

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт пчеловодства»

На правах рукописи

ЛАПЫНИНА ЕЛЕНА ПЕТРОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА
СОДЕРЖАНИЯ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ С УЧЕТОМ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ЗИМОВКИ**

06.02.10 – частная зоотехния,
технология производства продуктов животноводства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель
кандидат сельскохозяйственных наук
Касьянов Анатолий Иванович

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ.....	4
2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	8
2.1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	8
2.1.1 Тепловой режим медоносных пчел.....	8
2.1.2 Температурный режим пчелиного клуба.....	16
2.1.3 Регуляция температуры пчелиного клуба.....	21
2.1.4 Факторы, влияющие на термогенез пчелиной семьи.....	30
2.1.5 Теплоизоляция гнезда пчелиной семьи.....	32
2.1.6 Методы регистрации энергетических затрат.....	37
2.2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	42
2.2.1 Микрокалориметрирование изолированных особей.....	43
2.2.2 Методика измерения тепловыделения пчелиной семьи.....	48
2.2.3 Методика определения теплоизоляционных свойств гнезда пчелиной семьи.....	57
2.3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	69
2.3.1 Термогенез изолированных особей пчел.....	69
2.3.2 Термогенез отдельной особи в пчелином клубе.....	73
2.3.3 Термогенез пчелиной семьи в зимний период.....	81
2.3.4 Теплофизические основы формирования теплового режима пчелиного клуба пчел.....	91
2.3.5 Критерий равномерности температурного поля пчелиного клуба.....	99
2.3.6 Теплозащитные свойства гнезда пчелиной семьи.....	108

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
3.1 ВЫВОДЫ.....	123
3.2 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126

1 ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Зимовка является наиболее тяжелым периодом в жизнедеятельности пчелиных семей. Гибель и ослабление пчелиных семей во время зимовки наносит значительный ущерб для пчеловодов.

Не всегда доподлинно известно, что приводит к преждевременной гибели отдельных особей пчелиной семьи: физиологическое состояние или локальные условия, в которых они находятся, и как эти условия влияют на их физиологические проявления.

Обобщенным показателем, характеризующим данные проявления, является уровень обмена веществ. Показателем интенсивности обменных процессов в живом организме может являться тепловыделение. Продуцирование тепла отдельной пчелой меняется в зависимости от условий, в которых она находится. На данный показатель оказывает влияние множество факторов. Главный из них - окружающая пчелу температура.

Известна реакция изолированных особей медоносных пчел на изменение температуры внешней среды. С повышением внешней температуры термогенез пчелы, находящейся в активном состоянии, падает, а в пассивном – растет.

Однако, как ведет себя и в каком состоянии находится особь в условиях пчелиного клуба, когда внутри сообщества пчел температура меняется от 36 до 10 °С вопрос остается открытым.

В осенний период на понижение внешней температуры пчелиная семья реагирует снижением уровня термогенеза, но это происходит в определенном диапазоне температур до 8-10 °С, дальнейшее снижение температуры вызывает увеличение уровня термогенеза пчелиной семьи (А.И. Касьянов, 2008).

В опубликованных литературных источниках по вопросу регуляции температурного режима у пчел существует две концепции: концепция «суперорганизма» и гипотеза «отдельной рабочей пчелы» M.L. Winston (1987).

В соответствии с концепцией «суперорганизма» отдельные пчелы приспособливают свои потребности к некой координирующей реакции, действующей на уровне семьи в целом (Phillips, Soutwick, Mugaas, 1971).

Согласно гипотезе «отдельной пчелы» каждая особь пчелиной семьи функционирует индивидуально, поддерживая температуру тела в соответствии со своими физиологическими особенностями и окружающими ее локальными условиями, а температурный режим всей семьи является суммой поведений отдельных особей (Линдауэр, 1960; Heussner, Stussi, 1964; Roth, 1965; Кипятков 1991).

Имеется множество работ, посвященных изучению температурного режима пчелиного клуба. Хорошо изучена его топография, распределение температурных полей внутри клуба (А. Büdel (1953, 1958), Т.С. Жданова (1958, 1963), С.Д. Owens (1971)).

Работ, посвященных раскрытию процесса формирования теплового режима, воздействия температурных полей на пчел, очень мало.

Поэтому исследование теплофизических свойств пчелиных семей, процесса формирования пчелиного клуба, разработка новых методов измерения термогенеза пчелиных семей и термогенеза отдельных пчел представляется актуальным при совершенствовании технологии содержания пчел в зимний период.

Цели и задачи исследований: Целью проводимых исследований являлось изучение теплофизических основ формирования пчелиного клуба, динамики термогенеза пчел, условий стационарности температурного поля внутри клуба. В связи с этим перед нами были поставлены следующие задачи:

1. Изучить динамику термогенеза отдельно взятых пчел.
2. Исследовать динамику термогенеза пчелиных семей в зимний период.
3. Провести сравнительную оценку термогенеза семей, зимующих на воле и в помещении.
4. Изучить теплоизоляционные свойства гнезда.

Научная новизна. В результате проведенных исследований дано обоснование процесса формирования пчелиного клуба, обусловленного теплофизическими процессами, происходящими в пчелиной семье. Изучено поведение и энергетика отдельно взятой особи в пчелином клубе. Проведено сравнительное испытание способов зимовки пчел на воле и в заглубленном зимовнике. Определены среднеобъемная температура незанятой клубом части гнезда пчелиной семьи, тепловое сопротивление основных элементов гнезда: пустых сотов, сотов с кормовыми запасами, холстика, утеплителей.

Теоретическая и практическая значимость исследований. Расчетно-аналитическими методами определена масса пчелиной семьи, при которой наблюдается равномерность температурного поля внутри клуба. Показана необходимость своевременного обновления пчелиных сотов в гнезде. Определена наиболее оптимальная температура для зимнего содержания пчел. Результаты исследования послужили основой для разработки методики контроля термогенеза пчелиных семей и научно обоснованного регламента содержания пчелиных семей в зимний период.

Методология и методы исследований. При проведении теоретических расчетно-аналитических исследований использовались общеизвестные законы физики, теплотехники и математики. Экспериментальные исследования выполнены с использованием современного оборудования, а также установок и приборов специально изготовленных нами для решения поставленных задач.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Результаты исследования термогенеза изолированных особей пчел.
- Результаты исследования термогенеза пчелиных семей.
- Обоснование процесса формирования пчелиного клуба на основе происходящих в нем процессов теплообмена.
- Результаты исследования теплоизоляционных качеств сотов.

Апробация работы. Основные результаты исследования доложены и представлены на заседаниях ученого совета ФГБНУ «НИИ пчеловодства»,

на Международной научно-практической конференции «Инновации в пчеловодстве» (Адлер, 2008), на I региональном итоговом молодежном научно-инновационном конкурсе «У.М.Н.И.К» (Рязань, 2010), на Международной научно-практической конференции «Современное пчеловодство. Проблемы, опыт, новые технологии» (Ярославль, 2010 г), на Международной конференции «Пчеловодство – XXI век» (Москва, 2010), на Международной научно-практической конференции «Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы», (Рязань, 2014), на Международной научно-практической конференции «Современные проблемы пчеловодства и пути их решения» (Москва, 2016).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, предложений производству, списка литературы. Объем работы составляет 138 страниц машинописного текста, включает 22 таблицы, 38 рисунков. Список литературы включает 145 наименования, в том числе 45 работ иностранных авторов.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

2.1.1 Тепловой режим медоносных пчел

Пчелы, как и другие пойкилотермные животные, способны изменять температуру своего тела в ответ на изменение температуры окружающей среды. Это возможно благодаря наличию особого механизма термогенеза.

Разность между температурой тела летающих пчел и среды составляет 9°C при температуре окружающего воздуха 10°C , с увеличением температуры окружающего воздуха до 34°C эта разница уменьшается до 1°C . Это говорит о способности пчел регулировать температуру своего тела в некоторых пределах. Как отмечают многие исследователи, механизм продуцирования тепла у пчел основан, главным образом, на мышечной активности грудного отдела (D. Burkhardt, 1954; Н. Esch, 1960; M. Roth, 1965; Е.К. Еськов, 1981; А. Stabentheiner, 2010).

В работах D. Burkhardt (1954), Н. Esch (1960), M. Roth (1965) показано, что выделение тепла пчелами происходит не за счет их движений, а за счет невидимых микровибраций мышц торакса.

D. Burkhardt (1954), измеряя температуру торакса пчелы термоэлементом, который одновременно являлся электродом для съема электрического потенциала, установил, что в результате мышечной активности груди генерируется электрический ток. Исходя из этого, он сделал вывод, что микровибрации мышц груди у пчел приводят к выделению тепла.

Н. Esch (1960) подтвердил предположение, что источником тепла у пчел является торакс, показав, что температура торакса уравнивается с температурой брюшка только в состоянии покоя, в остальных случаях она на $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$ выше.

М. Roth (1965) после проведения опытов с использованием калориметров Бертелло и Кальве определил, что тепловыделение пчел, помещенных в камеру с температурами ниже предпочитаемых тепловых условий, осуществляется без видимых движений за счет микровибраций мышц торакса. Что также подтверждает выводы D. Burkhardt (1954).

Разогрев пчелы начинается с подъема температуры груди. В процессе разогрева и после его окончания температура груди выше, чем брюшка (Е.К. Еськов, 1991; A. Stabentheiner, 2010).

Температура тела пчелы, готовящейся к полету, повышается в основном за счет работы грудной мускулатуры. Скорость разогрева пчелы, готовящейся к полету, составляет 2 °С в минуту, при температуре среды около 18 °С температура груди пчелы перед взлетом от улья поднимается до 33—36°С, в то время как температура брюшка изменяется примерно на 2°С и достигает 21—22 °С (Н. Esch, 1960).

Как отмечает В.И. Коришев (2010), теплогенерация пчел связана не только с полетом или какой-либо двигательной активностью. Отсутствие видимых движений у пчел не говорит о состоянии покоя. Многие исследователи отмечают большое тепловыделение у особей, находящихся в неподвижном состоянии. У неподвижных пчел также может происходить подъем температуры груди. В этом случае тепло образуется в результате микроколебаний летных мышц непрямого действия. Роль летательных мышц непрямого действия в генерации тепла доказали Н. Esch и F. Gollet (1964). В своих опытах они установили, что выделение тепла сопровождается генерацией потенциалов действия. С увеличением частоты их следования происходит подъем температуры груди. При частоте следования потенциалов до 10 Гц процесс тепловыделения не сопровождается вибрациями экзоскелета груди. Вибрации груди, приводящие крылья в колебательные движения и значительно повышающее температуру груди наблюдаются при частоте следования потенциалов действия выше 10 Гц.

Для полета, термогенеза, звуковых сигналов, колебаний крыльями с

высокой частотой во время вентиляции гнезда пчелы используют две группы больших летных мышц непрямого действия: dorso-ventral и dorso-longitudinal (Himmer, 1927, 1932; Esch, 1975; Heinrich, 1980).

Если температура грудного отдела ниже, чем требуется для полета, летные мышцы находятся в состоянии длительного сокращения (тетанус), которое сопровождается дрожью, появлением звукового сигнала с последующим дрожанием крыльев (Esch, Goller, 1991).

Для поддержания состояния тетануса требуется большой непрерывный гидролиз молекул АТФ, в результате которого освобождается большое количество энергии. Часть этой энергии рассеивается, в результате чего повышается температура мышц. Длительное состояние тетануса невозможно, быстро наступает его частичное снижение, сопровождающееся появлением дрожи в мышцах и последующим расслаблением (Маршаков, 2008).

При сокращении мышц происходит превращение химической энергии в механическую работу. В состав мышц входит актомиозин, сложный белок, который обладает сократительными свойствами, а также способен катализировать гидролиз аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). АТФ служит источником энергии для множества биохимических и физиологических процессов. Дефосфорилирование АТФ, когда при гидролизе происходит отщепление от нее остатка фосфорной кислоты, сопровождается выделением химической энергии. Данная энергия используется мышцей для сокращения. Актинин изменяет свои физические свойства и этим осуществляет сократительную функцию. После чего молекула АТФ восстанавливается за счет фосфорной кислоты, получаемой при разложении аргининфосфорной кислоты, входящей в мышечную ткань насекомого (Бей-Биенко, 1980; Маршаков, 2008; Askew, 2010). Таким образом, за счет окислительного фосфорилирования в митохондриях и расщепления АТФ в фибриллах осуществляется выделение тепла.

Разогрев тела пчелы возможен также за счет поглощения ее покровами тепловой энергии, в том числе солнечной. Установлено, что у летающих пчел,

при температуре 32-34 °С температура тела на 4° С выше, чем у пчел, летающих в тени (Е. Шульз-Лангер, 1958).

Основным теплоносителем в теле пчелы является гемолимфа. Посредством гемолимфы тепло от более нагретых частей тела пчелы переносится к менее нагретым. По данным В.И. Коришева (2010), масса гемолимфы составляет от 8 до 11% от массы тела пчелы. Общая масса гемолимфы пчелиной семьи массой 3 кг составляет 240–300 г. Теплоемкость гемолимфы близка к теплоемкости воды, а теплоемкость элементов, составляющих тело пчелы, на порядок меньше. Следовательно, примерно 50% тепловой энергии заключено в гемолимфе. Удельная теплоемкость свободной воды 4,2 кДж/(кг. К), а удельная теплоемкость связанной воды 2,94 кДж/(кг. К) (В.И. Коришев, 2010).

Таким образом, из приведенного обзора видно, что термогенез можно подразделить на управляемый и неуправляемый. При управляемом термогенезе происходит поддержание температуры груди пчелы на определенном уровне для определенных процессов жизнедеятельности: полета, поддержания необходимой температуры в расплодной зоне гнезда пчелиной семьи, вентиляции и других процессов. В этом случае процесс генерации тепла носит прерывистый характер. При неуправляемом термогенезе выделение тепла не связано с функцией терморегуляции и является результатом обменных процессов, протекающих в организме.

Поскольку медоносные пчелы пойкилотермные насекомые, они не имеют постоянной температуры тела. По данным G.Pirsch (1923), пчела может существовать в интервале температур от 14 до 39 °С.

Е.К.Еськов (1983) также полагает, что комфортный диапазон температур тела пчелы расположен в пределах от 13,9 °С, при которой она остается живой, до 38 °С, подходящей для длительной активной жизни. Оптимальная температура тела пчелы в покое зависит от ее возраста и находится в пределах 23-28 °С. А. Stabentheiner (2010) отмечает, что молодые пчелы предпочитают более высокую температуру, чем старые, что влияет на их месторасположение в гнезде.

Н. Неган (1952) считает комфортной для пчел температуру 35-36 °С. Однако, как показывают Р. Lavie и М. Roth (1953), пчелы могут спокойно относиться к недостаточно комфортной температуре, если она обеспечивает им процесс нормального пищеварения.

Как показал Линдауэр (1960), поведение пчел определяется внешней температурой. При 30 °С пчелы активно двигаются, потребление кислорода при этом составляет 1,13-1,15 мл/пчелу в час, при 20 °С большинство из них неподвижны, потребление кислорода составляет 2,25-2,45 мл/пчелу в час, а зону с температурой ниже 13 °С они покидают.

В процессе жизнедеятельности пчелы создают определенный микроклимат своего гнезда. Так как пчелы пойкилотермные животные и не имеют постоянной температуры тела, данный микроклимат оказывает на них влияние (Р. Шовен, 1960).

Если температура понижается, пчелы впадают в оцепенение, при увеличении температуры они, как и все насекомые, начинают двигаться. Однако, пчелы относятся к животным с развитой поведенческой терморегуляцией. Данная терморегуляция является одним из определяющих факторов в их переходе к общественному образу жизни.

Такая регуляция выражается в виде поиска температуры внешней среды, которая обеспечивает им оптимальные условия жизнедеятельности.

В ответ на изменение внешних условий происходит изменение продуцирование тепла и теплоотдачи пчелами. Эффективность отдачи тепла зависит от разности между температурами тела пчелы и окружающей средой. На интенсивность отдачи тепла влияют скорость воздушного потока и его влажность. Чем выше скорость движения воздуха и ниже его влажность, тем выше теплоотдача тела пчелы (Е.К. Еськов, 1991; Kleinhenzetal., 2003).

Теплоотдача прямо пропорциональна площади поверхности и температуре тела пчелы. Изменяя температуру тела в пределах комфортного диапазона и переходя из активного в менее активное состояние, пчелы способны регулировать количество выделяемого тепла.

Другой способ регуляции теплоотдачи – это изменение площади поверхности тела за счет изменения объема брюшка. Меняя частоту и глубину дыхания пчелы при нагревании способны увеличивать брюшко, а при охлаждении — уменьшать.

Теплоотдача также связана с испарением метаболической воды, которая выделяется дыхальцами. Чем выше частота дыхания пчелы, тем больше теплоотдача, особенно если пчела расходует значительное количество корма в полете. Значение этой составляющей не превышает 10 % от общей суммы теплотерь (Esch, 1964).

Также на регуляцию температуры тела пчелы влияет ее способность изменять интенсивность обмена веществ. По данным Алпатова (1930), отношение между минимальными максимальным объемом составляет 1:140. Однако чтобы удержать минимальную эффективную температуру тела такой теплоотдачи в зимний период недостаточно. Поэтому пчелам приходится собираться в клуб.

В летний период решающую роль в поддержании нормальной жизнедеятельности играют повышение температуры тела в пределах комфортного диапазона, усиление циркуляции гемолимфы и дыхания, а также снижение клеточного метаболизма (Корж, 2008; Е.К.Еськов, 2009).

Таким образом, медоносные пчелы приспособлены больше к защите от перегрева, чем от охлаждения.

В зависимости от температуры происходят изменения морфологических признаков у пчел. У пчел, развившихся при относительно высокой температуре, уменьшаются размеры и масса тела. Кроме того при перегреве гнезда ухудшается трофическое обеспечение личинок (М.Д. Еськова, 2010).

Холодовое оцепенение представляет меньшую угрозу для жизни пчел. При понижении внешней температуры ниже определенного значения (порога холодового оцепенения) пчелы, которые не могут переместиться в зону с более благоприятной температурой, впадают в холодовое оцепенение.

Оно выражается в приостановках локомоций, сердечной, пищеварительной и дыхательной функций. Порог холодого оцепенения у пчел по наблюдениям G. Pirsch (1923), составляет 12,9°C; по L. Armbruster (1923) - 13,9°C; А. Беттс (1929) - 12,8°C; Е.К.Еськова (1992) - 13,5°C.

Время наступления холодого комы зависит от условий охлаждения пчелы. При температуре (13,5±0,1)°C оцепенение наступает в среднем через 30 мин. Понижение температуры ускоряет процесс оцепенения. При 9°C пчелы оцепенеют в среднем через 9,6 мин. При 0 – через 7 мин (Е.К.Еськов,1995).

В состоянии оцепенения метаболизм пчелы резко снижается, но полностью не исчезает. Если пчелы не имеют возможности потреблять запасы медовых зобиков, оцепеневшие особи погибают в течение 2-3 дней.

Продолжительность жизни в состоянии холодого оцепенения не одинаковая, на нее оказывает влияние физиологическое состояние пчел и температура охлаждения. При 10°C пчелы сохраняют жизнеспособность в течение 65±17 ч и погибают после потребления корма, находящегося в медовом зобике. (Калабухов,1933). При 0°C продолжительность их жизни сокращается в 1,2, а при -5 °C – в 14,4 раза. (Еськов, 2013).

При температуре ниже +4°C прекращается всасывание в кишечнике и несмотря на то, что в зобике еще имеется корм, пчела погибает после потребления глюкозы в гемолимфе (Калабухов, 1933).

Охлаждение при относительно высокой температуре приводит к неглубокому оцепенению. Пчелы, оцепеневшие при 13,5°C, способны реагировать движениями ног и брюшка в ответ на прикосновение.

Как отмечает Е.К. Еськов (2007) характер холодого оцепенения при одинаковой температуре отличается у пчел разных пород, а также зависит от возраста пчел и насыщения лимфы углеводами. В начале имагинальной стадии (2±1-дневные) при 0°C серые горные кавказские пчелы оцепенеют в среднем за 3,8 мин, среднерусские — за 3,5 мин.

В 17-35-дневном возрасте это время возрастает в 1,8 и 1,9 раза соответственно. Уменьшение насыщения гемолимфы углеводами, сокращает время, необходимое для оцепенения. Пчелы, в зобиках которых содержится около 20 мг углеводного корма, при $(13,5 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ оцепенеют за 29,7 мин, а голодные — за 9,0 мин. Устойчивость к замерзанию повышается от весны к началу зимы. У пчел весенне-летних генераций температура замерзания составляет $1,5 \dots -8^\circ\text{C}$, к началу зимы она опускается до $-9 \dots -16^\circ\text{C}$. Температура замерзания зависит от экологической ситуации и физиологического состояния пчел. Устойчивость к замерзанию понижается при голодании, потреблении низкоконцентрированного углеводного корма и не зависит от наполнения медового зобика пчел (Еськов, 2007).

