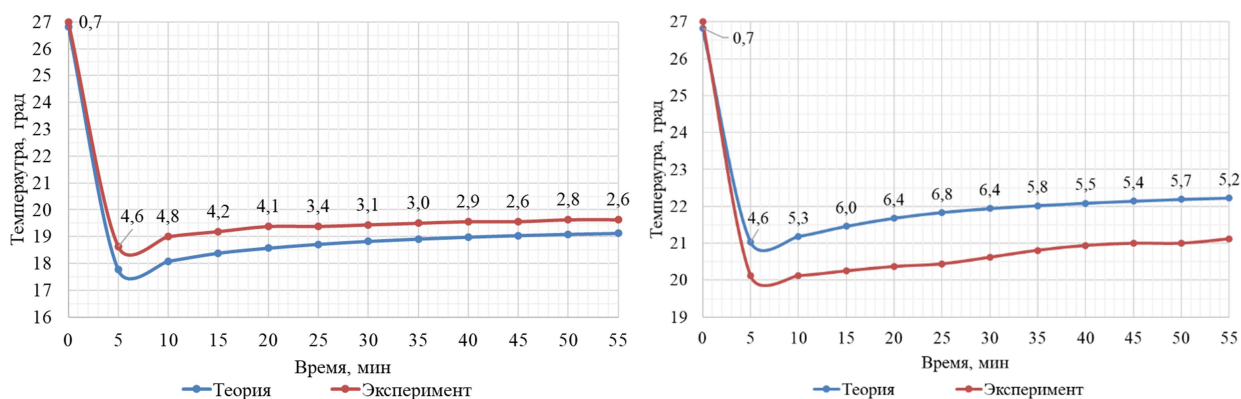


Рисунок 3.5 – Графики сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительности компрессора 125 л/мин и варианте соединения ТЭМ показанном на рис. 2.16 б (слева) и на рис. 2.16 в (справа)

На рисунке 3.6 представлены температурные графики теоретических и экспериментальных данных при потребляемой мощности 22 Вт и 5,5 Вт.

Небольшое расхождение на 0,5-1,5°C теоретических и экспериментальных данных на рис. 3.5 и 3.6 связана с небольшим различием в нагреве компрессора от опыта к опыту. Установившаяся температура воздуха на выходе из компрессора отличалась на 1-2°C от той, что была принята при моделировании. В целом относительная ошибка между теоретическими и экспериментальными данными составила не более 6,8%, что говорит о достаточно хорошем совпадении.

Мощности, потребляемые установкой в эксперименте при различных вариантах соединения ТЭМ, составили: 91 Вт, 59 Вт, 24,2 Вт и 6 Вт, что коррелирует с результатами теоретических данных.

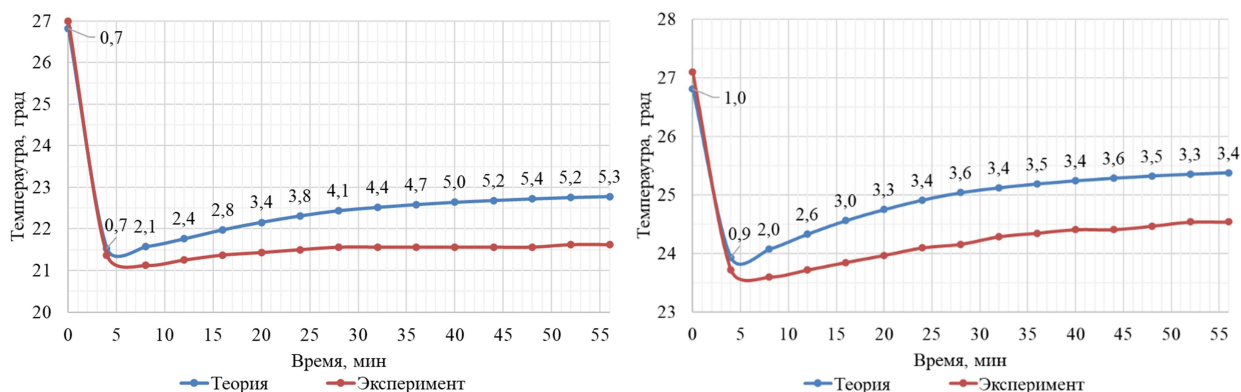


Рисунок 3.6 – Графики сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительности компрессора 125 л/мин и варианте соединения ТЭМ показанном на рис. 2.16 г (слева) и 2.16 д (справа)

Во всех случаях при сравнении теоретических и экспериментальных данных t -критерий Стьюдента, полученный в результате расчета был меньше его критического значения, что говорит о том, что между теоретическими и экспериментальными данными с 99% вероятностью нет никаких статистических различий.

Также была проведена тепловизионная съемка охладителя и получены снимки распределения температурных полей на его поверхности, совпадающие с результатами, полученными с помощью компьютерного моделирования (рис. 3.7).

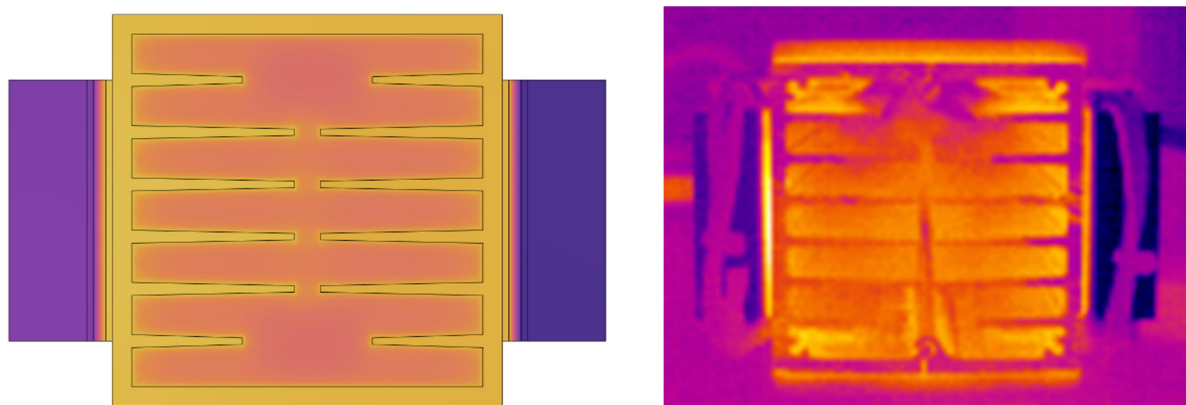


Рисунок 3.7 – Изображения результатов моделирования (слева) и тепловизионной съемки (справа)

3.3 Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния охладителя на работу электроозонатора

Во время исследования влияния охладителя на производительность электроозонатора выявлен его сильный перегрев на 40 минуте работы при температуре окружающего воздуха 19-20°C. Температура озонозоной смеси при этом достигала 32-34°C. В результате перегрева разрядного устройства происходило его аварийное отключение с помощью средств автоматики. Таким образом, уже при небольших по сравнению с летним периодом (например, в Краснодарском крае) температурах окружающего воздуха через 40 минут работы электроозонатор не в состоянии продолжать работу. Это не позволяет его использовать в длительном режиме работы для последовательной обработки нескольких ульев, и требуется делать длительные перерывы на охлаждение разрядного устройства. Одна профилактическая или лечебная обработка занимает 30 минут, но очевидно, что при более высоких температурах окружающего воздуха отключение электроозонатора будет происходить гораздо быстрее, что не позволит сделать даже одну качественную обработку улья/ульев.

На рис. 3.8 показаны графики по результатам исследований работы озонирующей установки в повторно-кратковременном режиме. Включение разработанного охладителя происходило в момент нагрева разрядного устройства до критической температуры (32-34°C). Затем происходила работа охладителя в течении 32 минут (достигалось установившееся значение температуры озонозоной смеси) с последующим отключением на 8 минут до достижения опять критического значения температуры разрядного устройства. В последующей работе относительная продолжительность сохранялась (ПВ=50%-60%).

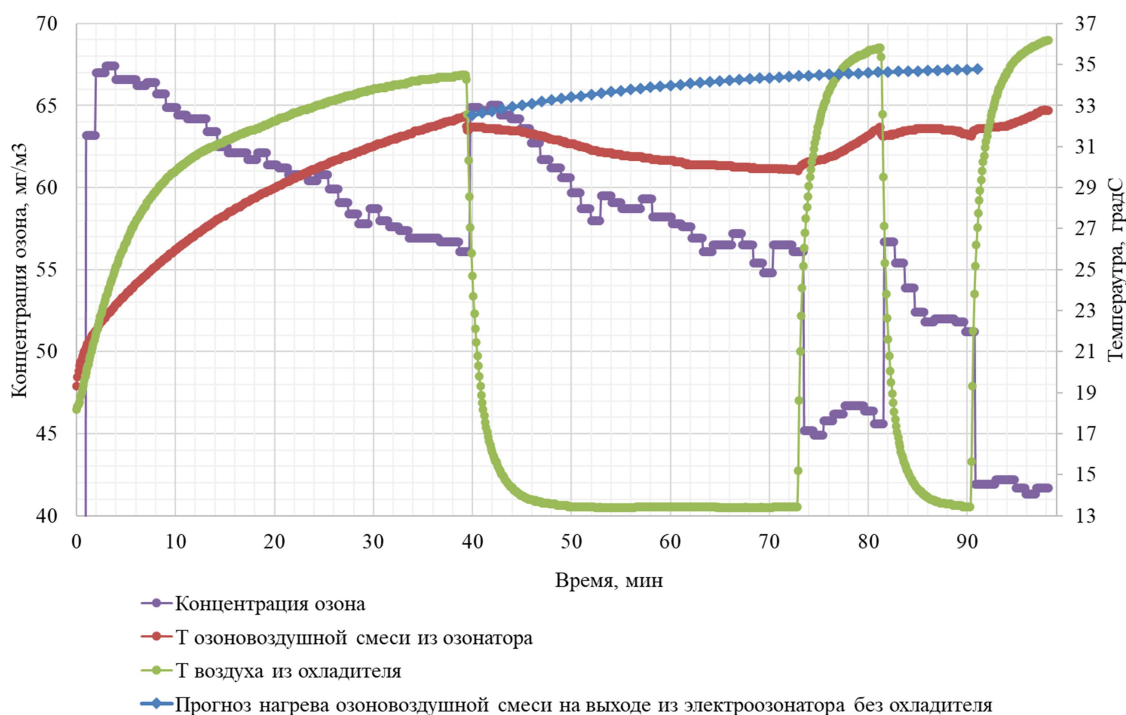


Рисунок 3.8 – Графики изменения температуры воздуха на выходе из охладителя (зеленый график), температуры озонородушной смеси на выходе из электроозонатора (красный график), концентрации озона (фиолетовый график), статистического прогноза повышения температуры озонородушной смеси без охладителя (синий график)

Температура окружающего воздуха в эксперименте была равна $19,3^{\circ}\text{C}$. До 40-ой минуты электроозонатор работал без охладителя, и температура озонородушной смеси на его выходе к этому времени была равна $32,5^{\circ}\text{C}$ (то есть превышение температуры на выходе установки над температурой окружающей среды $\Delta T_y = 13,2^{\circ}\text{C}$). Таким образом, при летних температурах окружающего воздуха свыше 33°C , температура озонородушной смеси может составить более 46°C . Сделан прогноз температуры при дальнейшей работе установки на основе модели ARIMA, позволяющей с высокой статистической точностью спрогнозировать изменение температуры озонородушной смеси при длительной работе без охладителя и аварийного отключения озонатора. Как видно к 90 минуте температура озонородушной смеси могла составить уже $48,3^{\circ}\text{C}$ и продолжила бы расти.

Включение охладителя (после 40 минуты) позволило в течение последующих 32-х минут снизить температуру озоновоздушной смеси до 29,9°C. При работе охладителя электроозонатор не отключился и продолжил стабильную работу. Как видно из рис. 3.8 концентрация озона при включении охладителя резко выросла с 56,1 мг/м³ до 64,9 мг/м³ (на 8,8 мг/м³ или на 15,7%). Температура на входе в электроозонатор с момента начала работы охладителя и до его отключения снизилась с 34,5°C до 13,44°C (на 21,1°C). Понижение температуры воздуха на 1°C позволило увеличить концентрацию озона на выходе из электтроозонатора на 0,4 мг/м³. Стоит отметить, что повышение концентрации озона до 65 мг/м³ за счет дополнительного охлаждения позволяет снизить время обработки озоном при той же потребляемой электроозонатором мощности (рис. 3.9).