Температура отдельной особи пчелы в спокойном состоянии в пределах комфортного диапазона температур практически линейно зависит от окружающей температуры (Pirsch, 1923).

Наиболее высокая температура, при которой возможно существование пчелы составляет $46-47^\circ\text{C}$ (Brunnich, 1922; Pirsch, 1923). Верхняя граница для изолированных особей находится на уровне 55°C . При такой температуре в естественной воздушной среде при относительно низкой влажности воздуха (15-20%) пчелы выживают в течение (31 ± 8) мин. При 50°C продолжительность их жизни повышается в 3 раза, при 45°C — в 10 раз (Еськов, 1995).

Температура тела пчелы неодинакова, грудь и голова имеют температуру несколько выше, чем брюшко. При разогреве эта разница может колебаться от 1 до 14°C , в зависимости от температуры окружающего воздуха.

Термогенез изолированных пчел составляет 0,1-0,98 кал/мин на пчелу (M.Roth, 1965). Выделение тепла также неоднородно и зависит от возраста, физиологических и экологических условий. Только что вышедшая из ячейки пчела выделяет в среднем 0,05 кал/мин теплоты, у двухдневной пчелы тепловыделение составляет 0,28 кал/мин.

В зимний период тепловыделение слабее и составляет в среднем 0,11 кал/мин. На интенсивность термогенеза пчел влияет температура окружающей среды (А.Неуснер, Т.Стусси, 1964; М.Рот, 1965). В дневное время чем комфортнее температура окружающей среды, тем меньше выделяется тепла в единицу времени. При понижении температуры тепловыделение пчел возрастает. В ночное время с понижением температуры окружающей среды уменьшается тепловыделение. Количество тепла, генерируемого в ночное время, в 10 раз меньше, чем днем. Таким образом, пчелы в ночной период ведут себя как холоднокровные и как гомойотермные - в дневной период (М.Рот, 1965).

Т.Стусси (1972) обнаружил, что в расходовании энергии отдельными пчелами наблюдается определенная ритмичность. У пчел, постоянно содержащихся в темноте наблюдается незначительно выраженная периодичность в изменении метаболизма через определенные промежутки времени. В нормальных условиях чередования дня и ночи у пчел устанавливается характерная ритмичность в расходовании энергии.

2.1.2 Температурный режим пчелиного клуба

Пчелиная семья действует как единый организм и старается поддерживать в гнезде определенные для каждого периода жизнедеятельности температуру, влажность и газовый состав воздуха, создавая тем самым особый микроклимат своего жилища (Лебедев, Кривцов, 1999; Касьянов 2003 и др.).

Изучением теплового режима в пчелиной семье занимались многие ученые. Первым, кто попытался определить температуру в пчелиных семьях был Р.А.Ф. Реамур. Он с помощью изобретенного им термометра, определил температуру в пчелином клубе, которая составила 12-19°C. В дальнейшем многие исследователи пытались определить температуру пчелиного клуба зимой. По-

лученные ими результаты были противоречивые. С использованием в практике измерений термопар и других малогабаритных датчиков появилась возможность проводить непрерывные наблюдения за температурой во многих точках гнезда пчелиной семьи.

Температура в разных частях пчелиного клуба неодинакова, также как и поведение пчел в нем. В центре, где температура наиболее высокая, пчелы находятся в активном состоянии, ближе к поверхности в пассивном. На основе этого E.F.Phillips и G.S.Demuth (1914) высказали гипотезу, согласно которой пчелиный клуб состоит из теплового центра, где пчелы за счет движений вырабатывают тепло, и оболочки из плотно сидящих особей, своими телами защищающих это тепло от потерь.

Изучением температурного режима пчелиных семей занимались многие отечественные и зарубежные исследователи: R.D. Milner, G.S. Demuth (1921), W.E. Dunham (1933), C.L. Corkins (1932), А.С. Михайлов (1926), А.С. Солодовников (1947) и др.

Наиболее полное представление о температурном режиме дали A.Büdel (1953, 1958), Т.С. Жданова (1958, 1963), Т.С. Жданова и др. (1967), C.D.Owens (1971), которые установили топографию температурного поля семьи и, в частности, ее зимнего клуба. В результате их исследований было установлено, что в семье всегда имеется небольшая область с температурой 30 °С. По направлению к поверхности температура постепенно падает до 10-12 °С. За пределами клуба отмечается температура, близкая к температуре наружного воздуха. Это поле непостоянно как во времени, так и в пространстве.

В осенний период после прекращения выращивания расплода температура в гнезде пчелиной семьи снижается, сокращается зона с относительно стабильной температурой. В центре гнезда температура поддерживается на уровне 28 °С. В этой зоне происходит формирование пчелиного клуба. Начиная с 20-16 °С пчелы образуют небольшие временные скопления на сотах с кормом. По мере понижения температуры до уровня, стимулирующего холодное оцепенение, активность агрегирования пчел

возрастает (В.А. Тобоев, 2008). Мелкие группы пчел постепенно объединяются, образуя единый клуб, в составе которого пчелы способны противостоять самым низким температурам вплоть до -80°C (R.F.Moritz, E.E. Soutwick, 1992). Однако при этом энергозатраты на обогрев семьи поднимаются с 10 Вт/кг при 0°C до 55 Вт/кг при -80°C .

Пчелы начинают образовывать клуб при внешней температуре ниже $7-13^{\circ}\text{C}$ в зависимости от состояния семьи (Т. С. Жданова, 1958; Г. Ф. Таранов, 1968; М.В. Жеребкин, 1979; Е.К. Еськов, 1983; E.E.Southwick, 1987; T.D. Seeley, 1991; А.Е. Хомутов 2010). В слабых семьях клуб образуется при температуре 13°C в средних - при 7°C , а в сильных - при 5°C (О.С. Львов, 1957). По данным А.Е. Хомутова (2010), устойчивый зимний клуб окончательно формируется при температуре наружного воздуха -10°C потепление сопровождается диффузией пчелиного клуба.

При образовании клуба прослеживается согласованность в реагировании отдельных пчел на понижение температуры, направленное на поддержание стабильной и достаточно высокой температуры ($24-32^{\circ}\text{C}$) в определенной зоне гнезда, называемой тепловым центром. На периферии гнезда температура практически соответствует внешней, превышая ее на $5-6^{\circ}\text{C}$ (Еськов, 1995; Касьянов, 2003; Липатов, 2012).

А. Аветисян (1982) отметил, что в сильных пчелиных семьях в период зимнего покоя до появления расплода держится более низкая температура — около $15-20^{\circ}\text{C}$, а с появлением расплода к концу зимовки внутри гнезда она повышается до $34-35^{\circ}\text{C}$.

Образование пчелиного клуба является одной из адаптаций к низким температурам в зимний период времени. Пчелиный клуб состоит из нескольких десятков тысяч особей, образующих сложную структуру, постоянно изменяющуюся под воздействием внешней, гнездовой и внутриклубовой температуры. При этом он ведет себя как целостный организм, несмотря на то, что состоит из множества организмов, имеющих самостоятельные системы терморегуляции и температурные константы (Семененко, 1989).

Функцией пчелиного клуба является взаимный обогрев составляющих его особей, снижение общих теплопотерь и соответственно уменьшение потребления кормовых запасов. Расчеты В.Я. Мастяева (2009) показывают, что относительные потери тепла клубом в 40 раз меньше, чем у одинокой пчелы, так как он имеет намного меньшую удельную площадь наружной поверхности по сравнению с одинокими пчелами. Теплопотери клуба во внешнее пространство улья сравнительно малы.

По данным В.И. Лебедева, Н.Г. Билаш (1991), пчелы, объединенные в клуб, уменьшают теплопотери в 9 раз, а потребление корма в период зимнего покоя снижается в 20-25 раз по сравнению с расходом корма одиночной пчелой за то же время. Обмен веществ и расход энергии в зимнем клубе в 250-300 раз меньше, чем в активный период жизни пчел.

В опытах И.А. Калабухова (1934) отдельные пчелы потребляли за сутки 22-57 мг глюкозы, в то время как в группе пчелы потребляли от 11 до 17 мг на одну особь. Сокращение расхода кормов в группе пчел отмечают Н.М. Глушков (1947), Г.Ф. Таранов (1950), В.А. Тобоев (2006) и другие исследователи.

М.Рoth (1965) установил, что групповой эффект проявляется уже в группе из двух пчел. По мере увеличения количества пчел в группе, ее температура повышается, постепенно приближаясь к оптимальной и это способствует сокращению потребления корма. Тепловыделение, приходящееся на одну особь, в небольших группах (до 15-20 пчел) колеблется от 0,1 до 0,98 кал/ч на пчелу. В группе, превышающей 15 пчел, это тепловыделение более стабильно и составляет в среднем 0,20-0,28 кал/ч на пчелу. По мере увеличения числа особей в группе наблюдается снижение тепловыделения, приходящееся на одну особь в единицу времени. При этом тепловыделение зависит от разности предпочитаемой температуры и температуры окружающей среды.

У агрегирующих пчел энергетические затраты на обеспечение процессов жизнедеятельности наименьшие при внешней температуре от -3,0 до +8,8 °С.

Суммарный поток тепла с поверхности пчелиного клуба, расположенного в межсотовых пространствах, зависит от его площади и внешней температуры (Еськов, Тобоев, 2008), Как отмечает С.В. Оськин (2015), потери тепла гнездом пчелиной семьи линейно зависят от температуры окружающей среды. С увеличением температуры наружного воздуха с -15 до 8 °С тепловые потери уменьшаются с 4 до 0,2-0,4 Вт.

Пчелиный клуб по форме напоминает эллипсоид, рассеченный вертикальными рядами сотов, внешняя его оболочка состоит из слоев тесно сидящих пчел, занимающих промежутки между сотами, они образует его корку. Ее толщина колеблется от 2 до 12 см в различных местах, на что влияет многие факторы: степень охлаждения и схема вентиляции, место расположения летков, размер сотовой рамки, ширина и высота гнезда пчелиной семьи, а также теплоизоляционные свойства стенок улья. Внутри клуба пчелы размещены более свободно и заполняют большую часть пустых ячеек. Клуб расположен на сотах таким образом, что захватывает своей верхней частью медовые запасы. Из-за того, что он имеет особую структуру и совершенный механизм регуляции, температура внутри него колеблется в осенне-зимний период от 20 до 30 °С, а с появлением расплода (в его пределах) — $33,5$ - $35,5$ °С, на поверхности клуба — от 8 до $13,9$ °С. (Жданова, 1958; Михайлов, 1964; Таранов, 1968; Делианиди, 1969; Котова, 1970; Гайдар и др., 1994; В.А. Тобоев, 2008).

Данные, полученные Хомутовым А.Е., Ягиным В.В., Филатовым Д.В. (2010), говорят о том, что независимо от понижения температуры окружающего воздуха на поверхности клуба она постоянно поддерживается 8 °С независимо от степени охлаждения. Таким образом, в отличие от одиночной пчелы клуб может поддерживать постоянную температуру на поверхности. Внутри клуба она меняется и повышается от периферии к центру.

Распределение температур в пчелином клубе зависит от размещения пчел на сотах. Когда в гнезде отсутствует расплод, наиболее высокая температура наблюдается в межрамочных пространствах теплового центра, где находится

матка. На разогрев теплового центра влияет количество пчел в клубе, их физиологическое состояние, уровень активности и внешняя температура (В.Ю. Липатов, 2012). Внешняя температура является доминирующим фактором, определяющим активность пчел. С повышением внешней температуры происходит активизация метаболизма у отдельных пчел, что влияет на интенсивность тепловыделения (Корж А.П., Кирюшин, 2010).

При поддержании температуры внутри клуба у пчел возникают определенные энергетические затраты. Любая пчела внутри клуба может находиться в трех состояниях: покоя, активной термогенерации и неглубокого оцепенения. Это зависит от ее местоположения и функциональных возможностей. Чтобы минимизировать энергетические затраты пчела должна находиться в таком температурном режиме, который обеспечивает минимальную активность и максимальную продолжительность периода оцепенения. Но пчелы не способны долго пребывать в оцепенении, при незначительном увеличении температуры, они стараются передвигаться по температурному градиенту, выходя из состояния оцепенения (Е.К. Еськов, В.А. Тобоев, 2008).

Клуб захватывает в верхней части ячейки с медом, а в нижней — пустые ячейки. Основная масса пчел клуба (64 %) размещена на участках сота, свободных от меда. При этом приблизительно 58 % из них находятся внутри пустых ячеек только в той части клуба, где температура ниже 25 °С. Пустые ячейки, которые находятся в зоне клуба с температурой выше 25 °С, пчелы не занимают. Это связано с тем, что теплообразование пчел, находящихся в ячейках, совпадает с количеством тепла, выделяемого в результате основного обмена, который происходит при температуре 20-25 °С (Таранов Г.Ф., 1961).

2.1.3 Регуляция температуры пчелиного клуба

Механизм терморегуляции пчелиной семьи представляет совокупность сложных процессов, которые выполняют рабочие особи. При этом пчелы прибегают к различным средствам в зависимости от повышения или

понижения температуры среды по отношению к оптимальной (Касьянов, 2003; Еськов, 2008; Дробышев, 2014 и др.).

В основе терморегуляции клуба также как и у отдельной пчелы, находятся два разнонаправленных процесса: теплопродукция и потери тепла.

Количество выработанного тепла зависит от объема пчелиного клуба, а количество тепла, которое ушло в окружающую среду, зависит от площади его поверхности. Таким образом, чем меньше отношение поверхности клуба к объему, тем меньше потери тепла.

При понижении внешней температуры пчелиный клуб уплотняется, его пористость уменьшается. По наблюдениям С.Д.Оуэнс (1971), в результате снижения температуры с +18 до -10 °С объем клуба уменьшается в 5 раз. Это минимизирует в нем конвективные потоки, а за счет того, что уменьшается внешняя поверхность, сокращается рассеивание тепла в окружающую среду, в то время как интенсивность обмена веществ в организме пчел усиливается. При повышении температуры метаболизм пчел понижается, а отдача тепла увеличивается вследствие расширения клуба, вплоть до его распада (Т. С. Жданова, 1958).

Е.К. Еськов, В.А. Тобоев (2009) в своих исследованиях установили, что при снижении температуры внешней среды теплоотдача скопления пчел увеличивается. При этом существует оптимальный интервал температур, в пределах которого теплоотдача держится на минимальном уровне. Диапазон данного интервала определяется размером скопления. Для группы из 550 пчел наиболее подходит внешняя температура от +8,7 °С до +10,4 °С. Чем больше пчел в группе, тем шире диапазон оптимальной температуры. Для группы из 4000 пчел он находится в пределах от +5,6 °С до +9,4 °С. Если температура внешней среды опускается ниже оптимальных границ, теплоотдача клуба возрастает, и пчелы начинают увеличивать теплопродукцию, чтобы компенсировать потери тепла.

Один из основных механизмов регулирования температуры в пчелином клубе осуществляется за счет его расширения-сжатия (C.L.Corkins, 1932; J.Simpson, 1961; C.D.Owens, 1971; В.Е.Савицкий, 1976 и др.).

Однако, как V.Hallund (1956), О.С.Львов (1957), В.С.Коптев (1959) показали, что данный механизм действует только на стадии формирования клуба. В семьях, имеющих среднюю силу при -5°C пчелы занимают почти все свободное пространство внутри клуба и их дальнейшее сжатие становится невозможно. Поддержание гомеостаза семьи в этом случае производится за счет увеличения уровня метаболизма.

В нуклеусах максимальное уплотнение наблюдается уже при $+10^{\circ}\text{C}$, в семьях средней силы - при 0°C , в сильных семьях – при -5°C (Львов, 1957).

По мере понижения температуры пчелиный клуб, достигнув максимального уплотнения, вынужден прибегать к увеличению выработки тепла, в результате чего растет температура в центре клуба. По данным Е.К. Еськова (2009) уровень теплопродукции определяется размерами скопления пчел. У группы из 550 пчел максимальная теплопродукция достигается уже при $-3,7^{\circ}\text{C}$, группы из 4000 пчел могут наращивать теплопродукцию, вплоть до $-21,8^{\circ}\text{C}$. Чем ниже температура окружающей среды, тем больше охлаждаются пчелы в периферической части скопления. Однако внутри клуба снижение температуры наружного воздуха ведет к росту температуры до тех пор, пока возможности увеличения теплопродукции не исчерпаны. Пчелы активно разогревают клуб изнутри, в результате чего в его центре температура повышается, а не падает.

Г.И. Харченко (1980) обнаружил, что при снижении температуры после того, как клуб полностью уплотнится, наступает его расширение. Клуб, достигнув наименьшего размера, при дальнейшем снижении температуры начинает расширяться. По мере понижения температуры клуб уплотняется и после максимального уплотнения он, чтобы согреться, вынужден прибегать к увеличению выработки тепла. В результате этого растет температура в центре. Однако температура в центре не может подниматься выше 36°C , это приводит к

расширению зимнего клуба пчел, что наблюдали ряд исследователей (Т.С. Жданова, 1963; Г.И. Харченко, 1980, А.И. Касьянов, 2007).

Такое расширение происходит путем выкучивания пчел на запечатанный мед, что наглядно показано в опытах В.С. Коптева (1959, таблица 1).

Тепло теплового центра к периферии и за пределы клуба передается тремя различными путями: теплопередачей, конвекционным и тепловым излучением.

Таблица 1 – Количество запечатанных ячеек, обсиживаемых пчелами (по В.С. Коптеву, 1959)

Масса пчелиной семьи	Общее количество ячеек под клубом, шт.	Из них заняты печатный медом	
		шт.	%
1,4	16056	4536	28,2
1,8	24406	6218	25,5
2,0	39204	12708	32,4
2,4	49392	22608	45,7
2,5	44820	22752	50,7
2,8	42228	17784	42,1

При низкой температуре внешней среды тепло передается в основном посредством теплопроводности и теплового излучения, так как в условиях сжатого пчелиного клуба конвекционные потоки очень малы (А.И. Касьянов, 2006). Теплопроводностью обладают все элементы гнезда пчелиной семьи: восковые соты, мёд, рамки, ограждающие конструкции, сами пчелы и воздух, который их окружает. Соты и мед обладают низкой теплопроводностью и высокими теплоизоляционными свойствами. Именно посредством теплопередачи пчелы нагревают мёд над клубом. На соседние соты и стенки улья посредством теплопередачи тепло не передаётся.

Явление теплопроводности возникает при наличии разности температур в разных точках объема. В общем случае количество тепла, передаваемого за счет явления теплопроводности, зависит от свойств среды, через которую этот процесс проходит. В случае зимнего клуба передача тепла от корки клуба происходит равномерно во все стороны через воздух. Как известно, неподвижный воздух является одним из лучших теплоизоляторов. Поэтому передача тепла от пчелиного клуба за счет явления теплопроводности через воздух незначительная.

Тепловое излучение возникает у любого тела, температура которого выше температуры абсолютного нуля. Чем выше температура корки клуба относительно температуры внешней среды, тем сильнее клуб излучает тепло. По мере понижения внешней температуры увеличивается мощность теплового излучения.

Так как тепловое излучение нагретого тела равнонаправленно, то распространение тепловой мощности при этом осуществляется в сфере объема пространства, следовательно, рассеиваемая мощность на нагрев пространства резко падает (обратно третьей степени расстояния) по направлению от источника теплового излучения. Поэтому нагрев внутриульевого пространства составляет всего несколько сантиметров пространства вокруг корки пчелиного клуба. В результате теплового излучения вокруг клуба образуется нагретая зона, за пределами которой температура практически не отличается от наружной.

При уменьшении толщины корки клуба увеличивается составляющая конвекции в теплообмене. Конвекция заключается в том, что нагретый источником тепла воздух, поднимется вверх в окружающем его более холодном воздухе. Из зимнего клуба пчел за счет конвекции теплый воздух поднимается вверх по всей поверхности кроме его нижней части. Это тепло направлено на поддержание теплой зоны в верхней части клуба.

Конвекция в улье сопровождается многими явлениями, учесть которые в полном объеме очень сложно. Подробное численное исследование тепловой конвекции с учетом теплового взаимодействия между соторамками улья и гео-

метрических параметров провели А.И. Гакашев, Е.Л. Тарунин (2008). Их расчеты показывают, что тепловая конвекция существенно влияет на распределение температуры в улье. Составляющая конвекции в общей теплопередаче существенным образом зависит от межрамочного расстояния – ширины улочки.