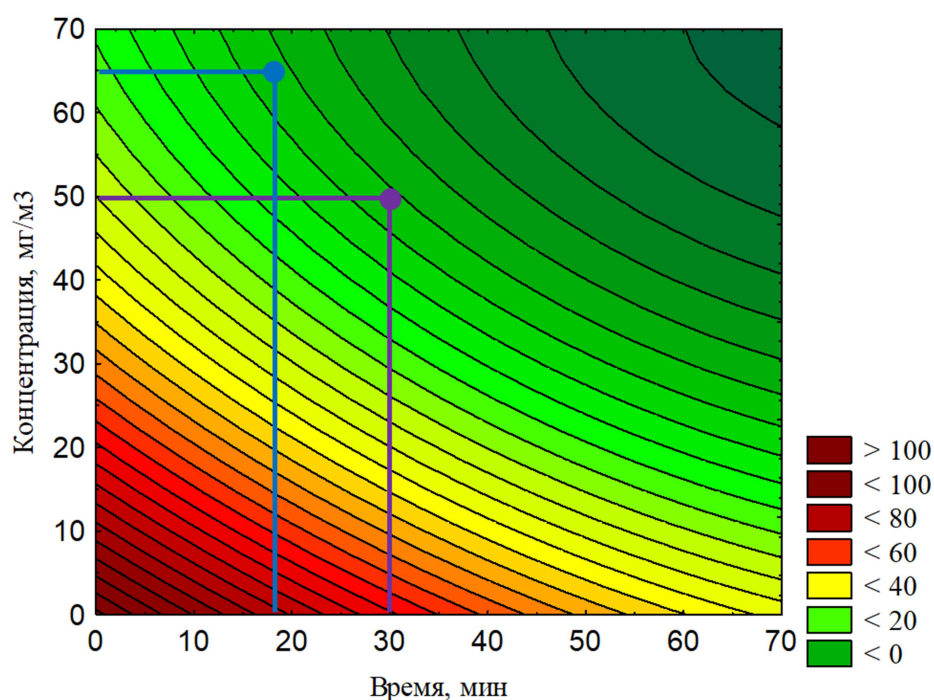


Рисунок 3.9 – Диаграмма влияния концентрации озоновоздушной смеси и времени обработки на выживаемость *Escherichia coli* из [25]

Согласно рис. 3.9 время обработки можно сократить с 30 минут до 19 минут при тех же значениях выживаемости болезнетворных микроорганизмов таких как *Escherichia coli*.

Далее на 73 минуте охладитель вновь был выключен, что привело к резкому падению концентрации озона с $56,1 \text{ мг/м}^3$ до $45,2 \text{ мг/м}^3$ (на $10,9 \text{ мг/м}^3$ или на $19,4\%$). Отмечается положительное влияние охладителя не только на безаварийную работу электроозонатора, но и на качество проводимого процесса электроозонирования. Исследования позволяют рекомендовать максимальную паузу в работе установки равную 8 минутам, при его работе в повторно-кратковременном режиме.

Включение охладителя вновь на 81 минуте привело к увеличению концентрации озона с $45,6 \text{ мг/м}^3$ до $56,7 \text{ мг/м}^3$ (на $11,1 \text{ мг/м}^3$ или $19,6\%$). При этом в течении последующих 9 минут его работы температура озоноздушная смеси вследствие переходных процессов, протекающих в разрядном устройстве, практически не изменялась ($31,5^\circ\text{C} - 31,8^\circ\text{C}$). Поэтому, можно рекомендовать 6-9 минут, как минимальное время работы охладителя в повторно-кратковременном режиме.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод об адекватности разработанной модели термоэлектрических процессов в охладителе, а также позволяют рекомендовать следующие параметры его работы в повторно-кратковременном режиме: минимальное время включения 6-9 минут, максимальное время отключения 8 минут. При этом установлено, что при работе электроозонатора с охладителем концентрация озона увеличивается от 9 до 20%. Это позволяет сократить время обработки с 30 до 19 минут при той же потребляемой электроозонатором мощности.

3.4. Техничко-экономическая эффективность использования озонирующей установки с охладителем воздуха в пчеловодстве

Обосновать экономическую эффективность использования озонирующей установки с охладителем воздуха в пчеловодстве

Расчет будет производиться для изготовления макетного варианта установки в единичном экземпляре. В связи с этим основные затраты будут идти на стадию исследования и разработки образца, то есть на НИОКР. В соответствии с рекомендациями [40], общие затраты на проведение НИОКР можно определить по формуле:

$$S_{\text{НИОКР}} = Z_0 + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{э}} + H + P_H + C_M + C_K \quad (3.1)$$

где Z_0 – основная заработная плата, руб; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная зарплата, руб; $Z_{\text{э}}$ – затраты на энергоресурсы, руб; H – начисления на зарплату, руб, P_H – расходы накладные, руб; C_M, C_K – стоимость материалов и комплектующих, руб.

Всю разработку и исследования будут проводить два научных работника в течении 3 месяцев, каждый с месячным окладом согласно штатному расписанию в 40 тыс. руб. В связи с неизмеримо малыми затратами на энергоресурсы в расчет их принимать не будем. Принимаем также стимулирующую надбавку в размере 20% от основной. Начисления на зарплату принимаем по ставке 31% от фонда оплаты труда. Накладные расходы возьмем в размере от 50% от общего фонда оплаты труда, и они будут включать стоимость проведения патентного поиска, стоимость оформления заявки изобретение, публикацию статей в открытой печати. Тогда затраты на заработную плату с начислениями и накладными расходами составят:

$$S_{\text{НИОКР}} = Z_0 + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{э}} + H + P_H = 240 + 240 \cdot 0,2 + (240 + 48) \cdot 0,31 + (240 + 48) \cdot 0,5 = 240 + 48 + 89,28 + 144 = 521,28 \text{ тыс. руб} \quad (3.2)$$

В стоимость материалов и комплектующих войдет покупка компрессора, изготовление охладителя и озонатора, покупка воздухопроводов, необходимых переходников и т.д. Все расходы по НИОКР включены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Общие расходы на НИОКР для изготовления макетного варианта озонирующей установки

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол -во	Итого, тыс. руб
1	Компрессор BOYV ACO-906 (120л/мин)	шт.	1	5,80
2	Электроозонатор	шт.	1	50,00
3	Термоэлектрический кулер с 8 элементами Пельтье TEC-12706	шт.	1	4,40
4	Комплектующие и материалы			5,0
5	Итого материальные затраты на установку	шт.	1	65,2
6	Заработная плата с начислениями	чел.	2	521,28
7	Итого			586,48

После определения затрат на НИОКР можно производить расчеты на организацию серийного производства озонирующих установок на конкретном предприятии. Покрыть расходы на НИОКР можно за счет получения различных грантов, субсидий, кредитов или также за счет госбюджетных тем научно-исследовательских работ.

Если будет изготавливаться небольшая партия – в пределах нескольких штук, то это может делать индивидуальный предприниматель. При изготовлении такой малой партии установок отпускная цена составит, с учетом его накладных расходов, ориентировочно 100 тыс. руб.

Следующий этап экономических расчетов — это определение эффективности в сфере потребления установки, то есть на пчелиной пасеке. Установлено, что на пасеках необходимо проводить профилактические и лечебные работы против возникновения инфекционных и инвазионных болезней. Такие процедуры приводят к увеличению силы пчелиных семей и, следовательно, к прибавке получения продукции. Работы проводятся по воздействию непосредственно на пчелиные семьи и на пчелоинвентарь. В данных исследованиях и в трудах других ученых установлено, что озонирование позволяет больше развить пчелиные семьи за счёт стимуляции

яйцекладки матки и сокращения заболеваемости пчел, что приводит к увеличению медопродуктивности.

Рентабельность пчеловодческой отрасли зависит от многих факторов: уровня механизации и автоматизации процессов при производстве меда; дополнительного дохода, получаемого при продаже сопутствующей продукции – прополиса, воска, полученных отводков от пчелосемей; отдельного сортового медосбора и общего количества медосборов в сезон, здоровья пчелиных семей и их медопродуктивности. Ведущую роль в медопродуктивности пчел, играет сила семьи. Для повышения силы семьи пчеловоды перед главным медосбором часто используют объединение семей, так известно, что при объединении медосбор увеличивается нелинейно и резко возрастает. Конечно, сила семьи во многом зависит от своевременности профилактических мероприятий против болезней пчел. Установлено [41], что в Краснодарском крае рентабельность в 5 раз выше, чем по России. В последнее время пчеловоды Краснодарского края все чаще используют сортовую медопродуктивность пчелосемей и применяют кочёвки для увеличения количества медосборов. На основании ранее полученных формул по определению рентабельности пчеловодства [35, 41], можно установить следующую зависимость дохода от параметров пчеловодческой деятельности:

$$D_{\text{пч}} = \sum_{i=1}^n [(C_i - I_i) \cdot M_i + \Pi_i]. \quad (3.3)$$

где n – количество медосборов в сезоне; C_i - цена единицы данного сорта меда при i -м медосборе, руб/кг; I_i - издержки при i -м медосборе (материалы, энергоресурсы, транспортные расходы, лечебные препараты и т.д.), руб/кг; M_i - средняя медопродуктивность семьи при i -м медосборе, кг; Π_i - прибыль от реализации сопутствующих продуктов пчеловодства, руб.

Рассчитаем уровень доходов на пасеке в 50 ульев, так как это средний размер для региона Северного Кавказа и одна установка может вполне

обслуживать такое количество пчелиных семей. Прибыль от дополнительных от реализации сопутствующих продуктов пчеловодства (воск, пыльца, прополис) пока не будем учитывать. В работах Овсянникова Д.А. [31] было установлено, что озонирование приводит к повышению медопродуктивности одной семьи в два раза. Это подтверждается и средними данными, которые публикуются в печати: среднее значение получаемого меда за сезон 30-40 кг с одного улья, опытные пчеловоды собирают по 60-80 кг на один улей. Конечно, эти цифры зависят и от вида медоноса и природных условий. Кроме того, поддержание хорошей силы семьи позволяет провести за сезон больше качек меда. При обычном пчеловождении без стимуляций можно провести в Краснодарском крае 2 качки и часть сезона идет на поддержание семей на разнотравье, где медопродуктивность невысокая. При активном проведении стимуляции и профилактике можно довести до 4-х качек меда с условием кочёвок. При двухразовом медосборе принимаем следующее: первая качка основная будет на акации при медопродуктивности одной семьи $M_{б1}=10$ кг/улей, сложившейся цене на мед 360 руб/кг; вторая качка при передержке на разнотравье $M_{б2}=5$ кг/улей и цене на мед 200 руб/кг; третья качка основная на подсолнечнике $M_{б3}=20$ кг/улей и цене на мед 190 руб/кг. При четырехразовом медосборе получаем следующее: первая качка на акации с медопродуктивностью $M_{н1}=20$ кг/улей, при той же сложившейся цене на мед; вторая качка на липе $M_{н2}=15$ кг/улей и сложившейся цене на мед 400 руб/кг; третья качка на каштане $M_{н3}=15$ кг/улей и цене на мед 11000 руб/кг; четвертая качка на подсолнечнике $M_{н4}=25$ кг/улей и цене на мед 190 руб/кг. Итоги доходов при базовом и новом вариантах пчеловождения представлены в таблицах 3.2. и 3.3. Таким образом доход при базовом варианте составит 420 тыс. рублей, а при новом – 1 млн 350 тыс. рублей. Следовательно, будет получен дополнительный доход в размере 930 тыс. руб. Чистый доход будет представлять разницу между полученным доходом от реализации меда и издержками, в качестве которых являются приобретения озонаторной установки и накладных расходов на нее, которые можно взять

ориентировочно в размере 20% от цены оборудования. Половина этих расходов будет связана с ежегодными эксплуатационными сопутствующими затратами.