Посредством теплообмена происходит циркуляция воздуха и удаление продуктов жизнедеятельности, в замкнутый объём улья поступает свежий воздух.

При охлаждении увеличение плотности корки пчелиного клуба ограничено. Это связано с интенсивностью обмена веществ в организме пчел, увеличивается потребление кислорода и выделение углекислого газа и паров воды, а также сокращается общий просвет между пчелами в связи с уменьшением поверхности клуба. В результате этого периодическая активная вентиляция клуба может привести к тому, что плотность корки перестает увеличиваться, и может наоборот уменьшиться. Но это не приводит к резкому возрастанию теплопотерь, так как скорость движения воздуха у поверхности клуба очень мала. При этом температура воздуха внутри ближайшего к пчелам слоя остается постоянной и не подвержена колебаниям, поскольку корка обладает высокими теплоизоляционными свойствами (А. Бюдель, 1953).

В настоящее время существуют разные гипотезы, пытающиеся объяснить механизм терморегуляции в пчелиной семье. M.L.Winston (1987) подразделяет их на две группы: концепция суперорганизма и концепция отдельной пчелы

В соответствии с концепцией суперорганизма пчелиный клуб представляется как единый организм, несмотря на то что состоит из множества особей, имеющих самостоятельные системы терморегуляции и температурные константы; пчелиная семья представляется как суперорганизм, где рабочие особи подчиняют свои действия и потребности координирующей реакции семьи (Phillips, Soutwick, Mugaas, 1971).

Однако до настоящего времени не установлено, как осуществляется процесс управления этой системой и что является её регулятором.

Эту роль отводят расплоду или матке. Однако, как в безрасплодных,

так и в безматочных семьях наблюдается устойчивость температурного режима.

R.F.A.Moritz и E.E.Southwick (1992) описывают опыт, когда расплод располагался в одном секторе сота, а корм на том же соте, на некотором расстоянии. При этом пчел было недостаточно для обеспечения этих зон. При низких температурах пчелы, вынужденные выбирать между кормом в одной зоне и расплодом – в другой, выбирали зону с кормом, При выборе между зафиксированной на соте маткой и кормом получен тот же результат. Таким образом, ни расплод, ни матка не контролируют поведение пчел, связанное с обогревом гнезда.

В соответствии с концепцией «отдельной пчелы», поведение каждой особи соответствует локальным условиям гнезда, в которых она оказывается. Терморегуляция на уровне семьи в этом случае является суммарным поведением отдельных особей (Линдауэр, 1960; Heussner, Stussi, 1964; Roth, 1965; Кипятков 1991).

При понижении внешней температуры особи пчел мигрируют в наиболее нагретое место, где и образуется скопление. В сформировавшемся клубе каждая особь ведет себя в соответствии с локальными условиями, которые ее окружают. При температурах 20-36 °С пчелы активно двигаются. Когда температура опускается ниже 20 °С пчелы неподвижны, а зону с температурой ниже 13 °С они покидают, также как и зону, где температура выше 36 °С (М.Линдауэр, 1960).

Температура в пчелином клубе неодинакова. Центр клуба имеет температуру выше, чем поверхность, а температура поверхности выше, чем температура окружающей среды и может достичь такого значения, при котором пчелы переходят в активное состояние, но может и понизиться, тогда они становятся неподвижными и создают видимость «оболочки».

Если падение температуры продолжается – зона с неподвижно сидящими пчелами расширяется – создается видимость утолщения «оболочки». Неподвижность особи будет сохраняться до тех пор, пока она не израсходует весь

корм, но чтобы пополнить его, она вынуждена мигрировать в центр. А набрав его, остается в центре до тех пор, пока не будет вытеснена другими особями. Создается периодическая миграция особей в центр и из центра.

По данным Camazine (1991) биологические системы функционируют без внешнего управляющего воздействия или внутреннего регулятора. Они существуют благодаря механизму децентрализованного управления, согласно которому многочисленные подсистемы (отдельные особи пчел), входящие в состав системы, функционируют, используя лишь ограниченную, локальную информацию. При этом они тесно взаимодействуют между собой (Camazine, 1991; Seeley, Visscher, 2004).

В настоящее время гипотеза отдельной пчелы получила более широкое распространение. Установлено, что пчелы действуют на основе ограниченной информации, полученной с помощью собственных терморцепторов (Еськов, Тобоев, 2009).

Е.К. Еськов, В.А. Тобоев (2007) отмечают, что в скоплении зимующих пчел нет единого центрального механизма, который контролирует и регулирует внутригнездовую температуру. Каждая особь внутри пчелиного клуба в зависимости от местоположения и функциональных возможностей может находиться в неодинаковых условиях, в связи с этим их участие в терморегуляции занимаемого гнездового пространства различное. Пчелы в центре клуба имеют относительно постоянную температуру тела. Они не участвуют в активной термогенерации. Охлаждение нижней части клуба вызывает активное тепловыделение преимущественно посредством микровибраций крыловой мускулатуры пчел непрямого действия. Некоторая часть пчел, образующих периферическую часть клуба, может находиться в состоянии неглубокого холодового оцепенения.

Энергетическая нагрузка пчел клуба неодинакова. Она зависит от уровня их активного состояния. В опубликованных работах нет единого мнения о том, какие пчелы (пчелы теплового центра или корки) продуцируют больше тепла.

Одни авторы (Phillips, Demuth, 1914; Жданова, 1963) полагают, что все тепло для обогрева семьи вырабатывают пчелы, находящиеся в центре, они первыми реагируют на изменения внешних условий. При понижении температуры клуба интенсивность термогенеза возрастает, при повышении – уменьшается.

Однако Nimmer A. (1927) считает, что в тепловом центре клуба генерация тепла пчелами незначительна, а термогенез в корке возрастает по мере падения температуры гнезда. Первая реакция на изменение внешней температуры возникает у поверхностных пчел и затем передается к центру.

Также существует мнение, что в регулировании температуры клуба принимают участие все пчелы, как в центре, так и на его периферии. По теории Armbruster L. (1923), при понижении температуры клуба до критической (13,9 °C) пчелы начинают двигаться и поднимают ее до 25 °C. После этого они успокаиваются, температура понижается и как только доходит до критической, пчелы снова возбуждаются, и процесс повторяется. Этой же теории придерживается Г.Ф.Таранов (1961).

Теплообразование внутри клуба не бывает непрерывным. Активная стадия теплообразования чередуется с пассивным сохранением тепла. Если температура опускается ниже 14 °C, в семье начинается возбуждение, пчелы в центре начинают двигаться и тем самым увеличивать теплообразование. Эта теория также получила широкое распространение.

Однако А.С. Михайлов (1926) установил, что никакой закономерности в чередовании температур не наблюдается. Не нашла подтверждения теория Л. Армбрустера и в работах С.А. Розова (1955), С.L. Corkins (1932) и др.

Данные, полученные Н. Esch (1960), показывают, что температура тела пчелы как в центре гнезда, так и на его периферии всегда превышала окружающую. Таким образом, пчелы как в центре, так и на периферии являлись источниками тепла.

А.И. Касьянов (2004), Е.К. Еськов (2010) представляют зимний пчелиный клуб как ограниченный объем, внутри которого действуют источники метабо-

лического тепла, выделяемого отдельными особями. Мощность каждого из них невелика и зависит от температуры и места, в котором он находится. Пчелы, находящиеся в корке клуба активно вырабатывают тепло, посредством термогенеза, остальные пчелы клуба тепло выделяют пассивно и непроизвольно в результате обмена веществ.

Расчеты Комиссара А.Д. (1994) показывают, что половину зимы каждая пчела проводит при температуре выше 14 °С. При этом только незначительную часть времени (около 20 %) каждая пчела из зимнего клуба проводит при низких температурах, находясь во внешнем слое корки клуба.

Характерной особенностью всех подобных систем является повышение температуры в направлении к их центру (А.В. Лыков, 1967; С.И. Исаев и др., 1979). Уже при небольшой мощности тепловых источников температура в их центре может достичь большой величины.

Постоянная миграция пчел в теплую часть гнезда, а из нее на периферию и возможность увеличения метаболической активности при определенных температурах за счет микровибраций грудных мышц позволяют им адекватно реагировать на изменения внешней температуры, сохраняя пространственную структуру и поддерживая определенную температуру в различных зонах гнезда (Е.К. Еськов, В.А. Тобоев, 2008).

Благодаря постоянному перемещению пчел с периферии клуба скопления в его центре, разница температур в пределах скопления не становится слишком большой, и все пчелы находятся в равных условиях.

2.1.4 Факторы, влияющие на термогенез пчелиной семьи

Для выделения тепловой энергии пчелам необходимо получать энергию извне. Источником такой энергии является корм. При потреблении меда и его переработке пчелы выделяют воду, углекислоту и тепловую энергию. Энерговыделяющим компонентом меда является глюкоза. В 1 кг меда содержится 800 г глюкозы (Комиссар А.Д., 1994). В пчелином клубе при потреблении 1 кг меда

пчелы выделяют около 3 000 ккал тепловой энергии. Основная часть этой энергии расходуется на поддержание постоянства внутренней среды, часть энергии расходуется пчелами на испарение метаболической воды. Минимальное потребление глюкозы пчелами сильных семей в идеальных условиях составляет 1,6—1,7 мг в сутки на одну пчелу, что соответствует 2-2,1 мг меда в сутки.

Энергетические затраты пчелиной семьи определяются её состоянием и численностью пчел, а также зависят от температуры окружающей среды.

Семьи с небольшим количеством пчел в расчете на особь тратят наибольшее количество корма. При этом возрастает количество энергии, затрачиваемой на обеспечение процессов жизнедеятельности пчел, в результате в слабых семьях пчелы быстрее изнашиваются (Е.К. Еськова 1987).

Наиболее экономно расходуют корм и энергию в пересчете на 1 кг пчел сильные семьи массой 2,5 кг. Снижение массы пчел до 1,2 кг резко увеличивает затраты энергии и корма (Е.К. Еськов, Г. И. Харченко, 1985).

Также энергетические затраты пчелиных семей зависят от внешней температуры воздуха. Отклонение температуры внешней среды от оптимальной как в меньшую, так и в большую сторону приводит к увеличению затрат энергии пчел на регулирование микроклимата (Комиссар А.Д., 1994).

Сильное влияние оказывает температура среды на величину энергетических затрат зимующих пчел. По данным Southwick (1983) в интервале температур от 0 до +10°C интенсивность метаболизма пчел в зимнем клубе линейно зависит от температуры, а выделяемая мощность составляет при этом 4-8 Вт на 1 кг пчел. Коэффициент корреляции между внешней температурой и выделением тепла семьей пчел в течение зимовки составил 0,86. При температуре от -4 до -10 °C расход энергии увеличился в среднем на 43%, а при температуре от -10 до -17 °C повышение тепловыделения составило 84 %.

Концентрация углекислого газа в улье также влияет на жизнеспособность и энергозатраты пчелиной семьи (В. Коришев, 2004). Пчелы реагируют на не-

достаток кислорода понижением обмена веществ. Между концентрацией углекислого газа в улье и количеством корма, расходуемого пчёлами за время зимовки, существует обратная связь (Г.Ф. Таранов, 1960; К.И. Михайлов, 1961). Однако верхний предел концентрации углекислоты в улье (за пределами основной массы пчел) не должен превышать 3% (Е.К. Еськов, 2009).

Таким образом, данный обзор показывает, что в публикациях большое внимание уделяется изучению температурного режима пчелиной семьи. Имеются многочисленные данные о распределении температуры внутри гнезда пчелиной семьи, хорошо изучена топография зимнего пчелиного клуба. Однако информации о тепловыделении и энергетических затратах пчелиной семьи, а также отдельных ее особях значительно меньше. Остается малоизученной динамика теплового режима пчелиной семьи. Отсутствует единое мнение по вопросу процесса терморегуляции клуба. Мало изучено поведение отдельных пчел в зимнем клубе.

2.1.5 Теплоизоляция гнезда пчелиной семьи

Медоносные пчелы свою жизнедеятельность проводят в сотовых гнездах, расположенных в дуплах деревьев или в искусственных ульях.

Тепловая изоляция пчелиного гнезда снижает энергетические затраты пчелиной семьи в зимний период. В качестве характеристики тепловой изоляции чаще всего используют коэффициент теплопроводности или тепловое сопротивление. Чем меньше величина коэффициента теплопроводности, тем лучше теплоизолирующие свойства материала.

Оценка теплового сопротивления ульев разных конструкций из различных материалов с различной толщиной стен проведена Л.Г. Суходольцем (2006), полученные им результаты представлены в таблице 2.

Чем больше величина теплового сопротивления, тем лучше теплоизоляция улья. Видно, что распространённые ульи имеют близкие значения теплового

сопротивления. Таким образом, теплоизоляция пчел стенками улья способствует сокращению теплопотерь пчелиных семей.

Таблица 2 – Тепловое сопротивление ульев разной конструкции (по Суходольцу Л.Г., 2006)

Тип улья, толщина стенки	Теплое сопротивление, R , °C/Вт	Удельное тепловое сопротивление, $R_{уд}$, м ² °C/Вт	Площадь боковой поверхности улья, S , м ²
Дадан, 12 рамок, 40 мм	0,38	0,22	0,58
Дадан, 10 рамок, с боковой вставной доской, 40мм	0,53	0,22	0,41
Многокорпусный, 1 корпус на 10 рамок, 40 мм	0,55	0,22	0,40
Лежак на 12 рамок, 80 мм	1,02	0,44	0,43
Дупло в живом дереве, внутренний диаметр 350 мм, высота гнезда 450 мм, 100 мм	0,45	0,40	0,89
Колода из сухой древесины, внутренний диаметр 350 мм высота гнезда 450 мм, 100 мм	0,62	0,55	0,89
«Бездонка» из соломы высотой гнезда 355 мм, 66 м	0,52	0,48	0,92
Улей на украинскую рамку, 8 рамок 300x435, 40 мм	1,37	0,22	0,16

Однако, при определении теплового сопротивления гнезда пчелиной семьи необходимо учитывать тепловое сопротивление сотов и межрамочных зазоров.

Соты являются основой пчелиного гнезда. С ними связана вся жизнедеятельность пчелиной семьи, выведение и выращивание потомства, переработка и хранение кормовых запасов, размещение пчел.

Соты состоят из пчелиного воска (секрета восковыделительных желез пчел).

Температура плавления воска колеблется от 62 до 68 °С, температура застывания от 61 до 70,5 °С. Среднее значение этих показателей 63,7 и 62,7 °С (В.Г. Чудаков, 1965, 1979).

Плотность пчелиного воска колеблется в пределах 0,950-0,970 кг/м³, в среднем составляет 0,960 кг/м³. В твердом агрегатном состоянии при температуре до 15-20 °С воск - хрупкое, упруго-пластичное тело, при дальнейшем повышении температуры его пластичность увеличивается (В.Г. Чудаков, 1979).

Представляют интерес теплофизические свойства воска, как материала, из которого построены соты (таблица 3).

Таблица 3 – Теплофизические свойства пчелиного воска (по С.А. Доброхотову, 1974)

t, °С	Воск пасечный			Воск пробойный		
	a м ² /с	С Дж/кг·град д.	λ Вт/м·град	a м ² /с	С Дж/кг·град д.	λ Вт/м·град
20	$12,78 \cdot 10^{-8}$	$2,91 \cdot 10^3$	0,36	$17,11 \cdot 10^{-8}$	$2,12 \cdot 10^3$	0,35
30	$11,92 \cdot 10^{-8}$	$2,59 \cdot 10^3$	0,29	$16,39 \cdot 10^{-8}$	$2,12 \cdot 10^3$	0,33
40	$9,33 \cdot 10^{-8}$	$2,31 \cdot 10^3$	0,21	$10,72 \cdot 10^{-8}$	$1,97 \cdot 10^3$	0,20

Так, по Г.М. Кондратьеву (1957) температуропроводность пчелиного воска $a = 9,17 \text{ м}^2/\text{с}$, по исследованиям С.А. Доброхотова (1974) $a = 12,78 \text{ м}^2/\text{с}$.

Удельная теплоемкость воска по С.П. Истомину (1937) составляет $C=2,0 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$, С.А. Доброхотов (1974) отмечает, что $C=2,93 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$.

Соответственно коэффициент теплопроводности по С.А. Доброхотову (1974) $\lambda=0,357 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$.; по О.Ф. Карпенко (1996) $\lambda=0,225-0,244 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$.; А.Вüdel(1953) $\lambda=0,233 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$.; С. Шкендеров и Ц. Иванов (1985) квалифицируют $\lambda=0,347-0,816$.

Эти различия объясняются весьма сложным химическим составом воска, а также зависимостью теплофизических свойств от температуры.

Некрашевич В.Ф. (2015) отмечает, что с увеличением температуры воскового сырья увеличиваются такие теплофизические константы как теплоемкость, коэффициент теплопроводности и коэффициент температуропроводности. При увеличении температуры воскового сырья с размером частиц менее 2мм от 25 до 65⁰С происходит увеличение коэффициента температуропроводности от $8,9 \cdot 10^{-8}$ до $75,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$, коэффициента теплопроводности от 0,06 до 0,92 Вт/(м⁰С) и удельной теплоемкости от 0,44 до 2,44 кДж/(кг⁰С). При увеличении температуры воскового сырья с размером частиц 2,0-4,0мм от 25 до 65⁰С происходит увеличение коэффициента температуропроводности от $11,8 \cdot 10^{-8}$ до $84,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$, коэффициента теплопроводности от 0,074 до 0,95 Вт/(м⁰С) и удельной теплоемкости от 0,63 до 2,72 кДж/(кг⁰С). При увеличении температуры воскового сырья с размером частиц 4,0-7,0мм от 25 до 65⁰С происходит увеличение коэффициента температуропроводности от $15,2 \cdot 10^{-8}$ до $95,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$, коэффициента теплопроводности от 0,123 до 1,03 Вт/(м⁰С) и удельной теплоемкости от 1,05 до 3,34кДж/(кг⁰С).

Новые соты на 98 % состоят из воска. Со временем на восковую основу наслаиваются коконы личинок, прополис, остатки меда и перги. По мере старения сотов процентное содержание в них воска, по данным Г.Ф. Таранова (1942), уменьшается: в свежестроенном соте - 95 %, после выхода одного поколения - 86 %, пяти - 60 %, десяти - 49 %, пятнадцати - 46 %, двадцати - 45 %.

В настоящее время нет данных о теплофизических свойствах коконов, остающихся в ячейках сота после вывода расплода, в их естественном наслоении, хотя в литературных источниках им и приписывается основная роль в сокращении тепловых потерь сотами.

В практике пчеловодства пчелиные соты рассматриваются не только как основа, фрагмент гнезда, но и как средство сохранения выделяемого пчелами метаболического тепла.

Г.Ф. Таранов (1947) провел сравнительную оценку теплопроводности сотов разного возраста (таблица 4)

Таблица 4 – Сравнительная теплопроводность сотов разного возраста (по Г.Ф. Таранову, 1947)

Испытуемые соты	Количество вышедших поколений пчел	Потери тепла через сот в рамке Дадана-Блатта (в кг) кал в мин.	Коэффициент теплопроводности, ккал/м·час·град	То же в %
Светлые	0	0,247	5,61	100
Коричневые	2	0,173	3,44	61,3
Темные просвечивающиеся	6	0,130	2,16	38,5
Черные слабопросвечивающиеся	13	0,101	1,31	23,3
Коричневые с медом	-	0,147	2,37	42,2
Коричневые с пергой	-	0,106	1,40	24,9

На основе этих данных в пчеловодной литературе рекомендовано оставлять на зиму рамки с сотами, в которых вывелось не менее 4 поколений пчел; в холодное время расширять гнезда сотами, в которых выводились пчелы; заменять гнезда в ульях в первую половину лета, чтобы к зиме в них вывелось 3-4 поколения пчел.

А.Д. Трифонов (1998), расчетным путем, а также с использованием комбинации двух сотов с размещенным между ними нагревателем предпринял попытку установить, что сот более старшего возраста имеет больший коэффициент теплопроводности, чем свежестроенный. Однако, его работа не оказала существенного влияния на установившееся в пчеловодстве мнение.

В настоящее время вопрос о влиянии возраста сотов на их теплоизоляционные качества остается малоизученным.

2.1.6 Методы регистрации энергетических затрат

На всякое изменение внешней среды, а также своего состояния живой организм реагирует изменением физиологических функций и в первую очередь расходом потребленной пищи – непрерывным распадом белков, жиров и углеводов. С другой стороны, этот распад характеризуется определенным термическим эффектом, зависящим от состояния исходных веществ и конечных продуктов.