Таблица 3.2 – Сводные данные по доходам при базовом варианте пчеловодения

Вид медоноса	Медопродуктивность, кг/улей	Общее количество меда, кг	Доход от реализации, тыс. руб
акация	10	500	180
разнотравье	5	250	50
подсолнечник	20	1000	190
итого			420

Таблица 3.3 – Сводные данные по доходам при новом варианте пчеловодения

Вид медоноса	Медопродуктивность, кг/улей	Общее количество меда, кг	Доход от реализации, тыс. руб
акация	20	1000	360
липа	15	750	270
каштан	15	750	270
подсолнечник	25	1250	450
итого			1350

Определим результат внедрения озонирующей установки в виде чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [38, 40]:

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

где P_t – результаты, на отдельном шаге расчета, руб; $I_{от}$ – издержки, руб; E_p – норма дисконта капитала с поправкой на инфляцию; K_D – дисконтированные капиталовложения. Норма дисконта E_p связана с процентной ставкой и учитывает инфляцию:

$$E_p = \frac{1 + E}{1 + r} - 1, \quad (3.5)$$

где r – уровень инфляции, о.е.; E – процентная ставка, о.е.

Произведем расчет ЧДД на 5 лет и учтем, что в разные годы медосбор может варьироваться в пределах 20%. По информации, имеющейся в средствах массовой информации уровень банковской ставки, на сегодня находится на уровне 7,5%. Это значение оставим постоянным на 5 лет использования оборудования. Также известен уровень инфляции, который составляет 11% и есть стремление по его снижению до 5%. В расчетах на 5 лет произведем равномерное снижение уровня инфляции с 11 до 5%. Результаты расчета сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчета ЧДД для пасеки на 50 ульев, при банковской ставке 7,5% и снижающимся уровне инфляции с 11% до 5%

Показатели	Годы					
	0	1	2	3	4	5
Дополнительный доход от реализации продукции, тыс. руб.		930	837	930	1023	930
Капитальные затраты на оборудование, тыс. руб		100				
Накладные расходы, связанные с приобретением и сопутствующие затраты, тыс. руб		20	10	10	10	10
Денежные потоки		810	847	940	1033	940
$(1+E)^{-t}$		1,033	1,047	1,042	0,982	0,889
Дисконтированный годовой доход, тыс. руб.		836,4	886,9	979,9	1013,9	835,7
ЧДД, тыс.руб.						4553

Таким образом, ЧДД за 5 лет использования оборудования по озонированию составляет 4 миллиона 553 тысячи рублей. Дополнительный доход получен за счет увеличения силы пчелиных семей, что приводит к увеличению количества качек за сезон и повышению медопродуктивности семей.

3.5 Выводы по главе

1. Разработан и изготовлен охладитель воздуха на базе элементов Пельтье с 8-ю ТЭМ типа TEC1-127060-40, имеющий следующие параметры: расход воздуха 125 л/мин; потребляемая мощность в зависимости от схемы соединения ТЭМ – 59 Вт, 24,2 Вт, 6 Вт; степень снижения температуры входного воздуха $\Delta T_y = 20-24^\circ\text{C}$.

2. Проведённые экспериментальные исследования по подтверждению теоретических положений процесса охлаждения воздуха подаваемого в электроозонатор показали следующее: относительная ошибка по температурным показателям не более 6,8%, адекватность модели оценена по t-критерию Стьюдента при уровне значимости $p = 0,01$ подтвердила отсутствие статистических различий между теоретическими и экспериментальными данными. Относительная ошибка по потребляемой охладителем мощности при моделировании и в эксперименте составила не более 8%.

3. Установлено, что при работе электроозонирующей установки с охладителем выходная концентрация озона увеличивается на 9% –20%, что позволяет сократить время обработки пчелиных ульев с 30 минут до 19 минут.

4. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований рекомендованы следующие рациональные параметры электроозонирующей установки при повторно-кратковременном режиме работы: минимальное время включенного состояния охладителя 6-9 минут, время паузы от 2 до 8 минут.

5. Расчет стоимости изготовления макетного варианта установки в единичном экземпляре показал, что основные затраты будут идти на стадию исследования и разработки образца, которые составили 586,48 тыс. рублей. При изготовлении малой партии установок отпускная цена составит, с учетом накладных расходов 100 тыс. руб.

6. Экономическая эффективность для пасеки в 50 ульев в виде ЧДД за 5 лет использования оборудования по озонированию составляет 4 миллиона 553 тысячи рублей. Дополнительный доход получен за счет увеличения силы пчелиных семей, увеличения количества качек за сезон и повышения медопродуктивности семей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема озонирующей установки, определена требуемая холодопроизводительность охладителя, которая составила 50 Вт, при подаче компрессора 7,5 м³/ч для понижения температуры входного воздуха на 20°C.

2. Разработана конструкция и геометрическая модель охладителя воздуха на основе элементов Пельтье для ПО Comsol, состоящая из: 8-ми ТЭМ типа TEC1-127060-40, вентилятора на 12 В с производительностью 36 м³/ч, обдувающего радиатор, который соприкасается с горячими сторонами всех ТЭМ, 2-х последовательно соединенных канальных радиаторов, каждый из которых соприкасается с холодными сторонами 4-х ТЭМ.

3. Разработана математическая модель термоэлектрических процессов в охладителе на основе уравнения теплового баланса с учетом теплопроводности, конвекции и термоэлектрического эффекта на базе элементов Пельтье, включающая в себя начальные и граничные условия, в которых заданы значения исследуемых параметров на входных и выходных границах исследуемой геометрической области.

4. Реализации модели в ПО Comsol Multiphysics показали, что расход воздуха через охладитель в таких диапазонах не оказывает существенного влияния на эффективность его охлаждения, например, увеличение производительности компрессора в 1,8 раз приводит к снижению получаемой разницы температур между входным и выходным воздухом ΔT с 23,3°C до 23,2°C.

5. Изменяя схему соединений 8 элементов ТЭМ можно получить наиболее рациональный режим работы охладителя. Максимальная потребляемая мощность (55 Вт) получена при последовательном соединении четырех элементов на одном радиаторе и при парном последовательном соединении четырех элементов на втором радиаторе. Среднее значение потребляемой мощности (22 Вт) имелось при последовательном соединении

по 4 элемента на каждом радиаторе. Минимальное потребление энергии (5,5 Вт) получено при последовательном соединении всех восьми ТЭМ охладителя и последующим включением в общую питающую сеть постоянного тока. Наиболее эффективный охладитель получен при последовательном соединении всех ТЭМ: через 1 час работы разница температур между входным и выходным воздухом ΔT составила 16,5°C.

6. Экспериментальные исследования по подтверждению теоретических положений процесса охлаждения воздуха подаваемого в электроозонатор показали следующее: относительная ошибка по температурным показателям не более 6,8%, адекватность модели оценена по t-критерию Стьюдента при уровне значимости $p = 0,01$ подтвердила отсутствие статистических различий между теоретическими и экспериментальными данными. Относительная ошибка по мощностям, потребляемым установкой при моделировании и в эксперименте составила не более 8%. При работе электроозонирующей установки с охладителем выходная концентрация озона увеличивается на 9%–20% по сравнению с отключенным охладителем, что позволяет сократить время обработки пчелиных ульев с 30 минут до 19 минут.

7. Установка может работать в двух режимах: постоянном и повторно-кратковременном. Постоянный режим с минимальной и средней мощностью можно рекомендовать для пасек с небольшим количеством пчелиных ульев и ограниченной мощностью источника тока. Работа в повторно-кратковременном режиме может происходить в следующей последовательности: включение, выход на установившейся режим и работа в течении 6-9 минут, отключение охладителя – пауза 2-8 минут.

8. Экономическая эффективность для пасеки в 50 ульев в виде ЧДД за 5 лет использования оборудования по озонированию составляет 4 миллиона 553 тысячи рублей. Дополнительный доход получен за счет увеличения силы пчелиных семей, что приводит к увеличению количества качек за сезон и повышению медопродуктивности пасеки.

Рекомендации производству

В хозяйствах, занимающихся пчеловодством результаты исследования, могут быть использованы для проведения профилактических и лечебных мероприятий на пасеке. В весеннее время использование озонирующей установки позволит провести стимуляцию развития пчелиных семей и нарастить их силу к ранним медосборам. Предлагаемая озонирующая установка с охладителем может работать в полевых условиях, получая энергию от аккумуляторных батарей. Небольшие предприятия, изготавливающие пчелоинвентарь могут начать мелкосерийное производство охладителей и озонирующих установок.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Используя результаты моделирования и экспериментов, можно получать мультифизические модели охладителей с большим количеством теплоэлектрических модулей с различными комбинациями их соединений. Полученные результаты, возможно, будет использовать при разработке озонаторов со встроенными охладителями на базе элементов Пельтье. Дальнейшую модернизацию озонирующей установки можно провести в части разработки комплекса для профилактики большого количества пчелиных ульев (более 100 штук) для частных и промышленных пасек. Комплекс будет иметь несколько озонаторов и охладителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блог компании COMSOL: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/which-turbulence-model-should-choose-cfd-application/>
2. Бышов Д.Н. Исследование изменения температуры перги в процессе вакуумной инфракрасной сушки / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, С. С. Морозов, В. П. Воронов // Вестник РГАТУ. – 2018. – № 2(38). – С. 69-72.
3. Бышов Д.Н. К вопросу исследования КПД элементов Пельтье / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, С. Н. Гобелев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 76-80.
4. Бышов Д.Н. Математическое моделирование процесса вакуумной инфракрасной сушки перговых сотов / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 4(44). – С. 82-87.
5. Винокуров С.В. Технология и установка для сушки перги в сотах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Винокуров Святослав Викторович; ФГБОУ ВО Рязанский ГАУ им. П.А. Костычева; науч. рук. В.Ф. Некрашевич. — Рязань, 2002. — 196 с.
6. 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.
7. Гробов О.Ф. Болезни и вредители медоносных пчел: Справочник / О.Ф. Гробов, А.М. Смирнов, Е.Т. Попов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 335 с: ил.
8. Документация на модуль CFD программы Comsol Multiphysics. Comsol.Inc. – 1014 с.

9. Документация на модуль Heat Transfer программы Comsol Multiphysics. Comsol.Inc. – 942 с.
10. Еськов Е.К. Микроклимат пчелиного жилища / Е. К. Еськов. - 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Россельхозиздат, 1983. — 192 с.
11. Жаров В.Г. Тепловая обработка пчел при варроатозе [Электронный ресурс]. – Ссылка на ресурс <http://apiary.su/knigi-i-stati-po-pchelovodstvu/teplovaya-obrabotka-pchel-pri-varroatoze-zharov-v-g/>
12. Земелькин В. Методы удаления запахов из выбросов в атмосферу. / В. Земелькин, А. Земелькин // Комбикорма. – №6 – 2015. – С. 57-62.
13. Каширин Д.Е. Энергосберегающие технологии извлечения перги из сотов специализированными средствами механизации: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Каширин Дмитрий Евгеньевич; ФГБОУ ВО Рязанский ГАУ им. П.А. Костычева; науч. конс. Н.В. Бышов. — Рязань, 2013. — 467 с.
14. Ключко Р.Т. Дезинфекция озоном при европейском гнильце / Р.Т. Ключко, С.Н. Луганский // Пчеловодство. – №8. – 2019. – С. 30-32.
15. 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. – №35(169). – 2017. – С. 20-21.
16. Корж В.Н. Основы пчеловодства / В.Н. Корж – Ростов-на-Дону: Феникс, 2012. – С. 560.
17. Кривцов Н.И. Среднерусские пчелы / Н.И. Кривцов // Санкт-Петербург: Лениздат, 1995. – С. 126.
18. Крылов П.П. 500 советов пчеловоду / П.П. Крылов // ООО «Книжный клуб «Клуб семейного досуга», Белгород; 2013. – С. 290.,
19. Кузнецов В.А. Теория и математическая модель гидродинамических и электрических процессов при интенсивных режимах озонирования: дис. ... доктора техн. наук: 01.02.05 / Кузнецов Виктор Алексеевич; Перм. гос. ун-т; науч. конс. И.М. Кирко – Пермь, 2005. – 244 с.