С термодинамической точки зрения термический эффект характеризуется количеством тепла, выделяемого организмом во внешнюю среду. Измеряя это количество, можно судить как о состоянии самого организма животного, так и влиянии на него факторов внешней среды. Такой подход широко практикуется в различных отраслях животноводства. Разработан и применяется целый ряд калориметров, с помощью которых удалось разрешить целый ряд как теоретических, так и практических вопросов.

В пчеловодстве наибольшее распространение получила калориметрия отдельных особей медоносных пчел. Обзор этих работ и полученных результа-

тов приведен в публикациях и монографиях А. Heusener (1963), М. Roth (1965), Stussi (1967) и ряда других авторов, применявших в своих исследованиях методы прямой и косвенной калориметрии.

Особенностью медоносных пчел является то, что они живут семьями, представляющими собой совокупность нескольких тысяч особей, регулирующих многие функции жизнедеятельности пчелиной семьи, в том числе и выработку тепла.

В таком сообществе каждая особь ведет себя в соответствии с локальными условиями, в которых она оказалась (Esch Н., 1960; Линдауэр М., 1960), проявляя «социальный эффект».

Такой эффект М. Roth (1965) отмечает уже у двух особей. Чем число особей в сообществе больше, тем социальный эффект сильнее. Поэтому для большого сообщества (семьи), а именно такое сообщество более всего интересует практическое пчеловодство, вряд ли возможно распространение результатов, полученных на одиночных особях или даже на небольших группах пчел.

С практической точки зрения более оправданным представляется экспериментальное определение термогенеза всей пчелиной семьи в целом при тех или иных условиях внешней среды, хотя такой подход и требует определенной осторожности – ведь пчелиная семья не является истинным организмом.

Существуют прямые и косвенные методы регистрации энергетических затрат. Прямые методы основаны на регистрации выделяемого тепла пчелиной семьей или ее отдельными особями. Косвенные методы основаны на учете потребляемых пчелами кормов, кислорода, или диоксида углерода - конечного продукта их жизнедеятельности.

Методы косвенного определения энергетических затрат по количеству потребляемого ею корма были применены А.И. Гареевым (1969); J. Free, P. Рассу (1968). Для этого ульи ставят на весы и периодически взвешивают. Расход корма часто пересчитывают в тепловые единицы (Г.Ф. Таранов, 1961; В.И. Лукин, 1959). Эти методы просты, однако имеют ряд недостатков. Недостатком таких методов является их невысокая точность из-за трудности

взвешивания пчел, кроме того, что они отражают усредненные сведения за относительно длительный период.

С высокой точностью энергетические затраты семьи можно определить по количеству потребляемого пчелами кислорода и выделяемой углекислоты. Выделение тепла и углекислоты пчелами — взаимосвязанные процессы. Однако, эта взаимосвязь прослеживается не во всех зонах гнезда. Ее не зарегистрировали в центральной зоне. Это объясняется тем, что в процессе аэрации гнезда в его центральную часть поступает уже нагретый воздух. Он нагревается пчелами, находящимися в зоне гнезда, обращенной к летку. Поэтому даже при интенсивном удалении воздуха с высоким содержанием углекислоты из центральной зоны гнезда температура в ней не понижается. Измерение тепловыделений респирометрическим методом очень трудоемкий способ. К недостаткам методов основанных на измерениях потребляемого кислорода или выделяемой углекислоты является то, что пчелы оказываются в стрессовой ситуации в неестественных изолированных условиях. (FreeJ, Simpson J, 1963).

Показателем интенсивности энергетического обмена у пчел может служить определение фосфатазной активности. Установлено, что в конце безоблетного периода существует три группы особей: с высокой, средней и низкой активностью фосфатазы. Место локализации пчел с высокой активностью фосфатазы — центр пчелиного клуба, со средней — переход из центра клуба и с низкой — корка клуба, что соответствует высокому, среднему и низкому уровню энергетического обмена (О.Н. Фрунзе, А.В. Петухов 2009).

Относительно простой и надежный способ измерения энергетических затрат семьи основан на регистрации выделяемого ею тепла. Для этого используются специальные приборы, такие как микрокалориметры, тепловизоры.

Е.К. Еськов (1987) для этих целей использовал дифференциальный усилитель постоянного тока. Он включен в диагональ моста, в который входят два одинаковых терморезистора. Один из них находится над гнездом пчелиной

семьи. Второй терморезистор укрепляется над ульем с рамками, но без пчел. Между рамками размещаются электрические нагревательные элементы. Энергия, расходуемая на их нагрев, регистрируется счетчиком мощности. Он включается при срабатывании реле, подсоединенного к выходу дифференциального усилителя, когда температура у второго терморезистора (он подключается к инвертирующему входу усилителя) оказывается ниже, чем над гнездом пчелиной семьи.

Этот метод позволил определить мощность тепловыделения пчелиных смесей в осенне-зимний период в зависимости от окружающей температуры, что важно знать для расчета помещений для их зимовки и теплоизоляции укрытий. В частности, установлено, что мощность тепловыделения семьи, содержащей 20-25 тыс. пчел, повышается практически линейно с 5 до 17,5 Вт при понижении окружающей температуры от 0 до -25 °С. Укрытие ульев снегом приводит к значительному снижению ею тепловых потерь. Мощность тепловыделения семьи, находящейся под 0,5-метровым слоем снега, при понижении температуры с 0 до -30 °С возрастает в среднем всего на 3Вт.

Один из методов измерения тепловых потоков - градиентный метод. Он описан в работах E. Schmidt (1923), T.N. Benzinges, Ch. Kitzinger (1949).

А.И. Касьянов (2004) разработал специальный улей-калориметр для оценки термогенеза пчелиной семьи. В его основе лежит градиентный метод измерения тепловых потоков, для чего стенки улья снабжены датчиками температуры, позволяющими измерять интегральную разность температур их внутренней и внешней поверхности. Перепад температур оболочки измеряется с помощью равномерно размещенных по поверхности и последовательно соединенных термопар. Такой улей-калориметр выполнен в виде естественного жилища пчел и позволяет оценить тепловые затраты пчел в разные периоды их жизнедеятельности.

А.Ф. Рыбочкин (2015) предлагает контролировать распределение тепловых полей в улье с использованием термопарной сетки путем регистрации термонапряжений в ее узлах.

В.А. Тобоев (2007) рассматривает возможность регистрации тепловыделения методом, основанным на дистанционном измерении тепловизором температуры над гнездом пчелиной семьи и конвекционных потоков воздуха, проходящих через летки. Изображения поверхности на тепловизоре имеют различные градации яркости или цвета, соответствующие разным температурам. Такой способ измерения теплового излучения пчел в инфракрасном диапазоне дает истинную температуру только самого верхнего слоя холстика (потолочины) толщиной в доли миллиметра. О распределении температур внутри клуба можно судить только тогда, когда они проецируются на верхнюю поверхность холстика. Однако благодаря особенностям структуры клуба и происходящим в нем теплофизическим процессам, температура над ним имеет стабильное значение и коррелирует с ее показателями в центральной зоне (Е.К. Еськов, 1977; В.А. Тобоев, И.Н. Мадебейкин, 2005). Поэтому изучение динамических особенностей тепловой картины над поверхностью клуба и в зоне летка позволяет получить информацию о процессах, происходящих в самом клубе. Данный метод не дает представления о температурах внутри пчелиного клуба, однако позволяет определять размещение, форму и структуру семьи, а, следовательно, контролировать ее развитие, установить локализацию расплода в гнезде, момент его появления.

Следовательно, в настоящее время существует множество методов контроля, главным образом основанных на регистрации температурных полей. Прямых методов регистрации энергетических затрат пчел достаточно мало.

В целом при исследовании теплового режима пчел не уделяется достаточного внимания абиотическим факторам, влияющим на процессы происходящие в пчелином клубе.

2.2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в 2007-2015 гг. на базе экспериментальной пасеки и лаборатории ФГБНУ «НИИ пчеловодства». Исследования проводились по схеме представленной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема исследования

2.2.1 Микрокалориметрирование изолированных пчел

Измерение термогенеза отдельных особей пчел проводили с помощью микрокалориметра.

Особенностью техники измерений термогенеза отдельных особей пчел является регистрация очень малых значений тепловыделений (на уровне микроватт), в связи с чем при разработке микрокалориметров должны приниматься меры по уменьшению влияния внешних тепловых возмущений на точность измерений, применяться высокоточные приборы для регистрации и соответствующей обработки сигналов датчиков. При всем разнообразии типов микрокалориметров, применяющихся в практике физико-технических, химических и биологических экспериментов, наиболее приемлемым для микрокалориметрирования пчел является кондуктивный дифференциальный микрокалориметр типа Тиана-Кальве. Принцип его действия основан на закономерностях теплообмена между камерой (ячейкой), в которой происходят тепловые процессы, и массивным термостатирующим телом (блоком). Перепад температуры между этими объектами регистрируется высокочувствительным термоэлектрическим датчиком, сигнал которого пропорционален мощности тепловыделения в ячейке. Такой калориметр позволяет достичь высокой точности тепловых измерений на уровнях до 10^{-7} Вт.

Исходя из этого, Научно-исследовательским институтом пчеловодства и Черновицким государственным университетом был разработан и изготовлен такой микрокалориметр. Его схема представлена на рисунке 2.

Микрокалориметр представляет собой цилиндрическую конструкцию, состоящую из микрокалориметрического блока (4), активного термостата (7), теплоизоляции пассивного термостата (8) и наружного кожуха (9).

Термостатирующий блок диаметром 170 мм и высотой 195 мм имеет два высверленных гнезда для размещения микрокалориметрических ячеек (3). Блок окружает полая конструкция активного термостата, в которую через входной штуцер поступает термостатированная вода (6), образуя водяную рубашку во-

круг блока. Стенки активного термостата сделаны утолщенными и играют роль теплорассеивающих экранов как дополнительная защита от локальных внешних тепловых помех.

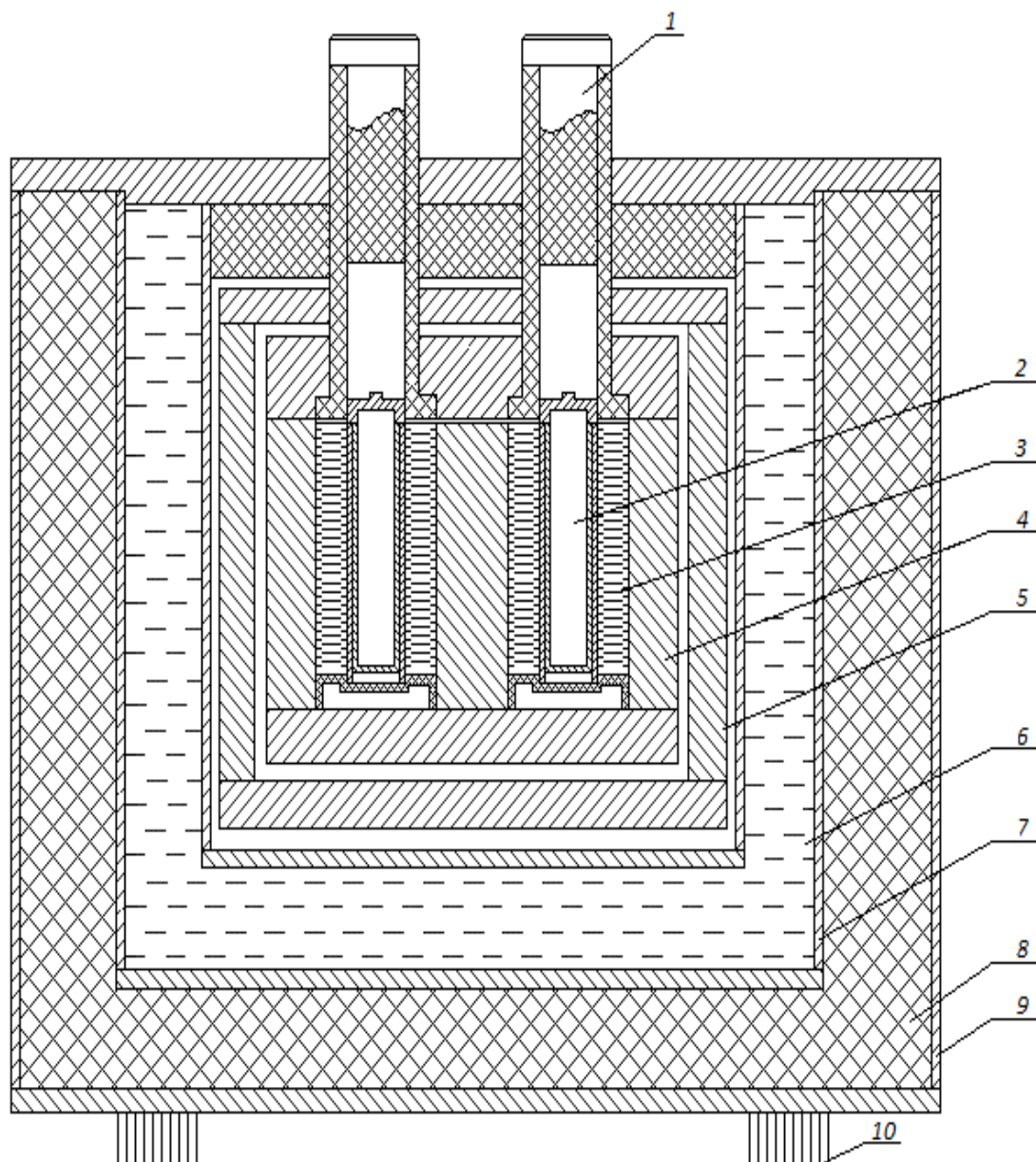


Рисунок 2 – Схема микрокалориметра: 1 – пробка; 2 – реакционная камера; 3 – микрокалориметрическая ячейка; 4 – микрокалориметрический блок; 5 – экран; 6 – вода дистиллированная; 7 – активный термостат; 8 – пассивный термостат; корпус микрокалориметра; 10 – опора.

Пассивным термостатом микрокалориметра служит слой пенопласта, охватывающий со всех сторон активный термостат. Теплозащита пассивного термостата расположена во внутреннем алюминиевом кожухе с толщиной стенки 40 мм. С торцов внешний кожух закрыт крышками. В крышках, теплозащите и фланцах имеются отверстия, являющиеся продолжением камер ячеек и служащие для помещения в микрокалориметр реакционных камер (2) с объектами измерений.

Каналы закрываются специальными теплоизоляционными пробками (1).

Микрокалориметрическая ячейка в целом состоит из термоэлектрического датчика, рабочей камеры (в которую помещается объект измерений), контактных колец и крышек. Термоэлектрический датчик представляет собой батарею термоэлементов, сформированную в виде цилиндрического столбика, состоящего из пятидесяти термоэлектрических модулей, установленных на тонкостенном алюминиевом стакане рабочей камеры. Каждый модуль фиксируется по высоте упругими алюминиевыми кольцами в зоне спаев модулей, чем обеспечивается тепловой контакт - через внешние кольца с термостатирующим блоком, а через внутренние - с рабочей камерой ячейки. Электрические выводы термоэлектрических датчиков формируются в кабель с разъемным соединением и выводятся наружу для подсоединения к измерительной аппаратуре.

Общая теплоемкость термостатирующего блока с водяной рубашкой - 2965 Дж/К; тепловое сопротивление между блоком и внешней средой - 5,72К/Вт.

Измеряемое микрокалориметром выделение тепла в реакционной камере приводит к обмену тепловой энергии между реакционной камерой и другими элементами устройства. Результатом этого обмена является электрический сигнал датчика микрокалориметра пропорциональный мощности тепловыделения и измеряемый регистрирующими элементами. После оцифровки данного аналогового сигнала он передается на компьютер.

В качестве основного элемента измерительной схемы микрокалориметра

использовали компаратор напряжений постоянного тока Р3003. Данный компаратор обеспечивает измерение сигналов микрокалориметрических датчиков, а также тока через калибровочный нагреватель постоянного тока в диапазоне 1 мкВ-100 В и позволяет подключать к нему регистрирующие устройства.

Аппаратная часть измерительного стенда микрокалориметра включает в себя компаратор напряжений Р 3003, аналого-цифровой преобразователь ЛА-50 USB, усилитель Н 37, цифровой вольтметр типа Щ 300, высокостабильный источник питания ВИП-009, пульт управления, калибровочный нагреватель.

Общий вид измерительного стенда показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Измерительный стенд микрокалориметра

Для непрерывной регистрации динамики тепловыделения пчел в ячейке микрокалориметра к аналоговому выходу компаратора через измерительный усилитель Н37 подсоединен аналого-цифровой преобразователь ЛА-50USB, передающий сигнал от компаратора на компьютер.

Как вспомогательный прибор использовали вольтметр типа Щ 300. Под-

ключенный к цифровому выходу компаратора вольтметр дублировал показания компаратора.

Для питания цепи калибровки микрокалориметра использовали источник питания ВИП-009.

Для выбора режима работы микрокалориметра использовали пульт управления, который также обеспечивал дифференциальное соединение микрокалориметрических датчиков, подключение измерительных цепей к входу компаратора Р3003, формирование калибровочной дозированной тепловой мощности. Пульт управления выполнен в виде автономного настольного блока, соединенного кабелями с термоэлектрическими датчиками микрокалориметра, компаратором Р 3003, стабилизированным источником питания ВИП-009 и калибровочным нагревателем.

Калибровочный нагреватель представляет собой прецизионный специальный резистор из манганинового микропровода с омическим сопротивлением 847,4 Ом. Нагреватель является источником джоулевой тепловой мощности, создаваемой электрической цепью калибровки. С целью повышения точности калибровки для обеспечения идентичных тепловых условий при калибровке и рабочем тепловом процессе нагреватель помещен в корпус реакционной камеры. Конструкция калибровочного нагревателя обеспечивает равномерное распределение мощности тепловыделения по объему камеры микрокалориметрической ячейки. Выводы калибровочного нагревателя пропущены через крышку корпуса, сформированы в кабель и через разъемное соединение подключены к пульта управления.

С помощью микрокалориметра была изучена динамика тепловыделения изолированными особями пчел в разные периоды их жизнедеятельности, а в летний период исследовали также динамику термогенеза трутней и маток. Отдельных особей помещали в микрокалориметрическую ячейку, и в течение длительного времени непрерывно проводили запись их термогенеза.

2.2.2 Методика измерения тепловыделения пчелиной семьи

В соответствии с первым законом термодинамики изменение внутренней энергии живого организма равно алгебраической сумме тепла, непосредственно переданного во внешнюю среду, а также выделенного в ходе совершения различных видов работ (химическая, механическая и др.). Поэтому общее тепловыделение служит мерой интенсивности обменных процессов в живом организме.

Этот показатель широко используется в различных областях животноводства. В пчеловодстве ему уделяется недостаточное внимание. Это связано со сложностью калориметрирования пчел, так как пчелиная семья представляет собой не отдельный организм, а совокупность особей, каждая из которых является источником генерации тепла. Также жизнь пчелы неотрывно связана с её гнездом, включающим в себя соты, кормовые запасы, расплод, которые обладают большой теплопроводностью и сильно сглаживают влияние внешней среды, обладающей большой изменчивостью.

В данной работе мы изучили динамику общего тепловыделения, включающего тепловыделение самих особей и теплоотдачу всех компонентов гнезда пчелиной семьи, в зимний период естественной жизнедеятельности пчел. Оно может быть измерено с помощью калориметра или основываясь на законе Фурье путем регистрации температурного градиента, т.е. разности температур теплоотдающей поверхности и окружающей среды.

В своих исследованиях мы использовали оба этих метода – как калориметрический, так и расчетно-градиентный.

Ранее в НИИ пчеловодства был проведен ряд наблюдений за жизнедеятельностью пчелиных семей с помощью специально разработанных ульев калориметров (Касьянов А.И., 2004). А.И. Касьяновым был разработан улей-калориметр представляющий собой оболочку из теплоизоляционного материала, внутри которой помещается изучаемый источник тепла, и датчиков, позво-

ляющих измерять разность температур внутренней и наружной поверхностей этой оболочки.

До 2008 года использовались 10-рамочные ульи-калориметры. Из-за их ограниченного объема изучение целого ряда практических вопросов пчеловодства оказалось невозможным. Так, невозможно нарастить достаточную массу пчелиной семьи и предотвратить её роение, невозможно определить потери тепла отдельными элементами улья и их роль в сохранение тепла.

В связи с этим нами был разработан и испытан усовершенствованный вариант улья-калориметра. На рисунке 4 представлена его общая схема.

Он включает в себя корпус – 1 с неотъемным дном – 14, магазинную надставку – 3, подкрышник – 5 и крышу – 6.

Корпус имеет два летка: верхний – 12 и нижний – 13. В корпусе размещены 12 гнездовых рамок – 2 размером 435x300 мм, а в магазинной надставке соответственно 12 магазинных рамок размером 435x145 мм. В подкрышнике оборудовано 18 вентиляционных отверстий диаметром 18 мм.

Все элементы улья изготовлены из пластин органического стекла толщиной 4 мм, укрепленных на металлическом каркасе.

На всех элементах улья равномерно размещены термопары, спаянные из медных – 10 и копелевых – 9 проволок таким образом, что их спаи утоплены попеременно на внутренней и внешней сторонах пластин. Общее количество термопар в улье – 1552. Все термопары соединены последовательно, образуя батареи с отдельными выводами на каждом элементе улья: дне, корпусе, магазинной надставке, подкрышнике и крыше. Это позволяет в процессе исследований определять тепловые потоки через стенки каждого элемента улья в отдельности.

Электрическое сопротивление термобатарей при 20 °С: дна – 30,93 Ом, стенок корпуса – 82,40 Ом, магазинной надставки – 31,50 Ом, подкрышника – 29,30 Ом, крышки – 39,08 Ом. Масса улья – 25 кг.

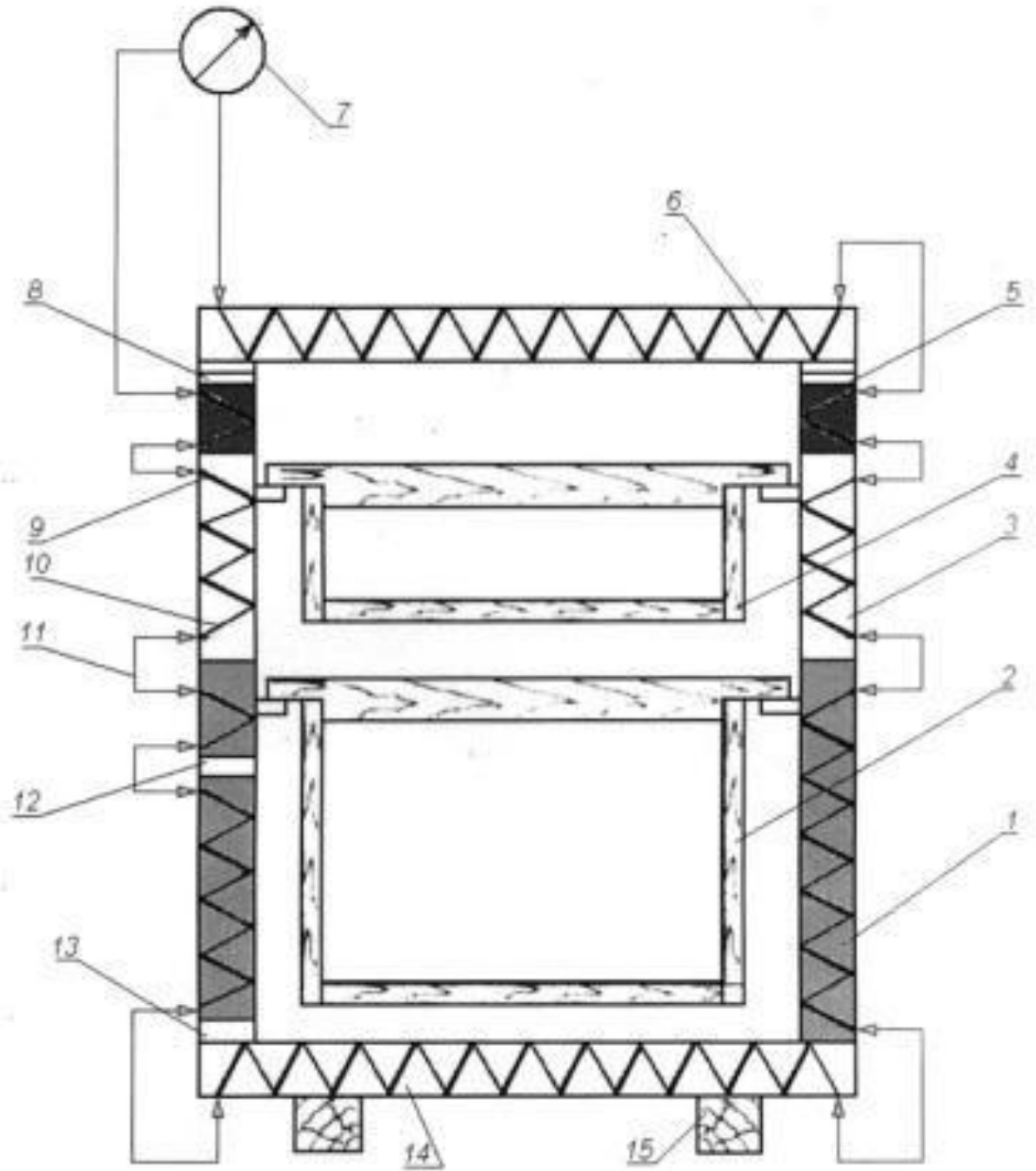


Рисунок 4 – Схема улья-калориметра: 1 – корпус; 2 – рамка гнезда; 3 – магазинная надставка; 4 – рамка магазинная; 5 – подкрышник; 6 – крышка; 7 – измерительный прибор; 8 – вентиляционное отверстие; 9 – проволока копелевая; 10 – проволока медная; 11 – перемычки; 12 – леток верхний; 13 – леток нижний; 14 – дно; 15 – полозок

Чувствительность улья-калориметра определена при его градуировке.

Для градуировки дна улья-калориметра была изготовлена вспомогательная пластина из оргстекла, имеющая с ним одинаковые размеры и количество термоспаев, а также их изоляцию. Дно и вспомогательная пластина были сложены вместе и между ними размещены 4 обогревателя конструкции фирмы «Феал-технология». Образованный таким образом пакет был скреплен зажимами и помещен в кожух, в качестве которого использован соломенный улей-лежак.

Все четыре нагревательных элемента соединялись последовательно, их суммарное электрическое сопротивление составило 35,2 Ом. Питание нагревательных элементов производилось от стабилизированного источника питания постоянного тока Б 5-29.

ЭДС, развиваемые термобатареями как дна, так и вспомогательной пластины, измеряли потенциометром ПП-63, а подаваемую на нагреватель мощность - ваттметром Д 566. Снятие показаний потенциометра проводили через 15-30 мин до достижения постоянства показаний, когда результат предыдущего измерения не отличался от последующего. Результаты измерений приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты градуировки дна

Подаваемая мощность, Вт	ЭДС пластин, мВ		Чувствительность пластин, Вт/мВ
	дна	вспомогательной пластины	
5,0	0,60	0,60	4,17
7,5	0,90	0,90	4,17
10,0	1,20	1,20	4,17
16,0	1,91	1,91	4,18
В среднем	-	-	4,17

Выделяющаяся мощность рассеивалась между пластинами поровну, поэтому чувствительность каждой пластины определялась как частное от деления половины подаваемой мощности на ее ЭДС.

В среднем чувствительность, как пластины дна, так и вспомогательной пластины составляет 4,17 Вт/мВ.

Целью градуировки магазинной надставки являлось определение суммарной чувствительности термобатарей, смонтированных на всех его стенках. Для этого снизу под магазин была подставлена пластина дна улья, сверху на него помещена вспомогательная пластина, имеющая одинаковую чувствительность с пластиной дна.

В магазинной надставке был помещен легкий объемный электрический нагреватель. Питание нагревателя осуществлялось от высокостабильного источника постоянного тока Б 5-29. Вся конструкция была помещена в грунтовую яму размером 0,9х2,0 и глубиной 1,2 м.

Электродвижущую силу, развиваемую батареями термопар магазинной надставки, измеряли потенциометром постоянного тока ПП-63, кл.0,05, а потребляемую мощность - ваттметром Д 566, кл.02.

Снятие показателей вели через один и тот же промежуток времени до тех пор, пока показания последующего измерения не отличались от предыдущих.

Тепловые потоки через дно и крышку, роль которой выполняла вспомогательная пластина, подсчитывали путем умножения величины чувствительности, полученной в предыдущем опыте ($\alpha = 4,17$ Вт/мВ), на величину соответствующей ЭДС, а потоки определялись как разность между количеством тепла, выделяемого нагревателем, и его количеством, теряемым суммарно дном и крышкой. Чувствительность термобатарей стенок магазинной надставки определяли как отношение теряемого через них тепла к величине термоЭДС.

Результаты измерений представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты градуировки ульевой магазинной надставки

Мощность, подаваемая на нагреватель, Вт	ЭДС элементов, мВ			Потери тепла, Вт			Чувствительность стенок магазинной надставки, Вт/мВ
	магазинной надставки	дна	вспомогательной пластины	стенками	дном	крышкой	
6,25	0,42	0,48	0,57	1,87	2,00	2,38	4,45
12,50	0,77	0,73	1,47	3,33	3,04	6,13	4,32
20,0	1,15	1,10	2,24	6,07	4,59	9,34	5,28
В среднем							4,68

Как видно из таблицы 6, чувствительность термобатарей магазинной надставки менялась в зависимости от подаваемой на нагреватель мощности от 4,45 Вт/мВ при 6,25 Вт до 5,28 Вт/мВ при 20,0 Вт и в среднем составила 4,68 Вт/мВ.

Крыша улья включает в себя подкрышник и крышку. При градуировке под подкрышник была помещена пластина дна улья. Порядок градуировки аналогичен градуировке магазинной надставки. Термобатареи подкрышника и крышки были соединены последовательно в единую цепь. ЭДС донной пластины измерялась отдельно.

Результаты градуировки приведены в таблице 7.

При градуировке корпуса улья-колориметра использовали сборку, состоящую из боковых стенок, дна и крышки. В качестве дна использовали ранее откалиброванную пластину, имеющую чувствительность $\alpha = 4,17$ Вт/мВ, в качестве крышки – вспомогательную пластину, имеющую такую же чувствительность $\alpha = 4,17$ Вт/мВ.

Термобатареи всех стенок корпуса соединены последовательно в одну общую цепь, показания термобатарей дна и крышки фиксировали отдельно.

При градуировке внутренний объем корпуса был герметичен, оба летка были закрыты, что исключало потерю тепла с вентиляцией.

Таблица 7 – Результаты градуировки крыши улья

Мощность, подаваемая на нагреватель, Вт	ЭДС элементов, мВ		Потери тепла, Вт		Чувствительность батарей крыши, Вт/мВ
	крыши	дна	крышей	дном	
6,25	0,98	0,52	4,08	2,17	4,16
12,5	2,13	0,77	9,29	3,21	4,36
20,0	3,50	1,14	15,25	4,75	4,35
В среднем					4,29

В корпус вместо сотовых рамок помещали легкий объемный электрический нагреватель. Питание нагревателя осуществлялось от высокостабильного источника постоянного тока Б5-29. Градуировку проводили в грунтовой яме размером 0,9x2,0 и глубиной 1,2 м. ЭДС, развиваемую батареями термопар корпуса, измеряли потенциометром ПП-63, кл.0,05, а потребляемую мощность – ваттметром Д 566, кл. 02.

Снятие показателей проводили через один и тот же промежуток времени до достижения постоянных результатов.

Тепловые потоки через крышку и дно подсчитывали путем умножения величины чувствительности, полученной в предыдущем опыте ($\alpha = 4,17$ Вт/мВ), на величину соответствующей ЭДС, а потоки через стенки определяли как разность между количеством тепла, выделяемого нагревателем, и его количеством, теряемым суммарно дном и крышкой.

Результаты градуировки корпуса приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты градуировки корпуса улья-калориметра

Мощность, подаваемая на нагреватель, Вт	ЭДС элементов корпуса, мВ			Потери тепла, Вт			Чувствительность батареи стенок корпуса, Вт/мВ
	стенок корпуса	дна	крышки	стенками корпуса	дном	крышкой	
6,25	1,00	0,35	0,30	3,54	1,46	1,25	3,54
12,50	1,90	0,50	0,80	7,08	2,08	3,34	3,72
20,0	2,95	0,75	1,52	10,53	3,13	6,34	3,57
30	4,3	1,02	2,4	15,75	4,25	10,00	3,66
В среднем							3,62

Таким образом, чувствительность элементов улья имеет следующие значения: дна – 4,17 Вт/мВ, магазинной надставки - 4,68 Вт/мВ, крыши с подкрышником - 4,29 Вт/мВ, стенок корпуса - 3,62 Вт/мВ.

С помощью такого улья-калориметра нами был изучен термогенез пчел карпатской, серой горной кавказской, среднерусской пород и породного типа среднерусской породы «Приокский» в осеннее-зимний период.

Силу пчелиных семей оценивали по количеству улочек - сотов в улье, покрытых пчелами с обеих сторон. С учетом того, что одна улочка содержит 250 г пчел, определяли массу пчелиной семьи.

Кормовые запасы в гнездах пчелиных семей определяли взвешиванием каждого сота с медом на пружинных весах, учитывая, что пустая гнездовая рамка с сотом весит 0,5 кг и делая поправку на массу пчел на соте.

Два раза в сутки измеряли тепловыделения пчелиных семей, температуру и влажность воздуха внешней среды и зимовника.

При опытах на открытом воздухе калориметры устанавливали под навесом на открытой веранде. Для защиты от неблагоприятных воздей-

ствий внешней среды, а также от механических повреждений улей-калориметры помещали в деревянные кожухи (рисунок 5б).



Рисунок 5а – Улей-калориметр



Рисунок 5б – Улей-калориметр в деревянном кожухе

Сигналы от ульев-калориметров поступали по кабелю в лабораторию, где проводили их измерение. Посредством измерительной системы калориметра регистрировалась ЭДС каждого элемента улья: дна, корпуса, крыши улья вместе с подкрышником в милливольтгах, которые затем переводились в Ватты.

Для измерения развиваемой термоэлементами ЭДС использовали компенсационный метод, при котором развиваемая термобатареей ЭДС уравнивается равным ей по величине, но обратным по знаку напряжением от вспомогательного источника тока, которое измеряется с большой точностью. Для измерения ЭДС использовали переносной комбинационный измерительный прибор УПИП-2.

Температуру и влажность наружного воздуха определяли посредством аспирационного психрометра.

Исследования термогенеза и теплового режима при зимовке пчелиных семей в помещениях проводили в заглубленном зимовнике.

При измерении температуры воздуха в зимовнике в качестве датчиков температуры использовали терморезисторы, в качестве вторичного прибора - мультиметр М-930В.

2.2.3 Методика определения теплоизоляционных свойств гнезда пчелиной семьи

Исследование теплоизоляционных свойств гнезда пчелиной семьи проводили на специально изготовленной для этой цели модели 12-рамочного улья, представляющей собой улей-калориметр с размещенными внутри него сотами, в которые вмонтирован нагреватель шарообразной формы, имитирующий пчелиный клуб.

Нагревательный элемент такого «клуба» размещается внутри полого шара и запитывается от высокостабильного источника питания (рисунок б).

Такой улей-калориметр размещался на открытом воздухе и защищался от ветра и солнца деревянным кожухом.

В процессе исследований фиксировали потребляемую нагревателем мощность; разность среднеповерхностной температуры «клуба» и внешней среды; потери тепла каждым элементом ограждения (улья) – дном, стенками, крышей и подкрышником; среднеобъемную температуру части гнезда незанятой «клубом», и температуру наружного воздуха.



Рисунок 6 – Нагревательный элемент

Снятие перечисленных показателей проводили при естественно складывающихся температурах наружного воздуха. Показатели снимали при различном положении летков, при головном утеплении улья-калориметра и без него.

Конечными критериями оценки теплозащитных свойств как самого сотового гнезда, так и гнезда защищенного ограждением являются среднеобъемная температура части сотового гнезда, незанятого пчелами – $t_{гн}$, а также его тепловое сопротивление:

$$R = \frac{t_{наг} - t_{окр}}{P}, \quad (1)$$

где R – тепловое сопротивление, град/Вт;

P – выделяющаяся мощность, Вт;

$t_{наг} - t_{окр}$ – разность температур нагревателя и внешней среды, град.

Среднеобъемную температуру в незанятой пчелами части гнезда измеряли посредством специального линейного термометра сопротивления, выполненного в виде жгута из медного провода, размещенного в улочках сборки.

Также проводилось определение теплового сопротивления и коэффициента теплопередачи пчелиного сота как пустого, так и заполненного пергой, ульевого холстика и головного утепления.

Для измерения коэффициентов теплопередачи и теплового сопротивления применяли специально изготовленную лабораторную установку, представленную на рисунке 7.



Рисунок 7 – Лабораторная установка для измерения теплового сопротивления

Ее схема представлена на рисунке 8. Она представляет собой обечайку-1, выполненную из пластин, образующих соответственно четыре боковые стенки и дно. В качестве крышки устанавливается испытуемый сот-4. Внутри обечайки размещен электрический нагреватель-2 с тепловыравнивающей пластиной-3, а также батарея дифференциальных термопар-5, позволяющая фиксировать разность температур перед сотом с внешней и внутренней стороны установки.

Пластины дна и боковых стенок изготовлены из органического стекла толщиной 4 мм. На поверхностях пластин равномерно просверлены отверстия, через которые пропущены термопары.

Все термопары соединены последовательно и подсоединены к потенциометру G , позволяющему измерить разность ЭДС и соответственно разность температур на внутренней и внешней стороне обечайки.

Габаритные размеры установки: 300x240x115 мм, количество термопарных спаев - 160.

В качестве нагревательного элемента был использован серийный плоский обогреватель пчелиных семей фирмы Феал-технология (г.Калуга).

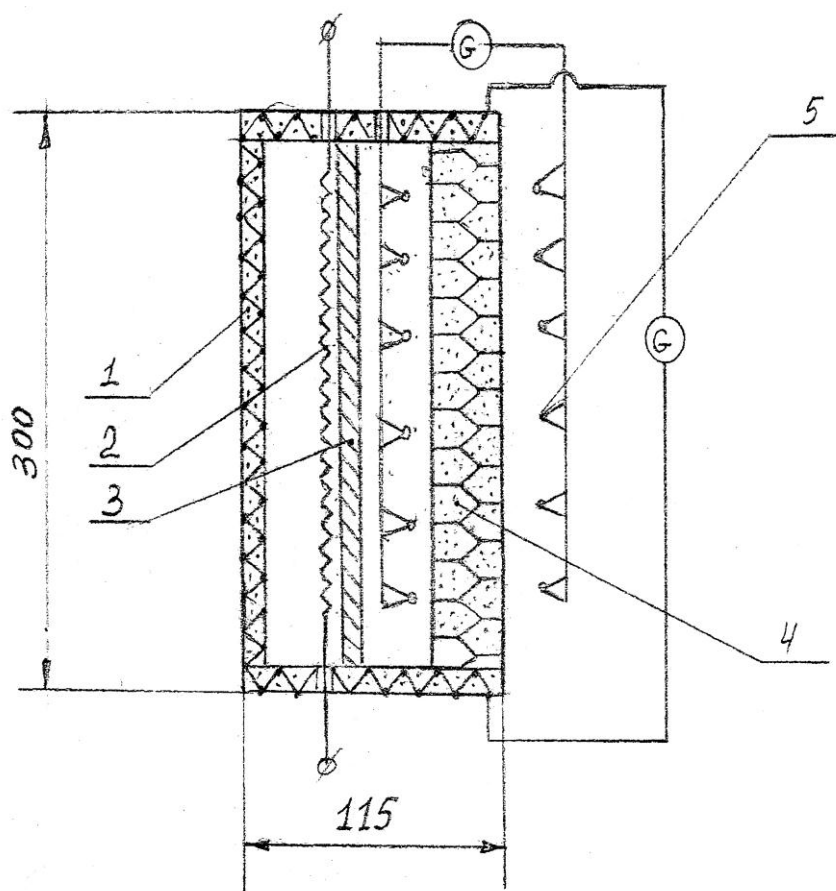


Рисунок 8 – Схема установки для определения теплоизоляционных качеств сотов: 1 – обечайка; 2 – нагреватель; 3 – тепловыравнивающая пластина; 4 – сот; 5 – батарея дифференциальных термопар

Обогреватель ленточный плоский, обрезан по внутреннему размеру обечайки. Толщина обогревателя 0,3 мм, электрическое сопротивление 8,8 Ом, питающее напряжение 12 В, мощность 18 Вт.

Измерив с помощью ваттметра выделяющуюся на нагревателе мощность и вычитая из нее потери тепла через обечайку, определяли тепловой поток через сот.

Вначале была проведена градуировка обечайки.

В соответствии с законом Фурье величина теплового потока, проходящего через пластины, пропорциональна разности температур на поверхностях этих пластин или, что то же самое, величине ЭДС, развиваемой батареей термопар. Таким образом, измерение теплового потока через обечайку, по существу, после соответствующей градуировки сводится к измерению величины ЭДС.