20. Курышев В.П. Анолит АНК в пчеловодстве / В.П. Курышев, Р.В. Курышев // Пчеловодство. – №8. – 2003. – С. 33-34.
21. Лунин В.В. Физическая химия озона / В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. – Москва: МГУ, 1998. – 480 с.
22. Малаю А. Интенсификация производства меда / А. Малаю // Под ред. и с предисл. Г. Д. Билаша. — М.: Колос, 1979.—176 с., ил.
23. Мамонов Р.А. Теоретическо-экспериментальное исследование машин для получения перги: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Мамонов Роман Александрович; ФГБОУ ВО Рязанский ГАУ им. П.А. Костычева; науч. конс. В.Ф. Некрашевич. — Рязань, 2018. — 354 с.
24. Матюнин А.Н. Исследование систем генерации озона в барьерном разряде с высокоомными электродами: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Матюнин Алексей Николаевич; ФГБОУ ВО Чувашский ГУ имени И.Н. Ульянова; науч. рук. Ю.П. Пичугин. — Чебоксары, 2019. — 140 с.
25. 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.
26. Нормов Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.02 / Нормов Дмитрий Александрович; ФГБОУ ВО КГАУ им. И.Т. Трубилина; науч. конс. И.Ф. Бородин. — Краснодар, 2009. — 340 с.
27. Овсянников Д.А. Моделирование нагрева разрядного устройства и обоснование параметров озонатора для обработки пчел / Д. А. Овсянников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 80. – С. 131-146.
28. Овсянников Д.А. Применение озонаторов в пчеловодстве в период весеннего наращивания пчелиных семей / Д. А. Овсянников //

- Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 80. – С. 202-214.
29. Овсянников Д.А. Система автоматического управления концентрацией озона в улье / Д. А. Овсянников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 81. – С. 401-417.
30. Овсянников Д.А. Система стабилизированного озонирования ульев для профилактики и лечения бактериозов пчел / Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2013. – 144 с.
31. 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.
32. Озеров И.Н. Обоснование параметров и режимов работы генератора озона для обеззараживания комбинированных кормов высококонцентрированной озono-воздушной смесью: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Озеров Иван Николаевич; ФГБОУ ВО Донской ГАУ; науч. рук. П.В. Гуляев. — Краснодар, 2018. — 177 с.
33. Озонирование или хлорирование?: [Электронный ресурс] // Сайт компании Аквариус НН. URL: <http://www.aqnn.ru/stati/ozonirovanie-ili-khlorirovanie/>. (Дата обращения: 31.01.2023).
34. Оськин С.В. Внедрение электротехнологий в пчеловодство / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе : Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 19–20 мая 2017 года. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "СЕКВОЙЯ", 2017. – С. 201-205.

35. Оськин С.В. Необходимость модернизации основных технологических процессов в пчеловодстве / Оськин С.В., Лоза А.А., Федак С.М., Украинцев М.М. //Сельский механизатор. – 2022. – №12. – С. 6-7.
36. Оськин С.В. Повышение степени развития пчелиных семей использованием электротехнологий / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 1260-1273.
37. Оськин С.В. Тепловые процессы в барьерном озонаторе / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов: Сборник тезисов по материалам III Международной конференции, Краснодар, 10–11 апреля 2019 года / Отв. за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 176.
38. Оськин С.В. Технико-экономическая оценка эффективности эксплуатации оборудования / С. В. Оськин, Г. М. Оськина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 1. – С. 2-3.
39. Оськин С.В. Экологически безопасные способы обработки пчелиных семей от сопутствующих болезней / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2015. – № 1(21). – С. 118-126.
40. 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.
41. Оськин С.В. Электротехнологические способы и оборудование для повышения производительности труда в медотоварном пчеловодстве Северного Кавказа / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников. – Краснодар: ООО «Крон», 2015. – 198 с.

42. Оськин С.В. Электротехнологические способы обработки пчелиных семей от болезней / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников, А. А. Блягоз // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2017. – № 3(31). – С. 97-106.
43. Оськин, С. В. Внедрение электротехнологий в пчеловодство / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 19–20 мая 2017 года. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "СЕКВОЙЯ", 2017. – С. 201-205.
44. Оськин, С. В. Использование электротехнологий для улучшения микроклимата в ульях / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 135-150.
45. Оськин, С. В. Моделирование весенней агрегации пчел в улье при больших суточных колебаниях температуры наружного воздуха / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Биофизика. – 2020. – Т. 65, № 5. – С. 978-985.
46. Оськин, С. В. Моделирование микроклимата пчелиного улья в конце зимнего периода / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников, И. Н. Шишигин // Биофизика. – 2022. – Т. 67, № 1. – С. 105-112.
47. Оськин, С. В. Моделирование основных физических процессов в пчелином улье / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Биофизика. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 153-161.
48. Оськин, С. В. Моделирование теплофизических процессов в пчелином улье с электроподогревом / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Биофизика. – 2020. – Т. 65, № 2. – С. 381-389.
49. Оськин, С. В. Способы повышения производительности труда в пчеловодстве / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 97. – С. 442-452.

50. 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. – 2015. – № 110. – С. 907-926.
51. Пат. 2156060 Российская Федерация, МПК А01Л 47/00. Способ обслуживания пчел / Е.Н. Болотский, В.Н. Болтский, В.М. Бахир, Ю.Г. Задорожний; заявитель и патентообладатель ООО «Лаборатория электрохимических технологий». – № 99102316/13; заявл. 04.02.1999; опубл. 20.09.2000, Бюл. №26.
52. Пат. 2237404 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с аскоферозом / Д.А. Нормов, Д.А. Овсянников, И.А. Заболотная, В.В. Вербицкий, Т.А. Нормова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина. – № 2002135255/12; заявл. 25.12.2002; опубл. 10.10.2004, Бюл. №28.
53. Пат. 2263068 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор / Ю.П. Пичугин; заявитель и патентообладатель Ю.П. Пичугин. – № 2003118670/15; заявл. 21.06.2003; опубл. 27.10.2005, Бюл. №30.
54. Пат. 2289542 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор / А.Н. Бабицкий, Б.А. Беляев, А.А. Лексиков; заявитель и патентообладатель Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения РАН. – № 2005101557/15; заявл. 24.01.2005; опубл. 20.12.2006, Бюл. №35.
55. Пат. 2322386 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Генератор озона / Е.И. Сторчай, Ю.Н. Лантушенко, А.И. Смородин, А.Т. Фомченков; заявитель и патентообладатель ОАО «Криогенмаш» – № 2006116927/15; заявл. 17.05.2006; опубл. 20.04.2008, Бюл. №11.
56. Пат. 2324342 Российская Федерация, МПК А01Л 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел / Д.А. Нормов, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, Т.А. Нормова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина. – № 2006128062/12; заявл. 01.08.2006; опубл. 20.05.2008, Бюл. №14.

57. Пат. 2429192 Российская Федерация, МПК C01B 13/11. Электроозонатор / Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, А.П. Волошин, С.С. Зубович, Д.С. Цокур; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. – № 2009133067/05; заявл 02.09.2009; опубл. 10.03.2011, Бюл. №26.
58. Пат. 2429193 Российская Федерация, МПК C01B 13/11. Озонатор /Н.И. Богатырев, В.Г. Григулецкий, С.А. Шмагайло, Н.С. Баракин, А.В. Свечников, О.Н. Ковалева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. – № 2010101429/05; заявл 18.01.2010; опубл. 20.09.2011, Бюл. №26.
59. Пат. 2494975 Российская Федерация, МПК C02F 1/461. Устройство для получения дезинфицирующего раствора /Д.А. Овсянников, А.П. Волошин, Д.С. Цокур, Д.Н. Дуданец, Л.В. Потапенко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина. – № 2012110433/05; заявл. 19.03.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. №28.
60. Пичугин Ю.П. Исследование генерации озона в озонаторах с высокоомными электродами / Ю. П. Пичугин, А. Н. Матюнин // Вестник Чувашского университета. – 2011. – № 3. – С. 107-111.
61. Погода для туристов: [Электронный ресурс]. URL: <https://pogoda.turtella.ru/russia/krasnodar/archive>. (Дата обращения: 31.01.2023)
62. Погода по месяцам в Краснодаре: [Электронный ресурс] // Сайт «Погода для туристов». URL: <https://pogoda.turtella.ru/russia/krasnodar/monthly>. (Дата обращения: 31.10.2022).
63. Пол. модель 125314 Российская Федерация, МПК F24F 3/00. Устанвока для очистки воздуха / Е.И. Гаврикова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет. – № 2012143433/12; заявл. 10.10.2012; опубл. 27.02.2013, Бюл. №6.

64. Пат. модель 126696 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор / Е.И. Гаврикова, К.С. Лактионов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет. – № 2012137486/05; заявл. 31.08.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №10.
65. Пат. модель 168281 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Высокочастотный озонатор / С.В. Шапиро, А.Г. Саенко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Уфимский государственный университет экономики и сервиса». – № 2015148753; заявл. 12.11.2015; опубл. 26.01.2017, Бюл. №3.
66. Полторжицкая Р.С., Черник М.И. Влияние средовых факторов на иммунную реактивность организма медоносной пчелы / Р.С. Полторжицкая, М.И. Черник // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – №15 (1). – 2012. – С. 350-358.
67. Преимущества дезинфекции озоном в сравнении с химическими и УФ дезинфекторами: [Электронный ресурс] // Сайт компании «ИжОзон». URL: <https://izhozon.ru/preimushhestva-dezinfekcii-ozonom-v-sravnenii-s-himicheskimi-i-uf-dezinfektorami/>. (Дата обращения: 30.01.2023).
68. Применение анолита в пчеловодстве: [Электронный ресурс] // Сайт компании ООО «ЦВМ Донветсервис». URL: <https://alfa-dez.com/o-sredstve/primenenie/pchelovodstvo/>. (Дата обращения: 20.02.2022).
69. Сапожников А. Ф. Аэрозоли и их применение в сельском хозяйстве: учебное пособие / А. Ф. Сапожников, Г. Д. Аккузин. — Киров: Вятская ГСХА, 2011. — 66 с.
70. Сердюченко И.В. Влияние озона на микрофлору кишечного тракта медоносных пчел карпатской породы / И.В. Сердюченко // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – №1. – 2017. – С. 94-96.
71. Сердюченко И.В. Пробиотические добавки, антибиотики, зон в пчеловодстве / И.В. Сердюченко // Академия педагогических идей Новация. – №6. – 2018. – С. 343-348.

72. Сторчевой В.Ф. Параметры работы озонатора в животноводческих помещениях / В.Ф. Сторчевой, С.В. Сучугов // Вестник международной общественной академии экологической безопасности и природопользования (МОАЭБП). – Т. 21(28). – 2020. – С. 105-116.
73. Сторчевой В.Ф. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы / В.Ф. Сторчевой, С.В. Сучугов, А.Е. Компаниец // Вестник ФГБОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. – №3(91). – 2019. – С. 35-39.
74. Филиппов Ю.В. Электросинтез озона / Ю.В. Филиппов, В.А. Вобликова, В.И. Пантелеев. – М.: изд-во МГУ, 1987. – 237 с.
75. Харченко С.Н. Эффективные режимы работы сушильной установки пчелиной перги с рациональными параметрами комбинированного нагрева: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Харченко Сергей Николаевич; ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина; науч. рук. С.В. Оськин. — Рязань, 2002. — 196 с.
76. Хорошунов Н.Г. Режим работы электропривода центрифуги для откачки меда из соторамок: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Хорошунов Николай Геннадиевич; ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина; науч. рук. С.В. Оськин. — Краснодар, 2011. — 143 с.
77. Хохрякова Е.А. Водоподготовка: Справочник. / Е.А. Хохрякова, Я.Е. Резник; под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. – Москва: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
78. Шабалина А.В. Исследование изменения рН воды при озонировании / Шабалина А.В., Фахрутдинова Е.Д., Федотова М.И., Белова К.А., Быкова П.В. // Вестник Томского государственного университета. – №375. – 2013. – С. 200-203.
79. Шарифулина Е.М. Условия и факторы, определяющие продуктивность пчел. / Е.М. Шарифулина, А.Н. Буряк // Science time. – №12(24). – 2015. – С. 868-873.