Градуировка обечайки проведена с использованием вспомогательной предварительно проградуированной крышки.

Вспомогательная крышка прибора также изготовлена из органического стекла и имеет идентичные с дном прибора конструкцию, размеры и количество дифференциальных термопар.

При градуировке крышка и дно прибора складывались вместе и между ними размещался электрический нагреватель с алюминиевой пластиной, выравнивающей тепловые потоки. Образованный таким образом пакет скреплялся зажимами и подвешивался в кожух, в качестве которого был использован соломенный улей-лежак (рисунок 9).

В качестве нагревателя также использован обогреватель пчел фирмы «Феал-технология» (г.Калуга). Электрическое сопротивление нагревателя - 8,8 Ом. Его питание производилось от стабилизированного источника постоянного тока Б5-29.

ЭДС, развиваемую термобатареями как дна (плата №1), так и крышки (плата №2) измеряли потенциометром ПП-63, а подаваемую на нагреватель мощность - ваттметром Д 566. Снятие показаний потенциометра проводили через 30 мин до достижения постоянства показаний, когда результат предыдущего измерения не отличается от последующего.

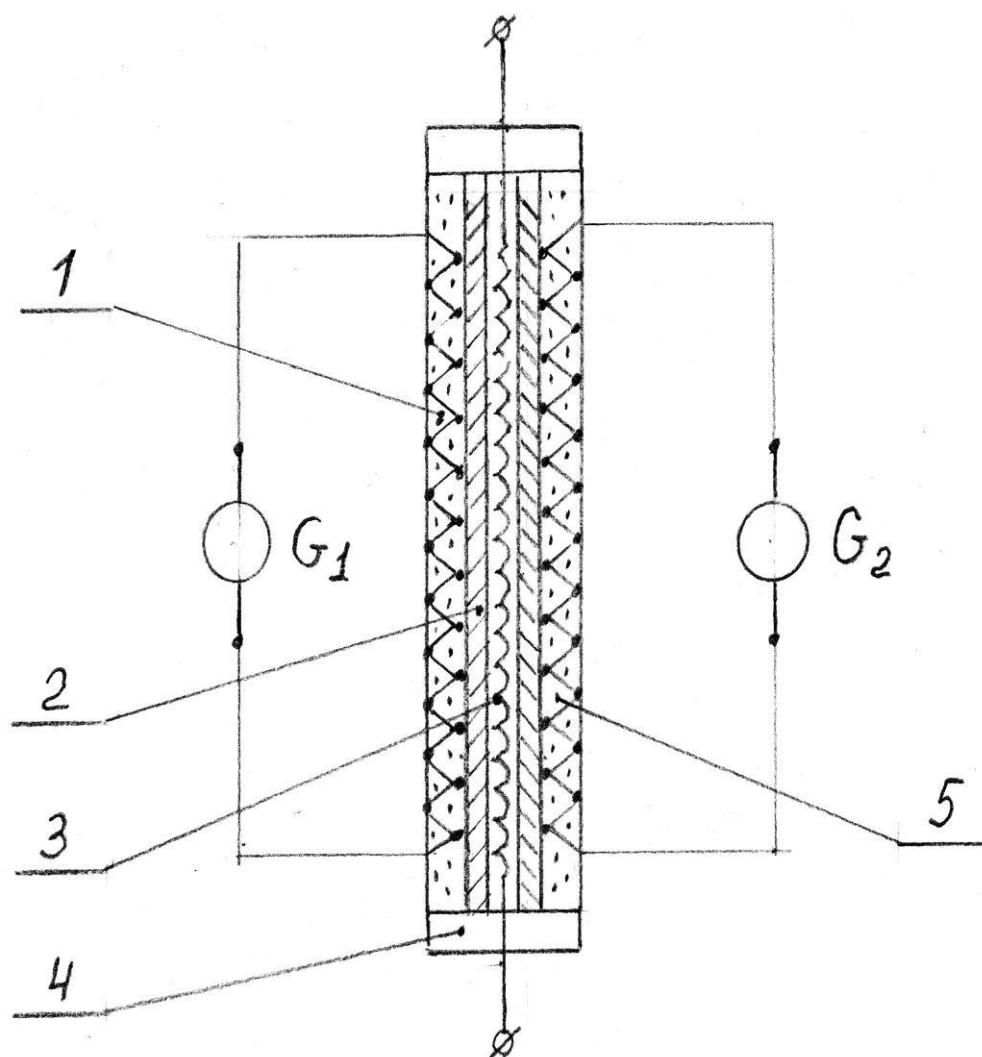


Рисунок 9 – Схема градуировки вспомогательной пластины:

1 – дно обечайки; 2 – тепловыравнивающие пластины; 3 – нагреватель; 4 – тепловая изоляция; 5 – вспомогательная пластина

Результаты измерений приведены в таблице 9. При их обработке учитывали, что выделяющаяся мощность рассеивалась между пластинами поровну. Поэтому чувствительность каждой пластины определяли как частное от деления половины подаваемой мощности на ее ЭДС.

Как видно из таблицы 9, чувствительность термобатареи вспомогательной пластины №2 в среднем составляет 4,79 Вт/мВ.

Таблица 9 – Результаты градуировки пластин в камере спокойного воздуха

№№ пп	Мощность нагрева, Вт	Пластина №1			Пластина №2		
		Мощность на пласт., Вт	ЭДС мВ	Чувствительность, Вт/мВ	Мощность на пласт., Вт	ЭДС, мВ	Чувствительность, Вт/мВ
1	2,50	1,25	0,27	4,63	1,25	0,25	5,00
2	5,00	2,50	0,60	4,17	2,50	0,48	5,21
3	7,50	3,75	0,95	3,95	3,75	0,73	5,14
4	10,0	5,00	1,35	3,70	5,00	1,00	5,00
5	15,0	7,50	2,05	3,66	7,50	1,55	4,84
6	20,0	10,00	2,74	3,65	10,00	2,15	4,65
7	30,0	15,00	4,35	3,45	15,0	3,45	4,35
8	40,0	20,00	5,72	3,50	20,00	4,85	4,12
В среднем	-	-	-	3,84	-	-	4,79

Для измерения разности температур внутри прибора и вне его установка была оборудована батареей дифференциальных термопар. Батарея содержала 7 медь-копелевых спаев и размещалась внутри по диагонали обечайки, а вне ее – в виде свободного пучка.

Перед монтажом батарея была предварительно проградуирована, для чего спаи были изолированы и размещены: горячие - в термосе с теплой водой, холодные - в сосуде с тающим льдом. Температура как тающего льда, так и в термосе контролировалась ртутными термометрами. ЭДС термобатареи измеряли измерительным прибором УПИП-63. Результаты тарировки приведены в таблице 10.

После градуировки крышка была установлена в обечайку на место сота и проведена градуировка обечайки (рисунок 10).

Подаваемая на нагреватель мощность также измерялась ваттметром Д 566. При каждом значении подаваемой мощности фиксировались ЭДС развиваемая дном и стенками обечайки — G_1 , крышкой - G_2 и батареей термопар, показывающей разность температур в обечайке и вне ее - G_3 .

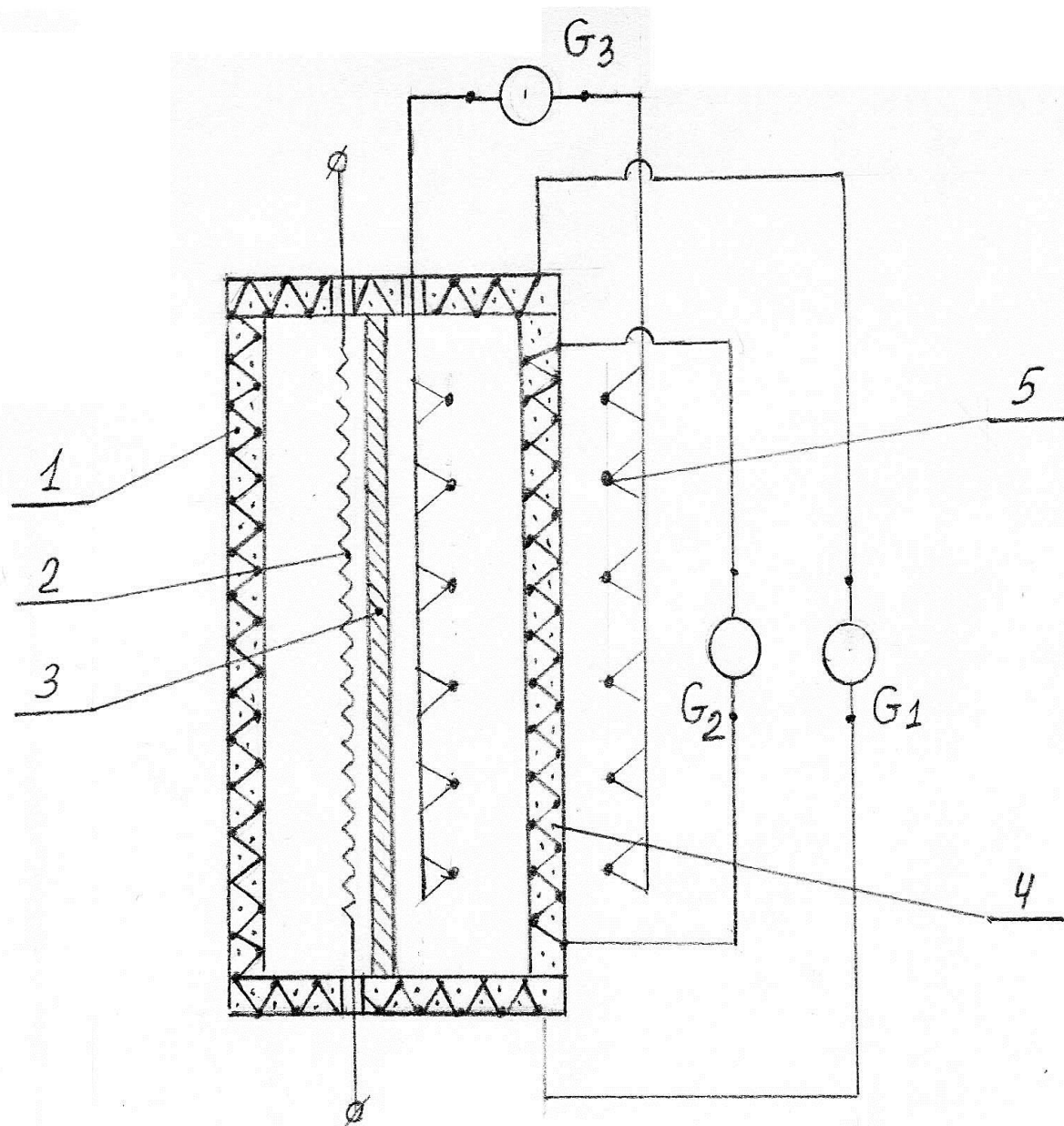


Рисунок 10 – Схема градуировки обечайки: 1 – обечайка; 2 – нагреватель; 3 – тепловыравнивающая пластина; 4 – пластина вспомогательная; 5 – батарея дифференциальных термопар

Таблица 10 – Результаты градуировки батареи термопар

$t_{гор}, ^\circ\text{C}$	$t_{хол}, ^\circ\text{C}$	$E_m, \text{В}$	$t, \text{град./мВ}$
18,3	0	4.84	3,78
18,2	0	4,70	3,87
18,2	0	4,70	3,87
18,2	0	4,70	3,87
18,2	0	4,70	3,87
18,2	0	4.70	3,87
В среднем	-	-	3,85

Как и в предыдущем случае, питание нагревателя проводилось от стабилизированного источника Б5-29, а измерение - потенциометром ПП-63.

При обработке экспериментальных данных умножением чувствительности крышки (пластина №2, таблица 9) в камере спокойного воздуха 4,79 Вт/мВ на величину ЭДС (значение G_2) получали показатель потери тепла крышкой ($P_{кр}$).

Из подаваемой на нагреватель мощности вычитали потерю тепла крышкой (пластина №2) и получали показатель потери тепла обечайкой.

Делением показателей полученной потери на величину развиваемой термобатареи обечайки ЭДС (значение G_1) получили чувствительность обечайки.

Градуировку обечайки проводили при подаваемых на нагреватель мощностях 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 Вт и расположении крышки сбоку от нагревателя, сверху и снизу от него. В дальнейшем при испытании сотов потери тепла обечайкой рассчитывали по среднеарифметическому значению чувствительности. Результаты градуировки приведены в таблицах 11-13.

В ходе опыта на нагреватель подавали определенную мощность, регистрируемую с помощью ваттметра. Измеряли потери тепла через корпус установки, а затем определяли тепловой поток через сот как разность между мощностью, выделяющейся на нагревателе и потерями тепла через корпус.

В качестве нагревательного элемента был использован серийный плоский обогреватель пчелиных семей фирмы Феал-технология (г.Калуга).

Таблица 11 – Результаты градуировки обечайки при расположении крышки сбоку

№№ пп	Подаваемая мощность, Вт	ЭДС крышки, мВ	Потери тепла крышкой, Вт	Потери тепла обе- чайкой, Вт	ЭДС обе- чайки, мВ	Чувстви- тельность обечайки, Вт/мВ
1	2,5	0,15	0,72	1,78	0,55	3,23
2	5,0	0,32	1,53	3,47	1,22	2,84
3	7,5	0,47	2,25	5,25	1,75	3,00
4	10,0	0,65	3,11	6,89	2,40	2,87
В сред- нем	-	-	-	-	-	2,98

Таблица 12 – Результаты градуировки обечайки при расположении крышки сверху

№№ пп	Подаваемая мощность, Вт	ЭДС крышки, мВ	Потери тепла крышкой, Вт	Потери тепла обе- чайкой, Вт	ЭДС обе- чайки, мВ	Чувстви- тельность обечайки, Вт/мВ
1	2,5	0,15	0,72	1,78	0,42	4,23
2	5,0	0,37	1,78	3,23	0,80	4,04
3	7,5	0,60	2,87	4,63	1,20	3,86
4	10,0	0,80	3,83	6,17	1,55	3,98
В сред- нем	-	-	-	-	-	4,03

Таблица 13 – Результаты градуировки обечайки при расположении крышки снизу

№№ пп	Подаваемая мощность, Вт	ЭДС крышки, мВ	Потери тепла крышкой, Вт	Потери тепла обе- чайкой, Вт	ЭДС обе- чайки, мВ	Чувстви- тельность обечайки, Вт/мВ
1	2,5	0,15	0,72	1,78	0,65	2,74
2	5,0	0,30	1,44	3,56	1,40	2,54
3	7,5	0,42	2,01	5,49	2,12	2,59
4	10,0	0,55	2,61	7,37	2,90	2,54
В сред- нем	-	-	-	-	-	2,60

Обогреватель ленточный плоский, обрезан по внутреннему размеру корпуса. Толщина обогревателя 0,3 мм, электрическое сопротивление 8,8 Ом, питающее напряжение 12 В, мощность 18 Вт.

В соответствии с законом Фурье величина теплового потока, проходящего через пластины, пропорциональна разности температур на поверхностях этих пластин или, что то же самое, величине ЭДС, развиваемой батареей термопар. Таким образом, измерение теплового потока через корпус установки после соответствующей градуировки сводится к измерению величины ЭДС.

Определение элементного состава сотов проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре SpectrAA 220FS.

Метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии основан на явлении поглощения (абсорбции) резонансного излучения определяемого элемента атомным паром исследуемого вещества. Для этого анализируемые образцы переводили сначала в жидкое состояние растворением в соответствующих растворителях, а затем при распылении жидкого раствора исследуемого образца в атомизаторе происходил переход его в атомное состояние. В качестве атомиза-

тора использовали газовую горелку спектрофотометра с воздушно-ацетиленовым высокотемпературным пламенем.

Через пламя атомизатора пропускали излучение определенной для каждого химического элемента длины волны. В качестве источника резонансного излучения применяли лампы с полым катодом, изготовленным из определяемого металла или его сплава. Спектр лампы содержит линии металла катода и заполняющего лампу газа (неона). Часть излучения поглощается химическим элементом, находящимся в пламени; интенсивность прошедшего света измеряется с помощью фотоэлементов.

Интенсивность поглощенного света, согласно закону Ламберта-Бера, пропорциональна концентрации химического элемента:

$$D = \lg(I_0/I) = \varepsilon cd \quad (2)$$

где D - измеряемый сигнал (оптическая плотность), ε - коэффициент пропорциональности, зависящий от природы вещества, d - толщина поглощающего слоя, c - концентрация вводимого в пламя раствора анализируемого образца.

При каждом включении пламени строили калибровочный график – зависимости оптической плотности от концентрации элемента, используя набор стандартных растворов, по которому определяли концентрацию элемента в растворе исследуемого образца.

Концентрацию элемента в исследуемом образце определяли с учетом массы навески образца и объемом растворителя:

$$C = cV/m, \quad (3)$$

где C – концентрация элемента в исследуемом образце;

c – концентрация элемента в растворе исследуемого образца, определенная по калибровочному графику;

V – объем растворителя;

m – масса навески образца.

2.3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.3.1 Термогенез изолированных особей пчел

В результате проведенных исследований по микрокалориметрированию изолированных особей пчел было выявлено, что для них характерно колебание термогенеза с чередованием фазы интенсивного тепловыделения с периодами, когда термогенез падает до очень низкого уровня.

Были обнаружены индивидуальные различия между матками, трутнями и пчелами (таблица 14).

Таблица 14 – Термогенез изолированных особей пчел

	Масса, г	Продолжительность жизни, ч	Термогенез			
			абсолютный, мВт		относительный, мВт/г	
			минимальный	максимальный	минимальный	максимальный
Матка	0,21	16	0,4	2,8	1,90	13,33
Трутень	0,16	6	2	23,8	12,50	148,75
Пчела	0,1	32	0,2	3,2	2,0	32,0
Пчела с кормом	0,1	32	0,2	18,0	2,0	180,0

Особи имели разную продолжительность жизни. Пчелы находились в калориметрической ячейки от 16 до 32 ч. Наименьшая продолжительность жизни характерна для трутней (5-6 ч), однако динамика их термогенеза значительно отличается от термогенеза пчел.

Наибольшей стабильностью отличается термогенез рабочих особей.

Результаты измерений термогенеза пчел представлены на рисунке 11, из которого видно, что термогенез отдельных особей в условиях проведенных измерений после успокоения, вызванного пересадкой, составлял 1-2 мВт.