80. Шишигин И.Н. Агрегация пчел в улье при больших колебаниях температуры воздуха / С.В. Оськин, Д.С. Цокур, И.Н. Шишигин // Сельский механизатор. – 2021. – № 1. – С. 16-17.
81. Шишигин, И.Н. Охладитель воздуха для электроозонатора на базе элементов Пельтье / И.Н. Шишигин, Д.С. Цокур // В сборнике: Потенциал и вызовы развития возобновляемой энергетики. Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ставрополь. – 2023. – С. 31-34.
82. Шишигин И.Н. Разработка охладителя воздуха для снижения нагрева электроозонатора на базе элементов Пельтье / И.Н. Шишигин // Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции Science and technology research - 2023, Петрозаводск. – МЦНП «Новая наука», 2023. – С. 20-24.
83. Шишигин, И.Н. Моделирование водяной системы охлаждения воздуха для электроозонатора при лечении пчел / И.Н. Шишигин, С.В. Оськин // Сельский механизатор. – 2022. – № 10. – С. 22-23.
84. Шишигин, И.Н. Моделирование основных физических процессов в биологических и технических системах сельского хозяйства / С.В. Оськин, Д.С. Цокур, И.Н. Шишигин, А.А. Лоза // Сельский механизатор. – 2020. – № 7. – С. 25-27.
85. Шишигин, И.Н. Оборудование для повышения эффективности пчеловодства АПК / С.В. Оськин, Д.С. Цокур, И.Н. Шишигин, С.М. Федак // АПК России. – 2023. – Т. 30, № 1. – С. 53-58.
86. Шишигин, И.Н. Повышение энергетической эффективности отраслей агропромышленного комплекса / С.В. Оськин, А.В. Коржаков, А.А. Лоза // Сельский механизатор. – 2022. – № 1. – С. 42-43.
87. Юдаев Ю.А. Моделирование процесса технологического охлаждения сельскохозяйственной продукции / Ю. А. Юдаев, Д. Н. Бышов // Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса: Материалы

Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2019 года / Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. Том Часть III. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 277-282.

88. A. Zacepins, J. Meitalovs and E. Stalidzans, "Model based real time automated temperature control system for risk minimization in honey bee wintering building", 8th International industrial simulation conference 2010, pp. 245-247, June 7–9, 2010, ISBN 978-90-77381-5-57.
89. A. Zacepins, J. Meitalovs, V. Komasilovs and E. Stalidzans, "Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honey bees," 2011 12th International Carpathian Control Conference (ICCC), Velke Karlovice, Czech Republic, 2011, pp. 465-468, doi: 10.1109/CarpathianCC.2011.5945901.
90. J. Meitalovs, A. Histjajevs and E. Stalidzans, "Automatic microclimate controlled beehive observation system", 8th International Scientific Conference 'Engineering for Rural Development', pp. 265-271, 28.-29. May 2009.
91. J. Rimbala and J. Kyncl, "Possibilities of Improving COP of Peltier Cells Operating as a Heat Pump," 2022 22nd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/EPE54603.2022.9814133.
92. M. C. Liu, Y. S. Wang and S. T. Dai, "Heat Leakage Analysis on Peltier Current Leads with Constant and Varying Cross Sections," 2018 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices (ASEMD), Tianjin, China, 2018, pp. 1-2, doi: 10.1109/ASEMD.2018.8558909.
93. Oskin S. Modelling of thermal processes in barrier ozonizer used in beekeeping / S. Oskin, S. Nikolaenko, A. Voloshin, D. Tsokur // 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Proceedings. – Jelgava, 2020. – P. 384-389.

94. Oskin S.V. The models of physical processes of bees winter aggregation / S. V. Oskin, D. A. Ovsyannikov, D. S. Tsokur // *Journal of Physics: Conference Series*, Tambov, 14–16 ноября 2018 года. Vol. 1278. – Tambov: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012028.
95. R. Guráš and M. Mahdal, "Use of Peltier Modules for Liquid Cooling," *2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Velké Karlovice, Czech Republic, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCC51557.2021.9454645.
96. S. B. Riffat and M Xiaoli, "Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: A review", *International journal of energy research*, vol. 28, pp. 753-768, 2004.
97. S. Kumar, A. Gupta, G. Yadav and H. P. Singh, "Peltier module for refrigeration and heating using embedded system", *Recent Developments in Control Automation and Power Engineering (RDCAPE) 2015 International Conference on*, pp. 314-319, 2015.
98. Shishigin I.N. Modeling beehive microclimate at the end of wintering/Oskin S.V., Ovsyannikov D.A., Shishigin I.N.//*Biophysics*. 2022. T. 67. № 1. С. 85-91.
99. Shishigin I.N. Simulation of bee aggregation in the hive during changes in honey supply/ S.V. Oskin, I.N. Shishigin, A.A. Loza, D.S.Tsokur// В сборнике: *Journal of Physics: Conference Series*. 2. 2022. С. 012037.
100. Т. Н. Indiketiya, "An Optimum Strategy to Control Peltier Device Cold Side Temperature," *2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, NV, USA, 2021, pp. 1333-1338, doi: 10.1109/CCWC51732.2021.9376130.
101. W. Seifert, M. Ueltzen and E. Müller, "One-dimensional modelling of thermoelectric cooling", *Physica Status Solidi. C*, vol. 194, no. 1, pp. 277-290, 2002.

Листинг 1 - Алгоритм программы для измерения температуры с помощью цифровых датчиков DS18B20 в эксперименте

```
#include <OneWire.h> // Инициализация библиотеки шины OneWire.
#include <DallasTemperature.h> // Инициализация библиотеки термодатчиков.
#define ONE_WIRE_BUS 5 // Подключение цифровых датчиков к 10-му пину
Аркуино.
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Запуск интерфейса OneWire для
подключения OneWire устройств.
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Указание, что устройством oneWire
является термодатчик от Dallas Temperature.
int row_excel = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Запуск COM порта.
  sensors.begin(); // Запуск сенсора.
  Serial.println("CLEARDATA"); // очистка листа excel
  Serial.println("LABEL,Time,Temperature, Num Rows"); // заголовки столбцов
}

void loop()
{
  sensors.requestTemperatures(); // Команда опроса температуры.
  row_excel++; // номер строки + 1
  Serial.print("DATA,TIME,"); // запись в excel текущей даты и времени
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); // Первый датчик
  Serial.print(",");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(1)); // Второй датчик
  Serial.print(",");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(2)); // Третий датчик
  Serial.print(",");
  Serial.println(row_excel);
  delay(5000);
}
```

Таблица П.2.1 – Результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительности компрессора 70 л/мин (рис. 3.4)

Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	18,82875	18,4825
Дисперсия	10,71157	9,248993
Наблюдения	8	8
df	7	7
F	1,158133	
P(F<=f) одностороннее	0,425698	
F критическое одностороннее	6,992833	
Результат: F меньше, чем Fкрит значит дисперсии равны		
Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	18,82875	18,4825
Дисперсия	10,71157	9,248993
Наблюдения	8	8
Объединенная дисперсия	9,980279	
Гипотетическая разность средних	0	
df	14	
t-статистика	0,219204	
P(T<=t) одностороннее	0,414827	
t критическое одностороннее	2,624494	
P(T<=t) двухстороннее	0,829655	
t критическое двухстороннее	2,976843	
Результат: t меньше tкрит значит различий между двумя выборками нет		

Таблица П.2.2 – Результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительности компрессора 125 л/мин (рис. 3.4)

Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	18,9556	19,103
Дисперсия	7,793778	7,863512
Наблюдения	10	10
df	9	9
F	0,991132	
P(F<=f) одностороннее	0,494815	
F критическое одностороннее	0,186876	
Результат: F больше, чем Fкрит значит дисперсии не равны		

Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	18,9556	19,103
Дисперсия	7,793778	7,863512
Наблюдения	10	10
Гипотетическая разность средних	0	
df	18	
t-статистика	-0,1178	
P(T<=t) одностороннее	0,453766	
t критическое одностороннее	2,55238	
P(T<=t) двухстороннее	0,907532	
t критическое двухстороннее	2,87844	
Результат: t меньше t _{крит} значит различий между двумя выборками нет		

Таблица П.2.3 – Результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительностях компрессора 125 л/мин и варианте соединения ТЭМ показанном на рис. 2.16 б

Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	19,36127	19,99167
Дисперсия	5,69277	4,95687
Наблюдения	12	12
df	11	11
F	1,148461	
P(F<=f) одностороннее	0,411258	
F критическое одностороннее	4,462436	
Результат: F меньше, чем F _{крит} значит дисперсии равны		
Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	19,36127	19,99167
Дисперсия	5,69277	4,95687
Наблюдения	12	12
Объединенная дисперсия	5,32482	
Гипотетическая разность средних	0	
df	22	
t-статистика	-0,66917	
P(T<=t) одностороннее	0,255173	
t критическое одностороннее	2,508325	
P(T<=t) двухстороннее	0,510346	
t критическое двухстороннее	2,818756	
Результат: t меньше t _{крит} значит различий между двумя выборками нет		

Таблица П.2.4 – Результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительностях компрессора 125 л/мин и варианте соединения ТЭМ показанном на рис. 2.16 в

Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	22,21916	21,14917
Дисперсия	2,251465	3,523027
Наблюдения	12	12
df	11	11
F	0,639071	
P(F<=f) одностороннее	0,23487	
F критическое одностороннее	0,224093	
Результат: F больше, чем Fкрит значит дисперсии не равны		
Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	22,21916	21,14917
Дисперсия	2,251465	3,523027
Наблюдения	12	12
Гипотетическая разность средних	0	
df	21	
t-статистика	1,542467	
P(T<=t) одностороннее	0,068948	
t критическое одностороннее	2,517648	
P(T<=t) двухстороннее	0,137896	
t критическое двухстороннее	2,83136	
Результат: t меньше tкрит значит различий между двумя выборками нет		

Таблица П.2.5 – Результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительностях компрессора 125 л/мин и варианте соединения ТЭМ показанном на рис. 2.16 г

Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	22,61396	21,84267
Дисперсия	1,535513	2,05605
Наблюдения	15	15
df	14	14
F	0,746827	
P(F<=f) одностороннее	0,296135	
F критическое одностороннее	0,27045	
Результат: F больше, чем Fкрит значит дисперсии не равны		

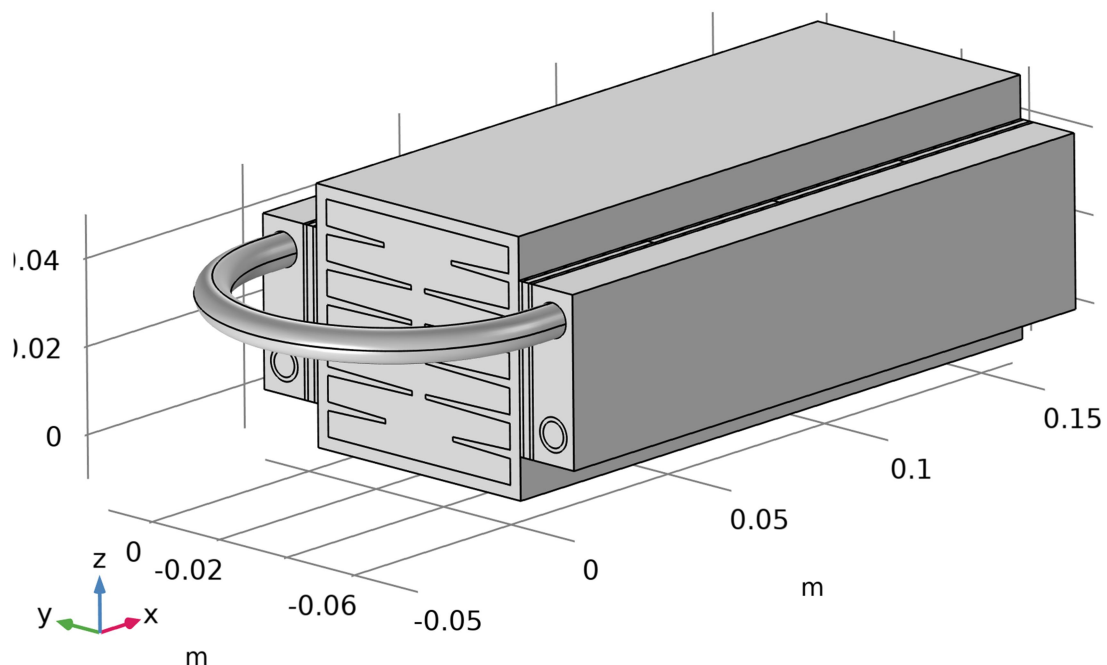
Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	22,61396	21,84267
Дисперсия	1,535513	2,05605
Наблюдения	15	15
Гипотетическая разность средних	0	
df	27	
t-статистика	1,576245	
P(T<=t) одностороннее	0,063308	
t критическое одностороннее	2,47266	
P(T<=t) двухстороннее	0,126615	
t критическое двухстороннее	2,770683	
Результат: t меньше t _{крит} значит различий между двумя выборками нет		

Таблица П.2.6 – Результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных при производительностях компрессора 125 л/мин и варианте соединения ТЭМ показанном на рис. 2.16 д

Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	25,02301	24,34867
Дисперсия	0,469833	0,679227
Наблюдения	15	15
df	14	14
F	0,691717	
P(F<=f) одностороннее	0,249684	
F критическое одностороннее	0,27045	
Результат: F больше, чем F _{крит} значит дисперсии не равны		
Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями		
	<i>Переменная 1</i>	<i>Переменная 2</i>
Среднее	25,02301	24,34867
Дисперсия	0,469833	0,679227
Наблюдения	15	15
Гипотетическая разность средних	0	
df	27	
t-статистика	2,436432	
P(T<=t) одностороннее	0,010854	
t критическое одностороннее	2,47266	
P(T<=t) двухстороннее	0,021708	
t критическое двухстороннее	2,770683	
Результат: t меньше t _{крит} значит различий между двумя выборками нет		

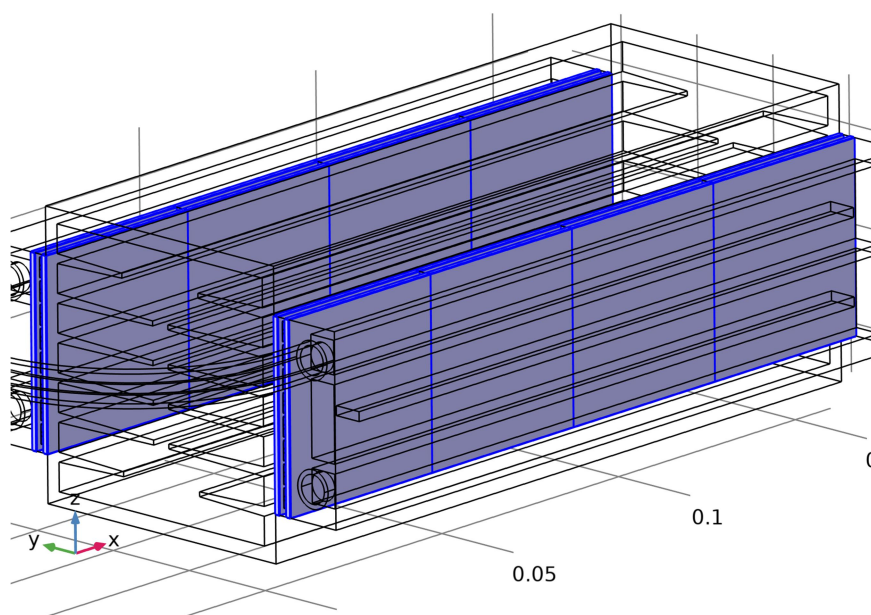
Параметры компьютерной модели термоэлектрических процессов в охладителе на базе элементов Пельтье заданные в ПО Comsol Multiphysics