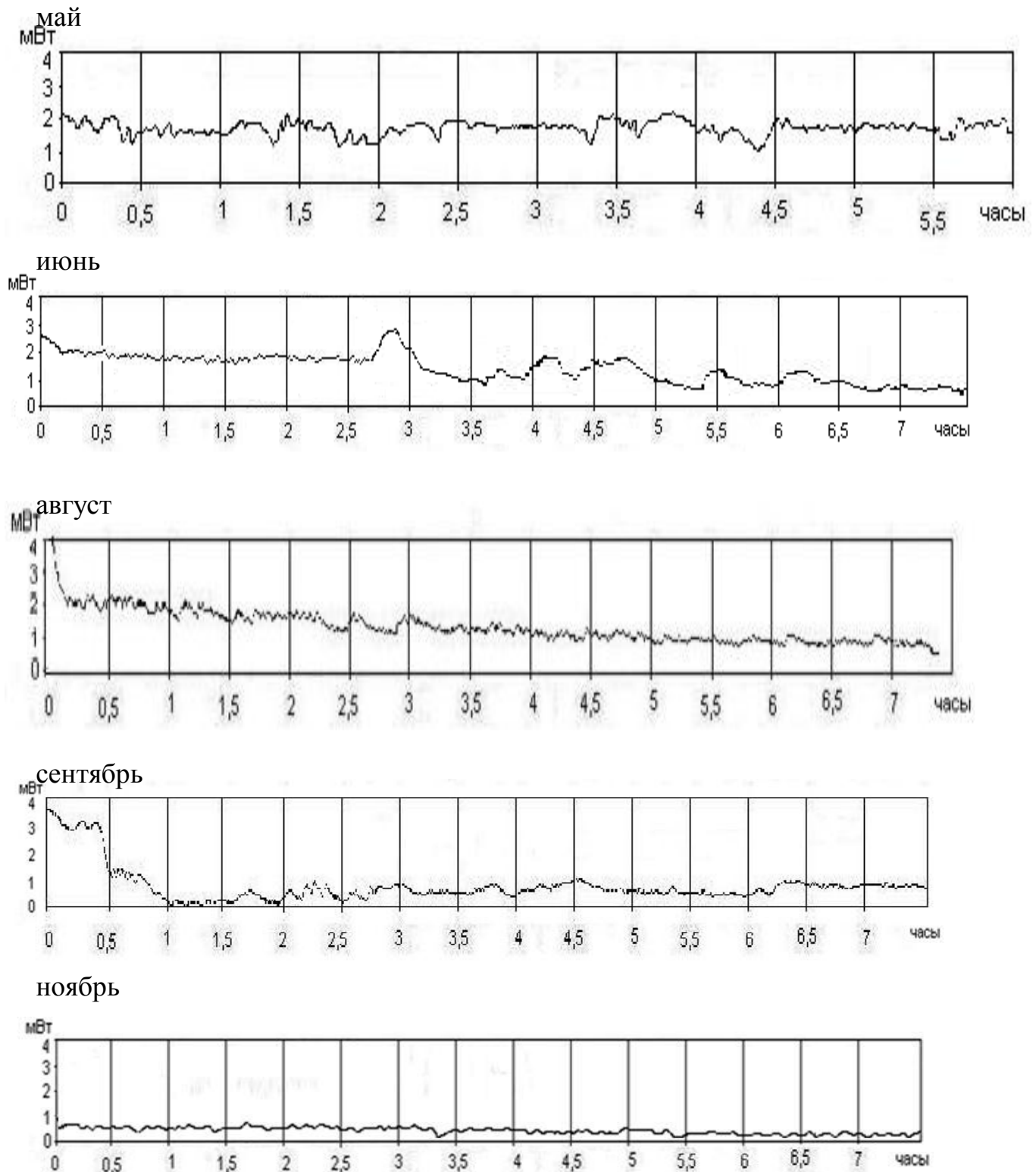
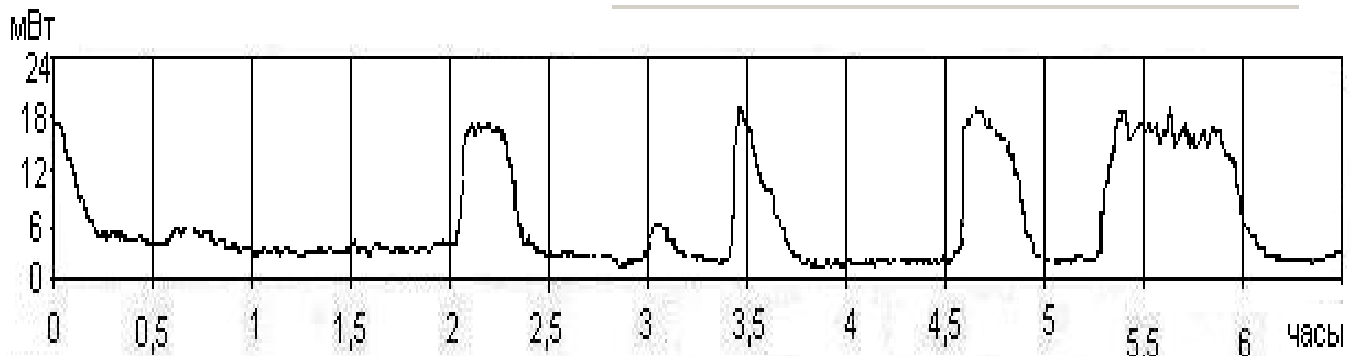


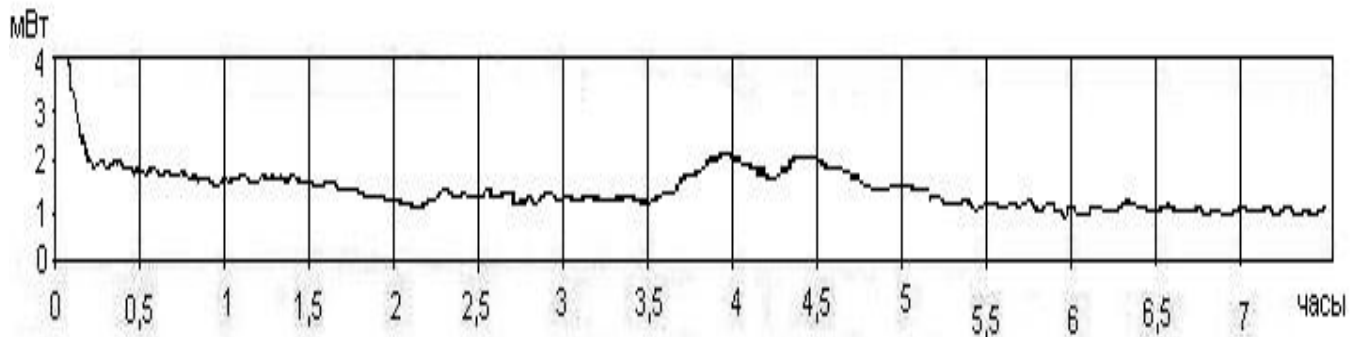
Рисунок 11 – Термогенез рабочей особи медоносной пчелы вне семьи в разные периоды года

Однако наличие внешних раздражителей приводит к изменению тепловыделений пчел.

На рисунке 12 представлена динамика тепловыделения пчелы при наличии в калориметрической ячейке корма. На нем хорошо прослеживается чередование активных и пассивных периодов, отчетливо видны всплески термогенеза до 18 мВт продолжительностью примерно 0,5 ч, в перерывах между ними термогенез составляет 6 мВт.



а, 1-е сутки



б, 2-е сутки

Рисунок 12 – Термогенез пчелы при наличии в микрокалориметрической ячейке корма

По истечении суток поведение пчелы стабилизировалось, термогенез держался практически на постоянном уровне около 1 мВт (рисунок 12б).

При отсутствии в ячейке корма таких всплесков не наблюдалось или они почти незаметны.

Для трутней характерны колебания термогенеза в довольно больших пределах (рисунок 13). Максимальные значения термогенеза достигают до 23,8 мВт.

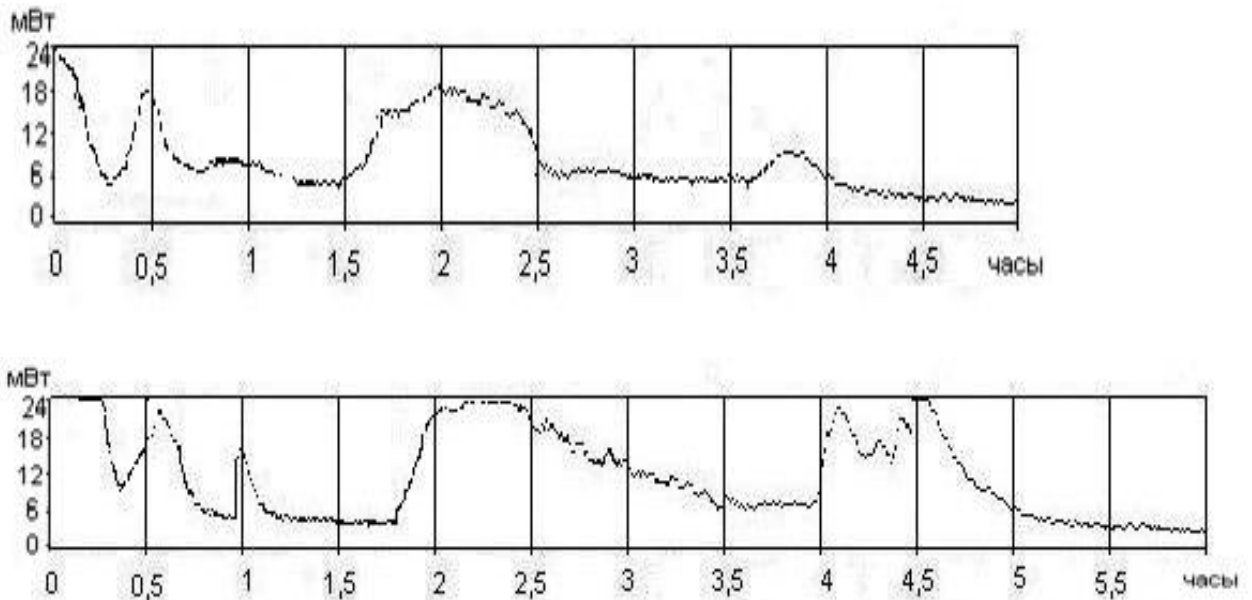


Рисунок 13 – Термогенез трутней, находящихся в микрокалориметрической ячейке

В улье трутни располагаются на крайних сотах, где температура ниже, чем в центральной части гнезда. Температура в микрокалориметрической ячейке 33°C возможно вызывает увеличение метаболизма, что приводит к большому расходу энергии, быстрому износу организма трутня и к такому непродолжительному времени жизни.

Колебания термогенеза от 0,1 до 2,5 мВт с частыми сменами активных и пассивных периодов характерны также и для маток (рисунок 14).

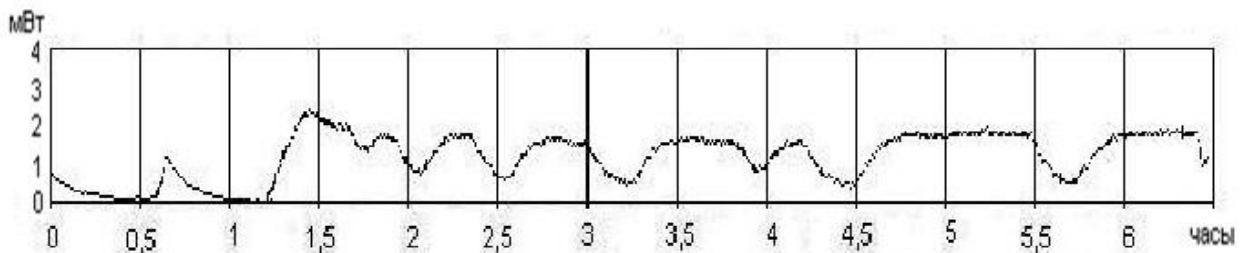


Рисунок 14 – Термогенез матки

Таким образом, термогенез пчел зависит от физиологического состояния особи, пола, влияния внешних раздражителей. В активном состоянии энергетические затраты изолированной пчелы достигают до 18 мВт. В пассивном – сокращаются до 0,2-0,5 мВт, хотя сопровождаются всплесками до 1,0-1,5 мВт. Полученные нами данные близки к данным, содержащимся в опубликованных источниках.

2.3.2 Термогенез отдельной особи в пчелином клубе

Нами рассматривался процесс формирования пчелиного клуба с точки зрения теплофизики, а именно формирование теплового режима в пчелиной семье на основе происходящих в ней процессов теплообмена.

Собравшись в небольшом ограниченном объеме, пчелы образуют систему тел с внутренними источниками метаболического тепла.

Отличительной особенностью пчелиного клуба как системы тел с внутренними источниками тепла является то, что каждый из «источников» представляет собой живой организм с характерными для него физиологическими особенностями и, прежде всего, интенсивностью обменных процессов. В конечном итоге это приводит к изменению мощности тепловыделения.

До последнего времени в публикациях по биологии пчелиного клуба отражалась в основном топография температурного поля, местонахождение особей и их активность. Предлагались различные механизмы, обеспечивающие гомеостаз семьи, которые носят предположительный характер и не позволяют судить о метаболизме пчел, особенно при переходе из теплового центра к поверхности.

Исследованиями М. Roth (1965), Т. Stussi (1967) и других установлено, что интенсивность обменных процессов изолированной пчелы зависит как от температуры, окружающей пчелу, так и состояния, в котором она находится (активного или пассивного).

В работах Т. Stussi (1967) подробно изучена интенсивность поглощения кислорода изолированными особями вне семьи. Проводя респирометрические опыты, он определял поглощение кислорода в расчете на одну особь, зимующих пчел в активном и пассивном состоянии, а также в зависимости от количества особей в группе, температуры внешней среды, концентрации кислорода.

Отдельные из результатов исследования Т. Stussi пересчитаны нами из потребления кислорода в тепловые единицы и представлены на рисунках 15, 16.

Перерасчет производился по следующим соотношениям:

$$Q = K_1 \cdot V_{O_2}, \quad (4)$$

где Q – выделенное тепло, ккал;

V_{O_2} – объем поглощенного кислорода, л;

K_1 – коэффициент окисления, для глюкоидов $K_1 = 5,05$, липидов $K_1 = 4,73$, протеидов $K_1 = 4,64$

Если объем поглощенного кислорода измеряется в микролитрах ($\mu\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$), то: $Q = 5 \cdot 10^{-6} \cdot V_{O_2}$, ккал/ч.

Учитывая, что $1 \text{ ккал} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж}$, $Q = 5 \cdot 10^{-6} \cdot V_{O_2} \cdot 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 20,9 \cdot 10^{-3} \cdot V_{O_2}$, Дж/ч, или $Q = \frac{20,9 \cdot 10^{-3} V_{O_2}}{3600} = 0,581 \cdot 10^{-5} \cdot V_{O_2}$ Дж/с.

Так как $1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$, то $P = 0,581 \cdot 10^{-5} V_{O_2}$, Вт.

Если P выразить в милливаттах, то:

$$P = 0,581 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 V_{O_2} = 0,581 \cdot 10^{-2} V_{O_2}, \text{ мВт.}$$

Т. Stussi выделил в поведении пчел активное и пассивное состояние. В каждом состоянии он выделил по две фазы.

Если в активном (дневном) состоянии с ростом внешней температуры тепловыделение падает (рисунок 15), то в пассивном (ночном) состоянии, наоборот, с повышением внешней температуры термогенез возрастает (рисунок 16). Из рисунков 15, 16 видно, что в обоих случаях интенсивность термогенеза пчелы зависит от температуры, однако эти зависимости отличаются.

Пчела зимней генерации в активном состоянии при 15°C выделяет 30 мВт, в пассивном – 0,1 мВт. При повышении окружающей температуры до 35°C термогенез пчелы в активном состоянии падает до 5,7 мВт, а в пассивном состоянии растет до 1,1 мВт.

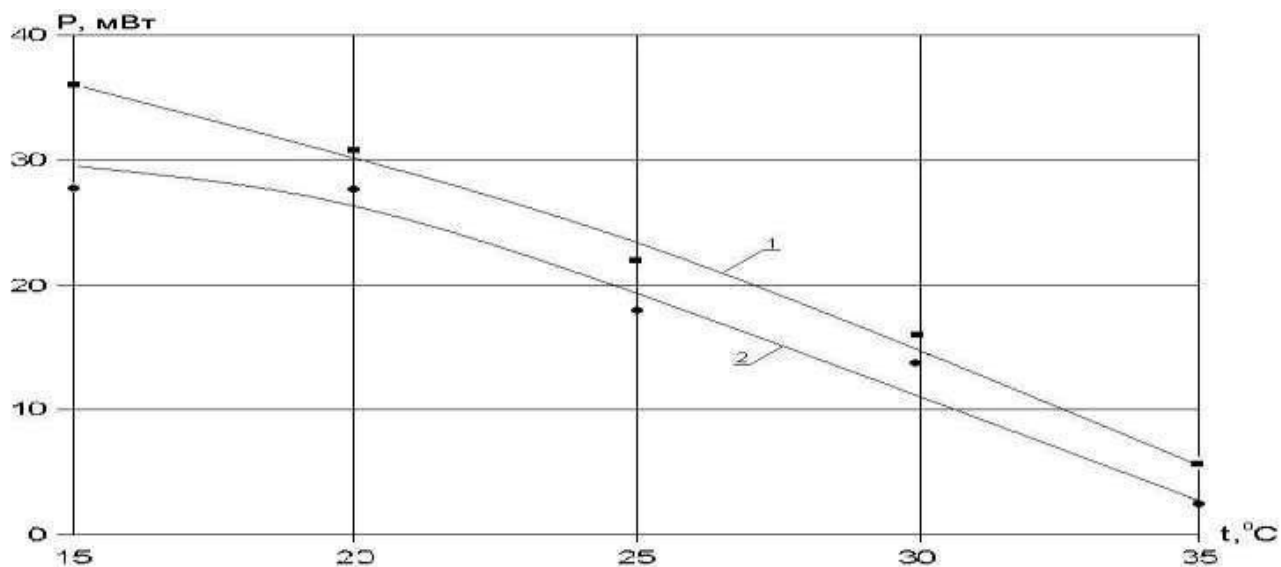


Рисунок 15 – Зависимость термогенеза пчелы от внешней температуры в активном состоянии (по данным Т.Stussi, 1967): 1 – летней генерации 2 – зимующей генерации

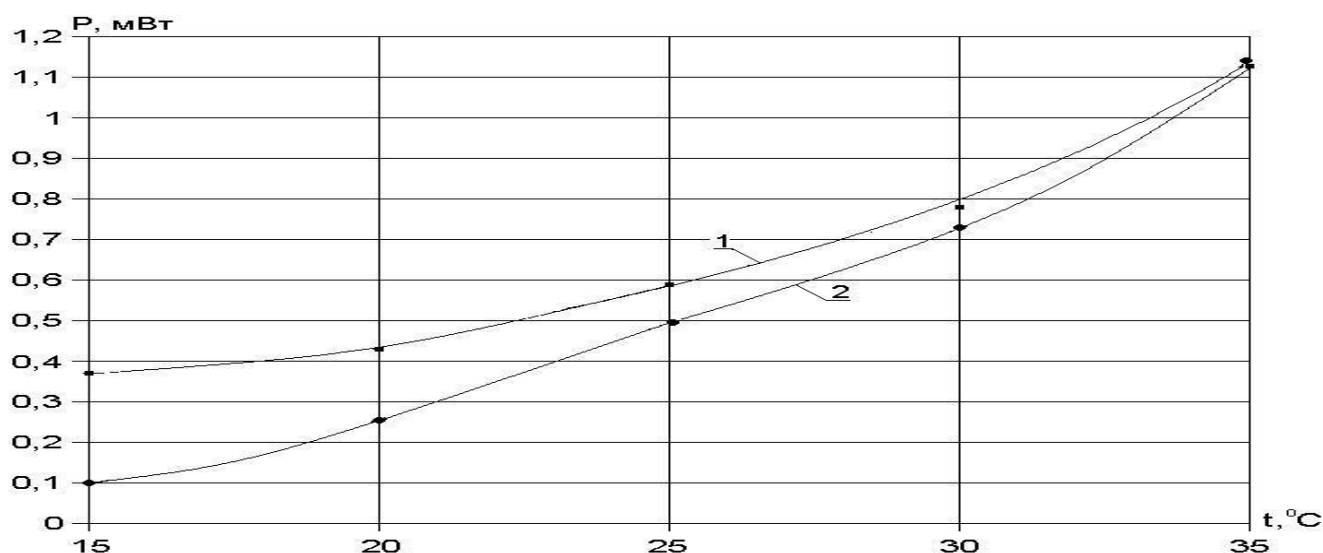


Рисунок 16 – Зависимость термогенеза изолированной пчелы от внешней температуры в пассивном состоянии: 1 - летней генерации 2 - зимующей генерации

В активном состоянии тепловыделения изолированных от семьи пчел довольно значительны. Коэффициент K равный отношению тепловыделения пчелы в активном состоянии к тепловыделению в пассивном при 15°C составляет 177,5. Однако по мере повышения внешней температуры это соотношение сокращается и при 35°C составляет всего 5,2.

Переход к пассивному состоянию, как приспособительная реакция на понижение температуры с целью уменьшения теплопотерь, характерен для многих насекомых, ведущих одиночный образ жизни.

Пчелы являются социальными насекомыми. Определить в каком состоянии находятся пчелы внутри клуба, где температура в тепловом центре достигает 36°C , а на поверхности падает до 12°C , сложно. Для этого мы воспользовались расчетно-аналитическим методом, основываясь на известных опытах Н. Esch (1960), который в ходе своих опытов наклеил на тело пчелы миниатюрные термодатчики, из которых одна контролировала температуру груди, вторая – брюшка, третья – температуру воздуха на расстоянии 5 мм от этой пчелы. Помощью тонких проводников термодатчики были подсоединены к самописцам. Пчелы были выпущены в гнездо зимующей семьи и в течение длительного времени могли перемещаться с периферии клуба в центр и обратно. Полученная диаграмма температурного режима пчелы в зимнем клубе представлена на рисунке 17.