1.1 GEOMETRY 1



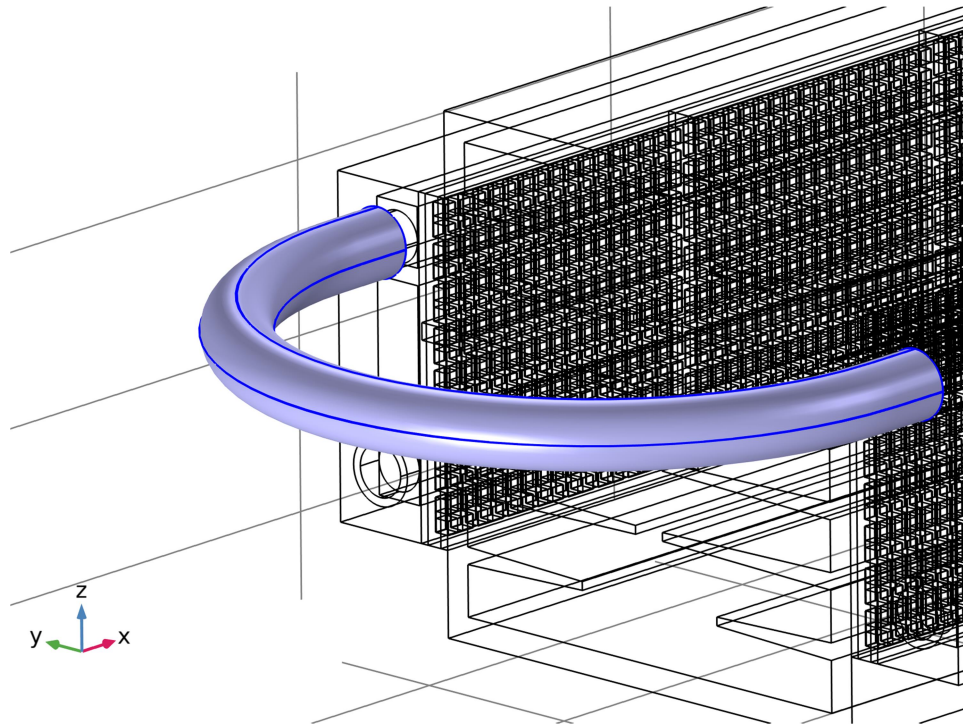
1.2 MATERIALS

1.2.1 Al₂O₃ - Aluminum oxide



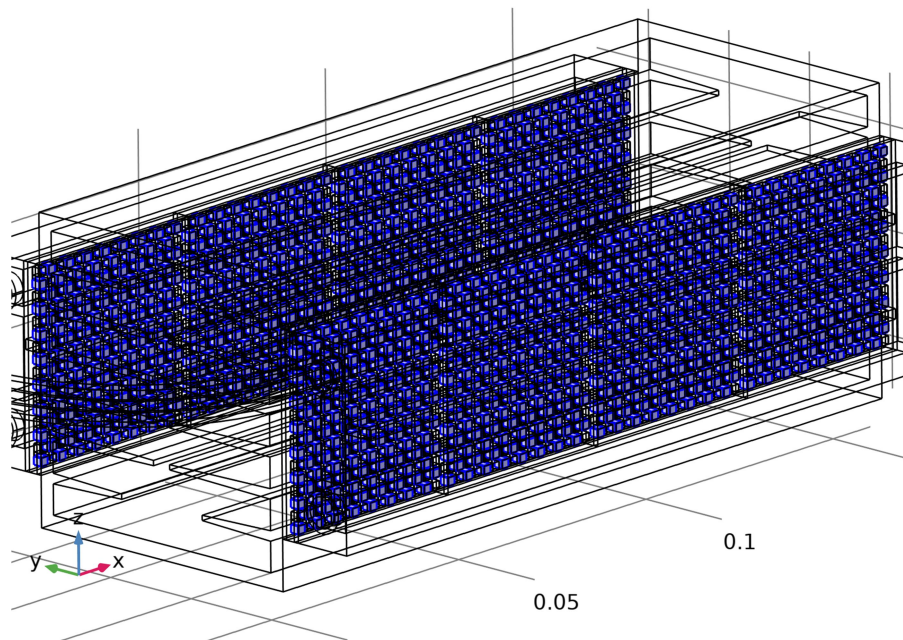
Al₂O₃ - Aluminum oxide

1.2.2 Silicon



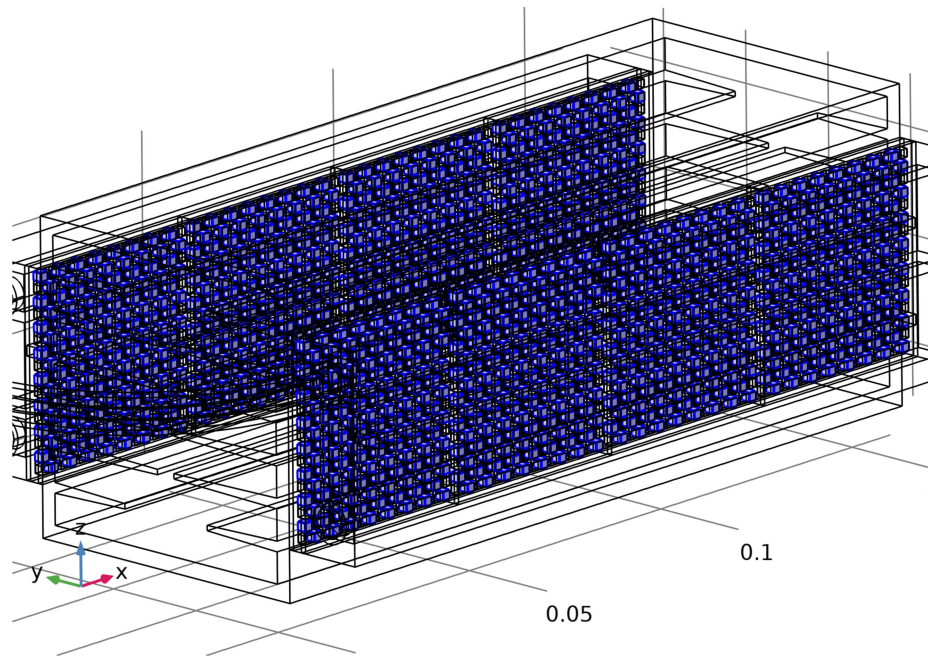
Silicon

1.2.3 Bismuth Telluride - Bi₂Te₃



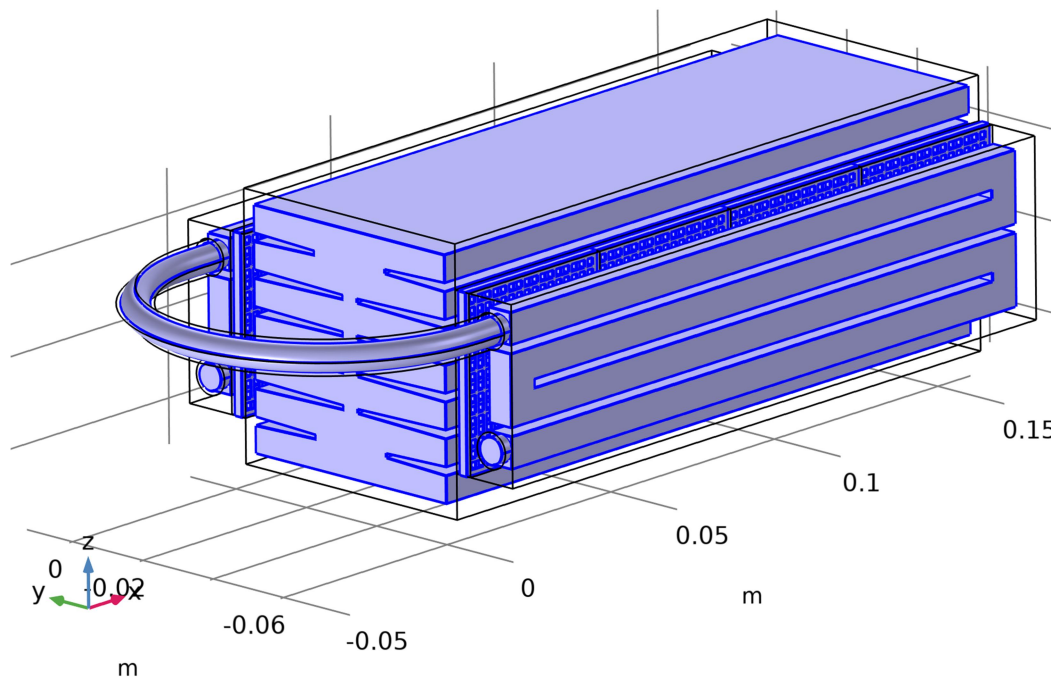
Bismuth Telluride - Bi₂Te₃

1.2.4 Bismuth Telluride - Bi₂Te_{3.1}



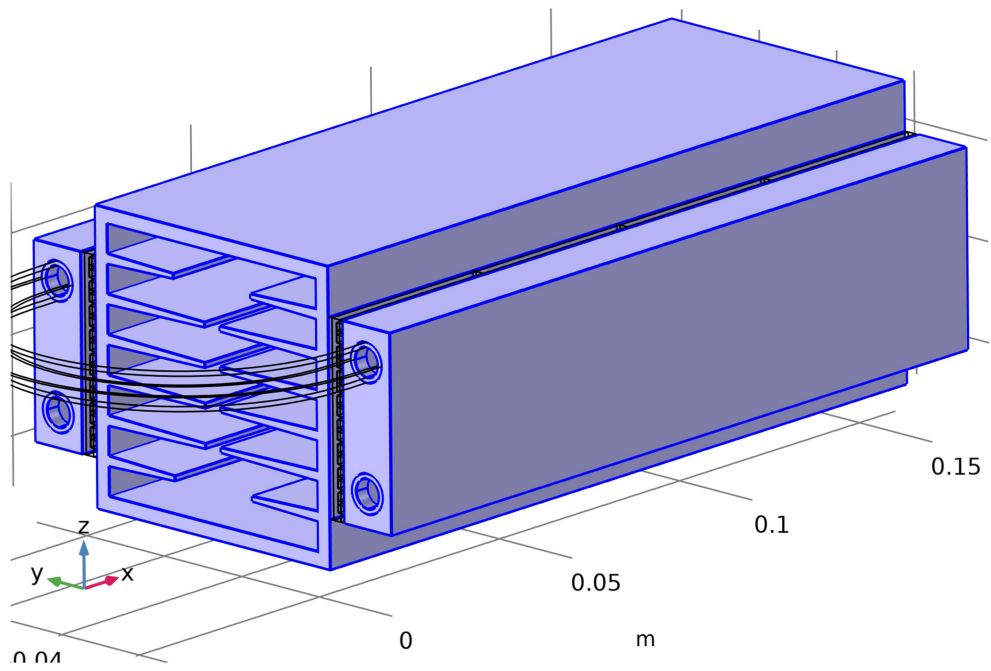
Bismuth Telluride - Bi₂Te_{3.1}

1.2.5 Air [gas]



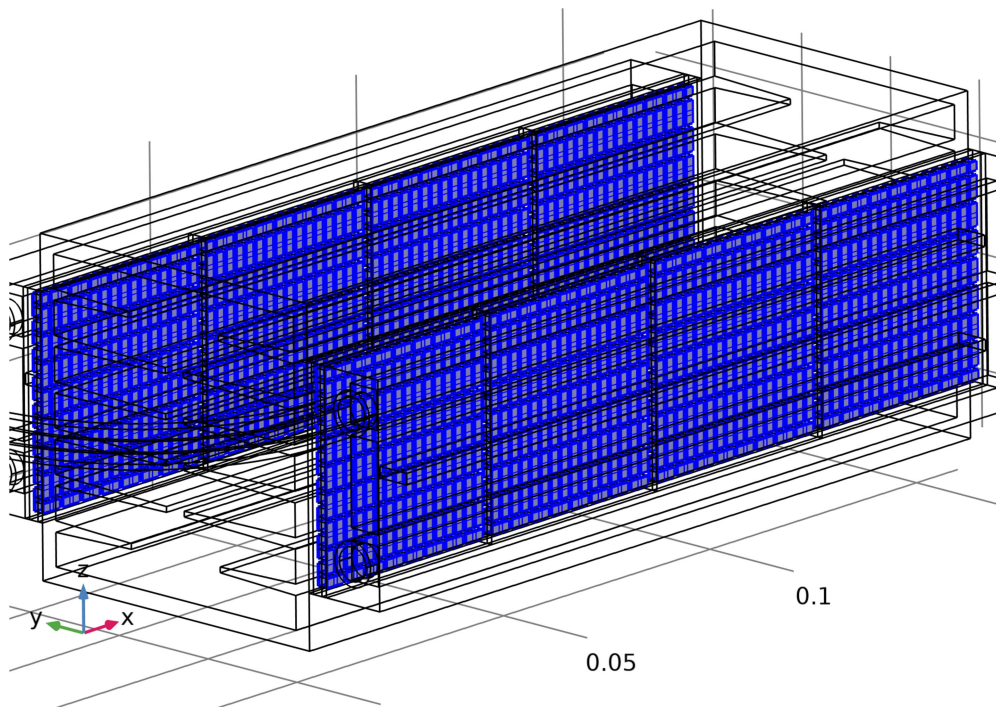
Air [gas]

1.2.6 Aluminum



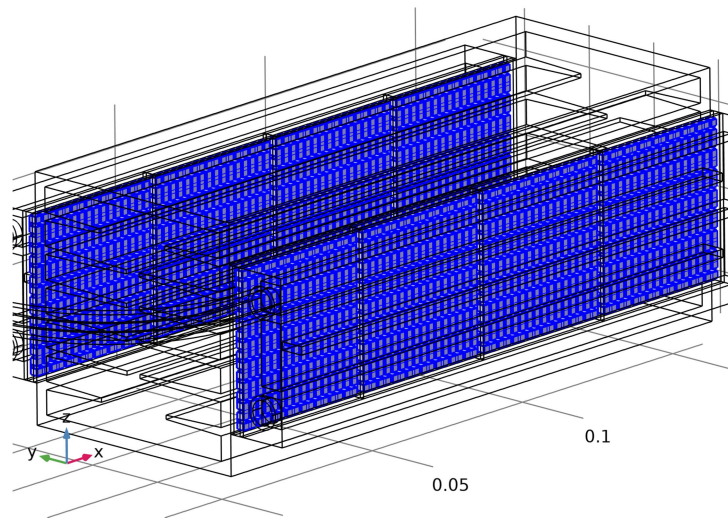
Aluminum

1.2.7 Copper



Copper

1.3 ELECTRIC CURRENTS



Electric Currents

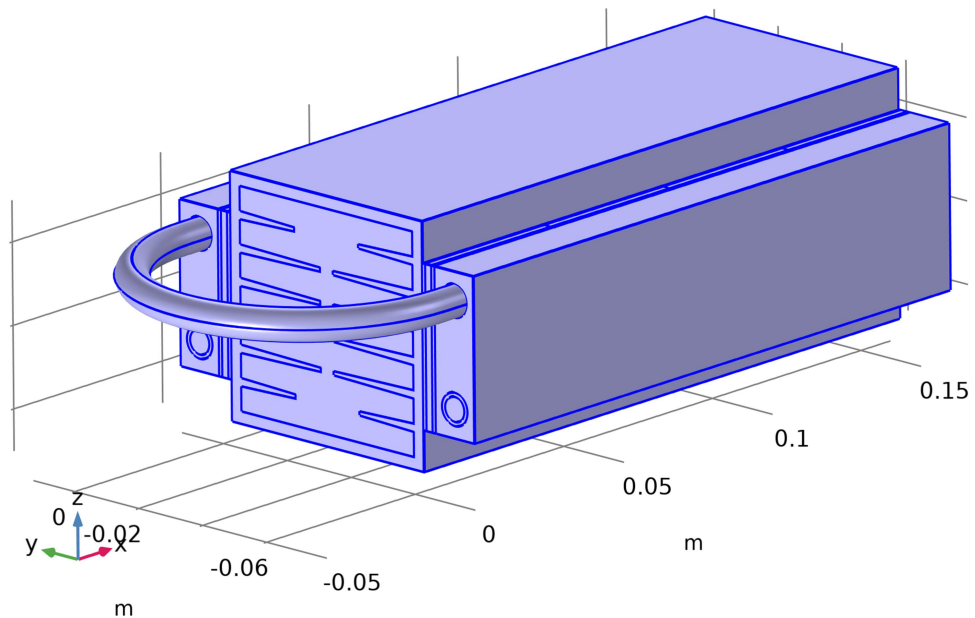
EQUATIONS

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = Q_{j,v}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{J}_e$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

1.4 HEAT TRANSFER IN SOLIDS AND FLUIDS



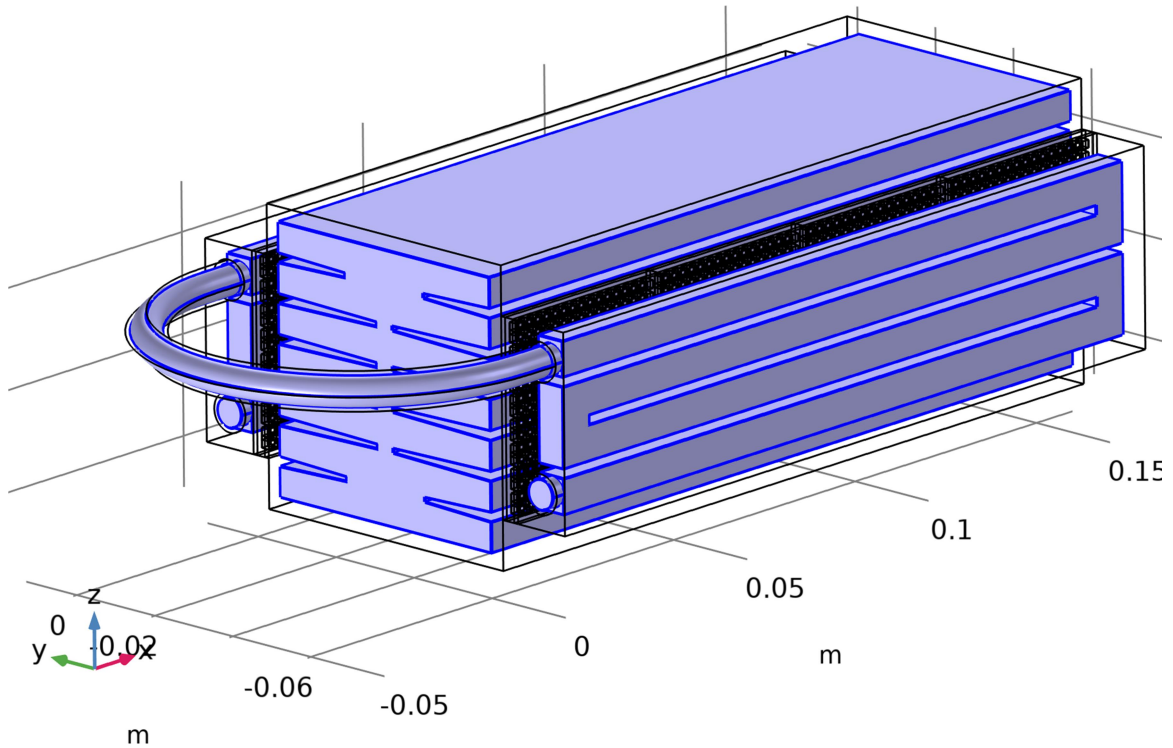
Heat Transfer in Solids and Fluids

EQUATIONS

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{ted}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

1.5 TURBULENT FLOW, ALGEBRAIC YPLUS



Turbulent Flow, Algebraic yPlus

EQUATIONS

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mathbf{K}] + \mathbf{F} + \rho\mathbf{g}$$

$$\nabla \cdot (\rho\mathbf{u}) = 0$$

$$\mathbf{K} = (\mu + \mu_T)(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I}$$

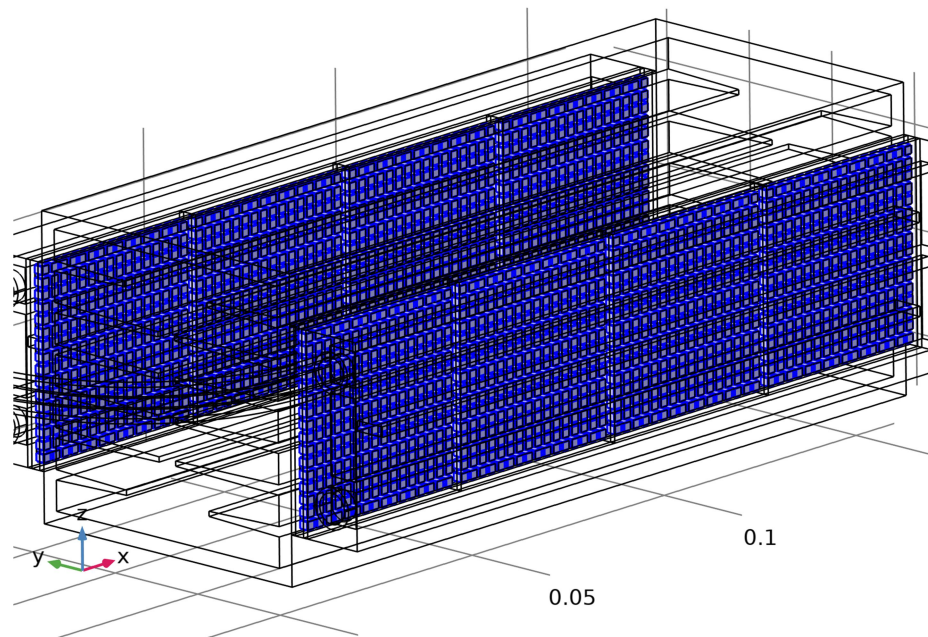
$$Re_w = \frac{\rho|\mathbf{u}|\ell_w}{\mu} = \frac{|\mathbf{u}|}{u_\tau} \cdot \frac{\rho u_\tau \ell_w}{\mu} = u^+ \ell_w^+ \quad u^+ = f(\ell_w^+)$$

$$\nabla G \cdot \nabla G + \sigma_w G (\nabla \cdot \nabla G) = (1 + 2\sigma_w)G^4, \quad \ell_w = \frac{1}{G} - \frac{\ell_{ref}}{2}$$

$$\mu_T = \mu \left(\left(\frac{df}{d\ell_w^+} \right)^{-1} - 1 \right)$$

1.6 MULTIPHYSICS

1.6.1 Thermoelectric Effect 1



Thermoelectric Effect 1

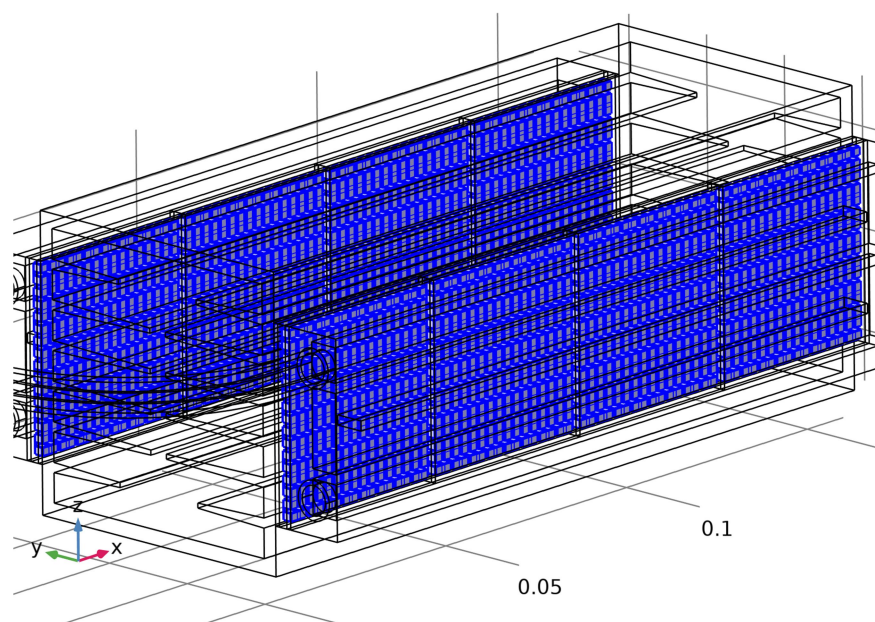
EQUATIONS

$$P = S \nabla T$$

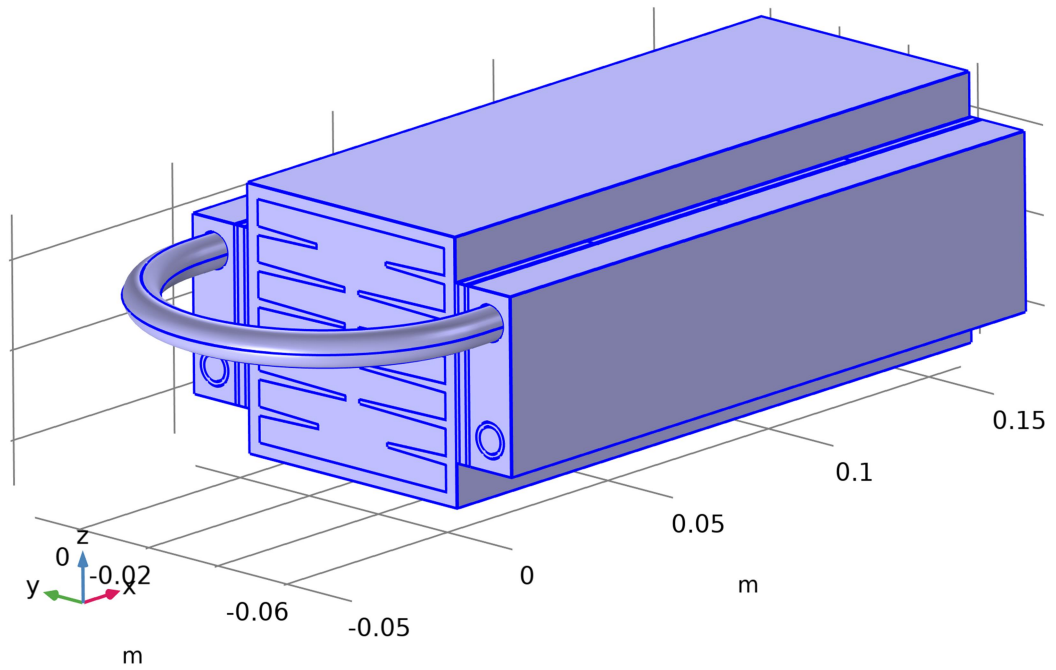
$$\mathbf{q} = P \mathbf{J}$$

$$\mathbf{J}_e = -\sigma \nabla T$$

1.6.2 Electromagnetic Heating 1



Electromagnetic Heating 1



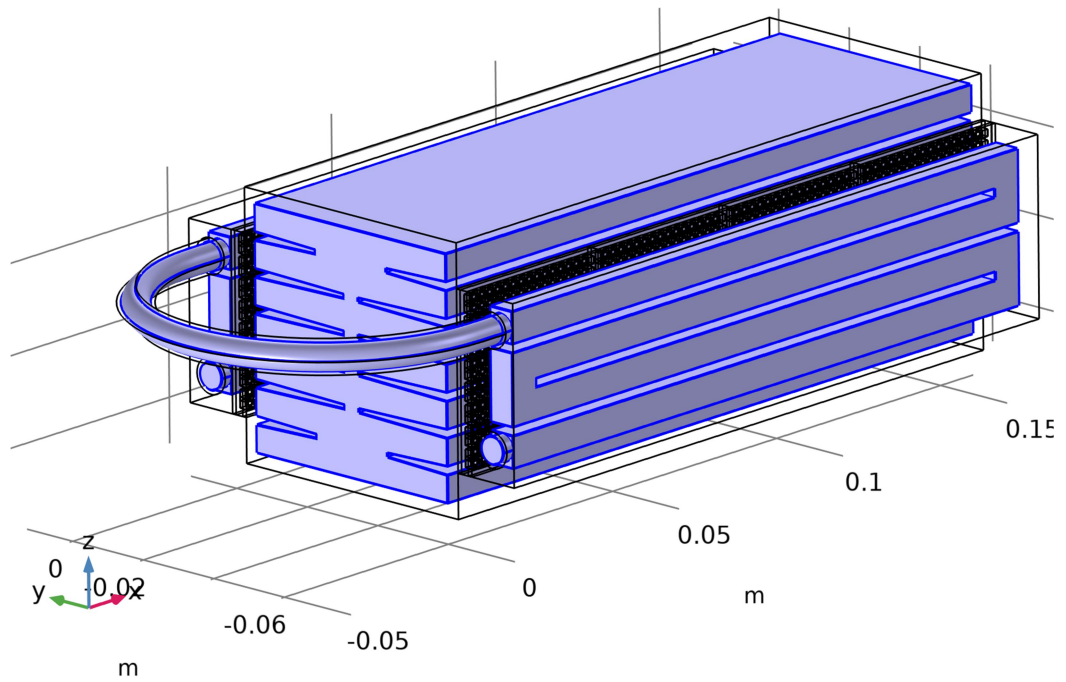
Complementary selection

EQUATIONS

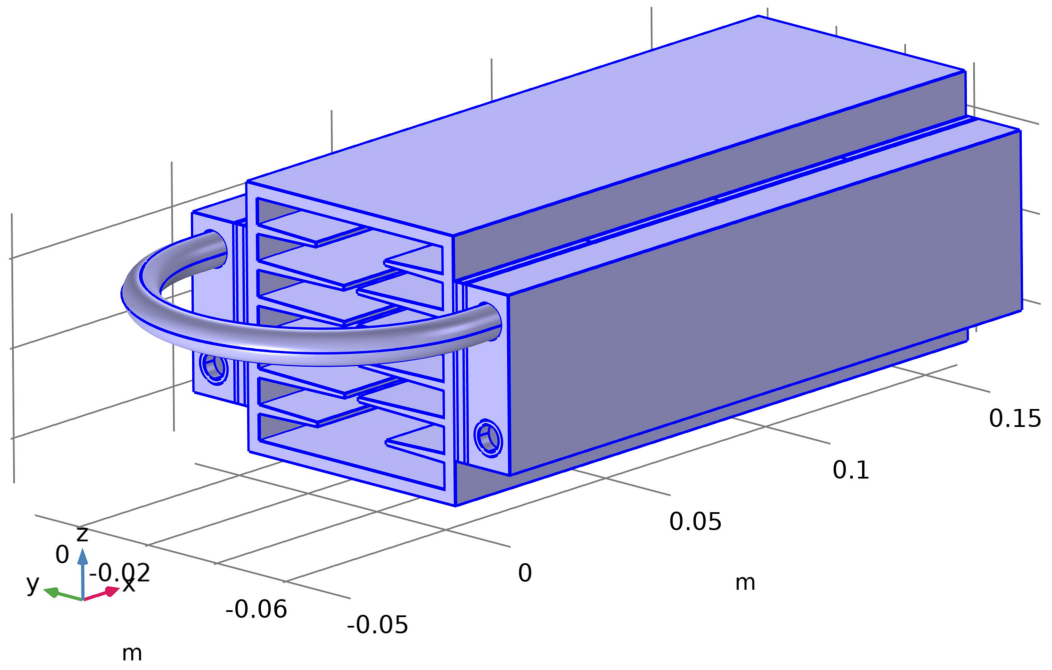
$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_e$$

$$Q_e = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E}$$

1.6.3 Nonisothermal Flow 1



Nonisothermal Flow 1



Complementary selection

EQUATIONS

$$Q_p = \alpha_p T \left(\frac{\partial p_A}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla p_A \right)$$

$$\alpha_p = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$$

ДОКУМЕНТЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИССЛЕДОВАНИЙ

УТВЕРЖДАЮ
ООО «Предприятие по пчеловодству
«Краснодарское»
ИНН 2310010997,
35002, Краснодарский край,
Краснодар, ул. Садовая, 50
Директор организации
Карцев В.И.



АКТ
о внедрении результатов научной работы
Шишигина Игоря Николаевича


Комиссия в составе: заведующего кафедрой «Электрические машины и электропривод» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», д.т.н., профессора Оськина С.В., к.т.н., Цокура Д.С., аспиранта Шишигина И.Н. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Параметры и режимы охладителя воздуха на основе элементов Пельтье для озонаторов в пчеловодстве», представленной в виде макетного образца охладителя воздуха в комплекте с озонатором переданы предприятию на предмет производственной проверки и для дальнейшего использования в работе предприятия. Данная комплектная установка изготовлена в Кубанском ГАУ, показала высокую эффективность обработки пчелиных семей на пасеке в 50 ульев. После периодического озонирования сократилось количество профилактических обработок химическими препаратами в два раза. При этом пчелы не испытывали раздражений, продолжали свое нормальное функционирование. Отмечается также в обработанных ульях понижение заклещенности и получение дополнительной медовой продукции до 15% от общего среднего уровня медопроизводства ульев пасеке.


Председатель комиссии:


зав. кафедрой «Электрические
машины и электропривод», д.т.н., проф.

Члены комиссии:

к.т.н., доцент,
аспирант

 Оськин С.В.

 Цокур Д.С.

 Шишигин И.Н.

05.09.2022

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор ФГБОУ ВО
«Кубанский ГАУ», профессор
С.М. Резниченко



АКТ

Об использовании результатов кандидатской диссертационной работы аспиранта Шишигина Игоря Николаевича в учебном процессе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет» 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 охладителя воздуха на основе элементов Пельтье для озонаторов в пчеловодстве», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в учебном процессе на факультете энергетики.

Комиссия установила, что материалы диссертационной работы Шишигина И.Н. 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: Шевченко А.А. Шевченко

Члены комиссии: Оськин С.В. Оськин

Стрижков И.Г. Стрижков

НОВАЯ НАУКА
Международный центр
научного партнерства



NEW SCIENCE
International Center
for Scientific Partnership

СЕРТИФИКАТ

настоящим удостоверяется, что

**Шишигин
Игорь Николаевич**

аспирант

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

принял(а) участие
во II Международной научно-практической конференции

**SCIENCE AND TECHNOLOGY
RESEARCH - 2023**

6 апреля 2023 г.
Российская Федерация
г. Петрозаводск



Директор
МЦНП «НОВАЯ НАУКА»
И.И. Ивановская