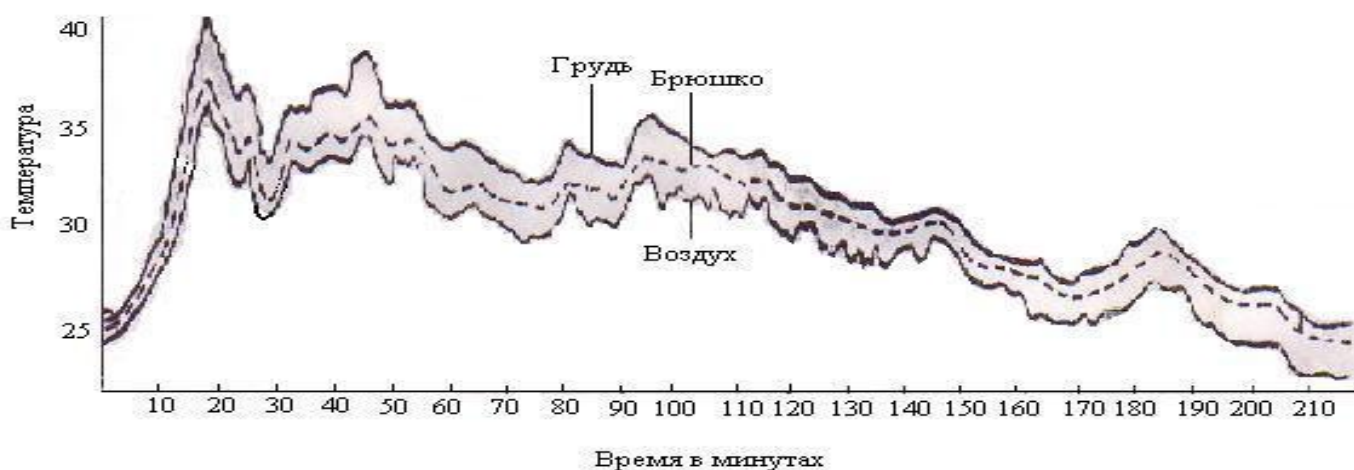


Рисунок 17 – Температура тела пчелы в зимнем клубе (Н. Esch, 1960)

В течение всего времени наблюдений температура тела пчелы никогда не падала ниже 18°C даже на поверхности клуба, хотя вне клуба у летка она опускалась до 5°C . Холодовое раздражение никогда не вызывало внезапного скачкообразного повышения температуры тела пчел в поверхностной части клуба.

Полученная Н. Esch диаграмма позволяет оценить интенсивность тепловыделения отдельной особи в зимнем клубе и ее зависимость от температуры, непосредственно окружающей данную особь.

По данной диаграмме мы определили зависимость температуры груди пчелы от температуры воздуха, окружающего ее в данный момент.

Полученные результаты представлены на рисунке 18.

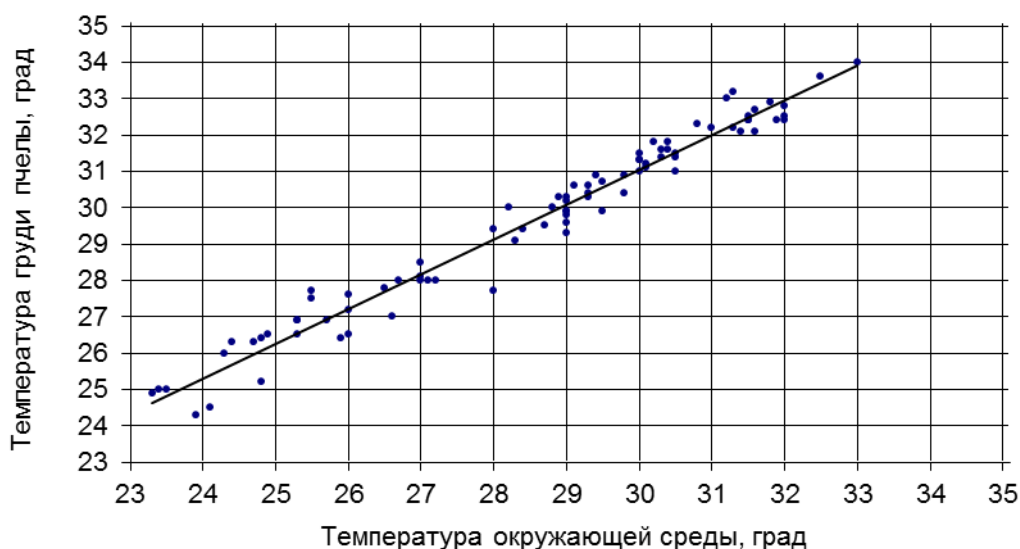


Рисунок 18 – Температура груди пчелы в зависимости от температуры окружающей среды

Как следует из рисунка 18, такая зависимость имеет практически линейный характер и в диапазоне температур от 23 до 34°C может быть выражена соотношением: $t_{\text{пч}} = 1,17 t_{\text{ср}} - 2,4$ (5)

На рисунке 19 данная зависимость (прямая 1) сопоставлена с зависимостью температуры тела спокойно сидящей пчелы от окружающей температуры, полученная G.B. Pirsch (прямая 2). G.B. Pirsch (1923) определил температуру

пчел с помощью проколов их тела тонкой термометрической иглой. При температурах, начиная с 9°C, пчелы помещались в холодильнике, при температурах до 27°C - в комнате, а начиная с 27°C – в термостате. При всех измерениях после прокола до начала измерений делалась десятиминутная выдержка.

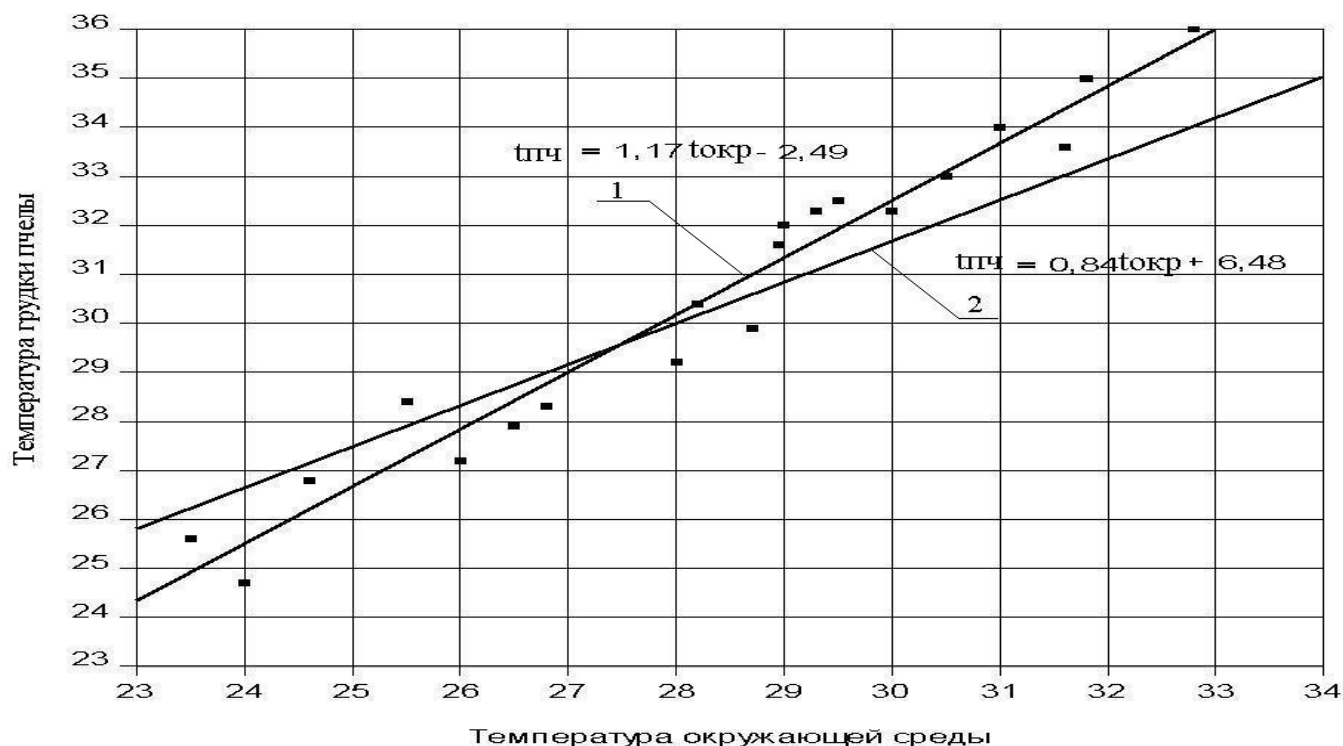


Рисунок 19 – Температура грудки отдельных особей пчел:

1 – пчела в зимнем клубе (по Н. Esch, 1960);

2 – пчела, сидящая вне гнезда по (G.V. Pizsch, 1923)

Горячий спай термопары помещался в грудную полость и держался там в течение 7 мин при ежеминутной записи данных.

Автор получил очень однородные результаты. Максимальная температура, при которой пчелы оставались живыми составила 46-48 °С, точка замерзания -1 °С.

По результатам его наблюдений температура отдельно взятой пчелы в спокойном состоянии в пределах температур 14-39 °С практически линейно зависит от температуры окружающей среды. Им предложена формула, определяющая эту зависимость:

$$t_{пч} = 6 + 0,86 t_{ср} \quad (6)$$

Из рисунка 19 видно, что зависимости полученные G.V. Pirsch и H. Esch довольно близки. Как известно, G.V. Pirsch проводил свои наблюдения над бездеятельными пчелами, находящимися в пассивном состоянии. Это позволяет сделать заключение, что пчелы в клубе зимой находятся в спокойном бездеятельном состоянии и их энергетические затраты могут быть идентифицированы с энергетическими затратами свободно сидящих пчел.

В условиях пчелиного клуба при высокой скученности, когда большая часть пчел расположена в ячейках, размер улочки близок к 12 мм и пространство между особями практически отсутствует, условия развития конвекции минимальны и режим их теплообмена близок к пленочному, при котором $Nu=0,5$;

$$Nu - \text{Критерий Нуссельта} \quad Nu = \frac{\alpha_k L}{\lambda}, \quad (7)$$

где: α_k – коэффициент теплоотдачи конвекции; Вт/м², град.;

L – геометрический параметр (диаметр, высота и т.п.), м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·град.,

$$\text{т.е. } \frac{\alpha_k \cdot d_{пч}}{\lambda_{возд}} = 0,5$$

$$\text{Откуда } \alpha_k = \frac{0,5 \cdot \lambda_{возд}}{d_{пч}} = \frac{0,5 \cdot 0,026 \cdot 10^3}{4,4} = \frac{13}{4,4} \approx 3,0 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град.}$$

$$\text{Тогда потери тепла одной пчелой составят } P_{пч} = \alpha_k \cdot F_{пч} \cdot \Theta, \quad (8)$$

где: $F_{пч} = 1,46 \text{ см}^2 = 1,46 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – площадь тела пчелы;

Θ – разность температур пчелы и ее окружения, град;

Воспользовавшись экспериментальными данными H. Esch (рисунок 17), из которых известно как меняется температура тела пчелы в зависимости от окружающей её температуры, можно подсчитать термогенез подопытной особи в зимнем клубе.

Полученные расчетные значения термогенеза нанесены на график, где представлены кривые, соответствующие термогенезу изолированных особей, находящихся в пассивном состоянии (рисунок 20).

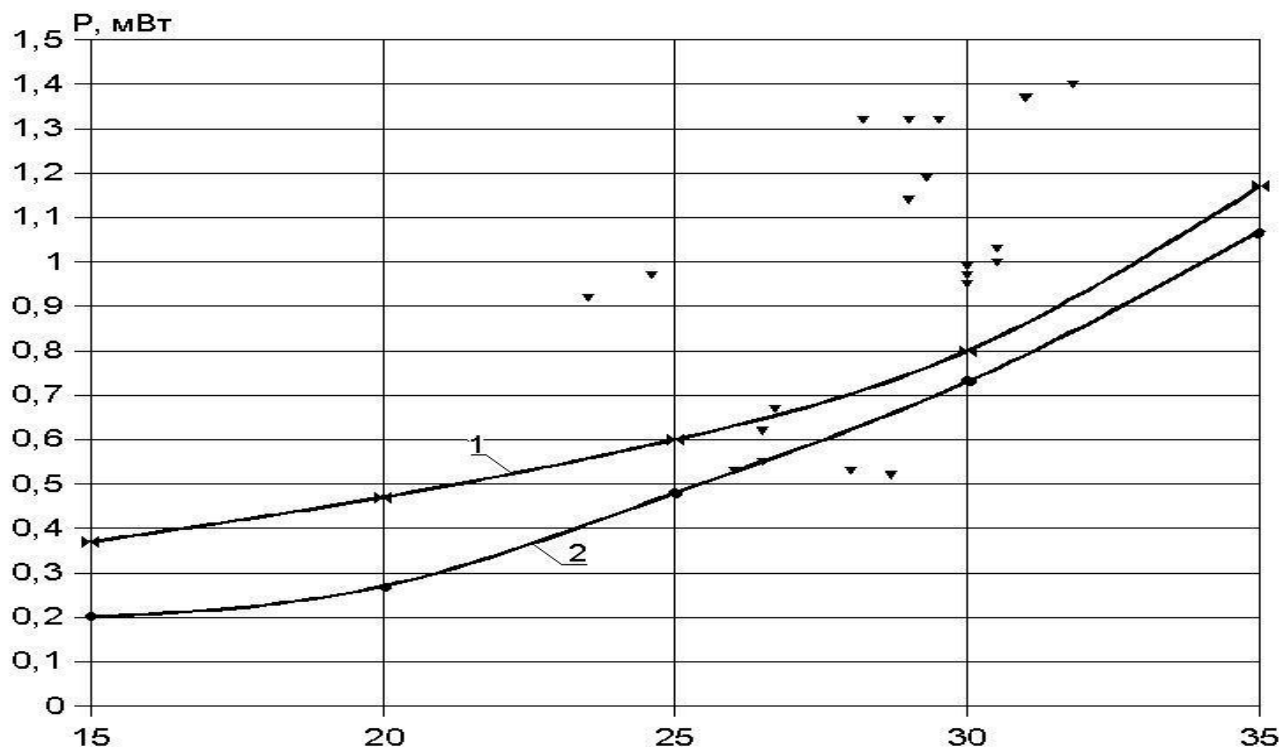


Рисунок 20 – Термогенез особей в пчелином клубе зимой:

1 – особи летней генерации в спирометре (Т.Stussi, 1967)

2 – особи зимней генерации в спирометре (Т.Stussi, 1967)

▼ – в клубе с использованием опытных данных (Н.Esch,1960).

Из рисунка 20 видно, что точки, отображающие термогенез отдельной особи в пчелином клубе хотя и имеют довольно значительный разброс, соответствуют тренду термогенеза пассивно сидящей особи вне клуба, т.е. с повышением окружающей температуры тепловыделение растет, с понижением – падает.

Таким образом, несмотря на социальный образ жизни, пчелы сохранили приобретенный насекомыми в результате длительной эволюции образ жизни – в состоянии диапаузы переходить в пассивное состояние и за счет снижения температуры своего тела сводить к минимуму энергетические затраты.

2.3.3 Термогенез пчелиной семьи в зимний период

С помощью улья-калориметра были проведены экспериментальные исследования энергетических затрат пчелиной семьи путем регистрации термогенеза в осенне-зимний период. Исследовали термогенез пчелиных семей среднерусской, карпатской, серой горной кавказской породы и породного типа «Приокский».

В динамике общий термогенез семьи изменяется в диапазоне от 4 до 20 Вт и в основном зависит от колебаний внешней температуры (рисунок 21).

Температура внешней среды является основным фактором, определяющим термогенез зимующей на воле пчелиной семьи. Полученные нами данные, показывают, что с понижением температуры термогенез семьи возрастает.

Зависимость термогенеза от наружной температуры за ряд лет представлена на рисунке 22, из которого видно, что повышение термогенеза при понижении внешней температуры характерно для пчел разных пород.

Видно, что в условиях зимовки на открытом воздухе энергетические затраты пчелиных семей разных пород, практически не отличаются друг от друга. Наименьшие затраты (4-5 Вт) наблюдаются при положительных температурах 7-10 °С. С понижением наружной температуры энергозатраты семьи растут и при -20 °С доходят до 15-18 Вт.

Наименьшие энергетические затраты семьи соответствуют температуре образования клуба, которая может быть определена с помощью диаграммы её термогенеза.

Минимальный уровень термогенеза при температуре образования клуба (7-13 °С) можно считать критерием благополучной зимовки на воле в южных регионах с положительной зимней температурой.

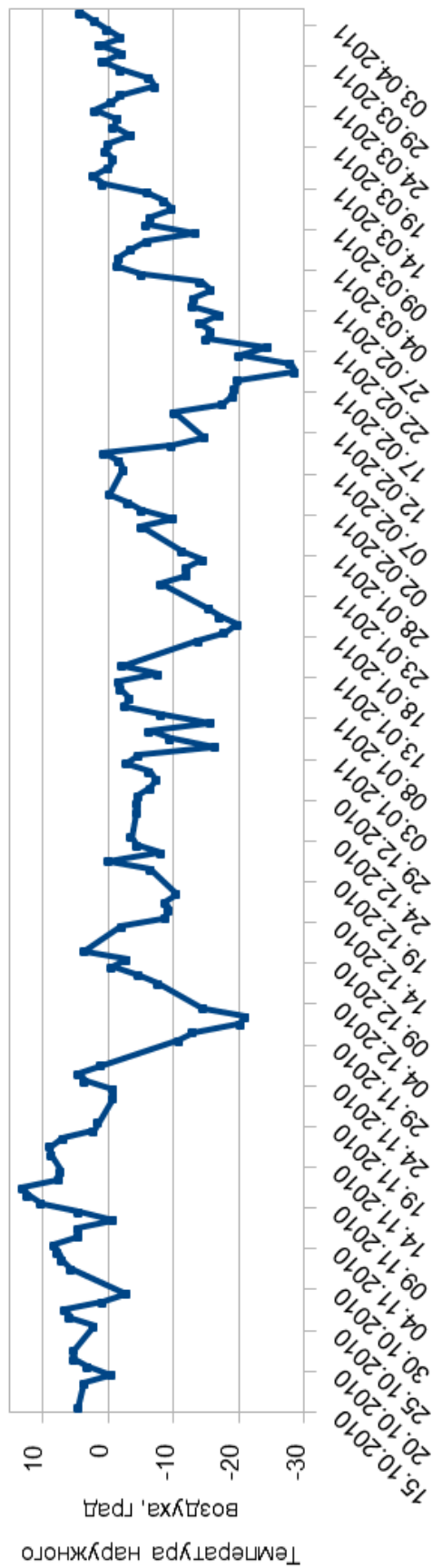
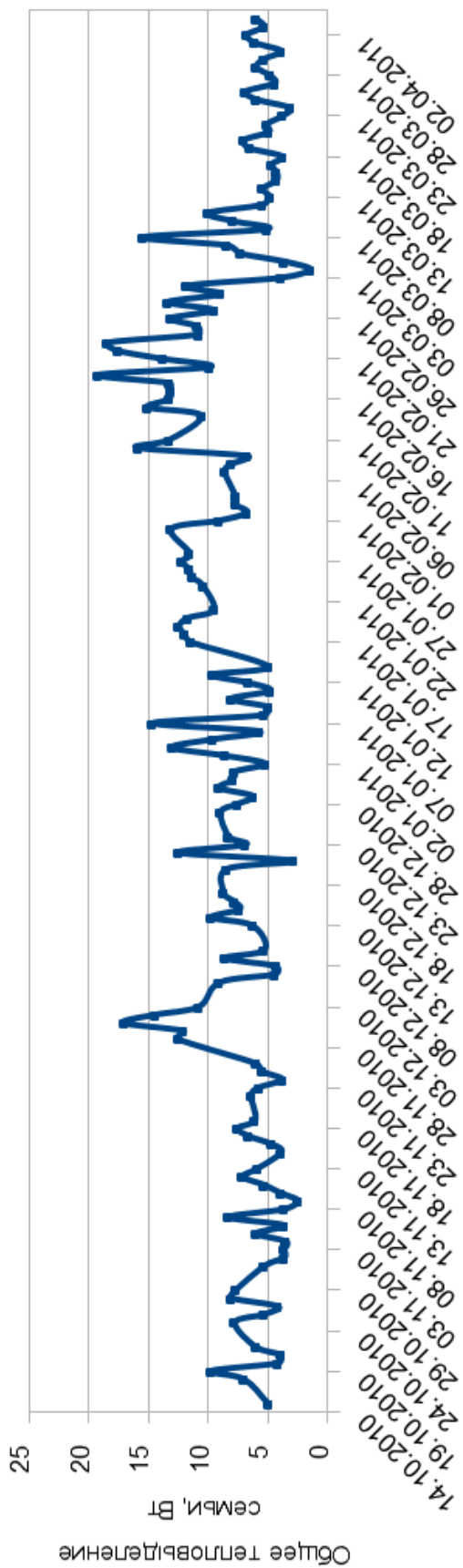


Рисунок 21 – Динамика термогенеза пчелиной семьи в зимний период

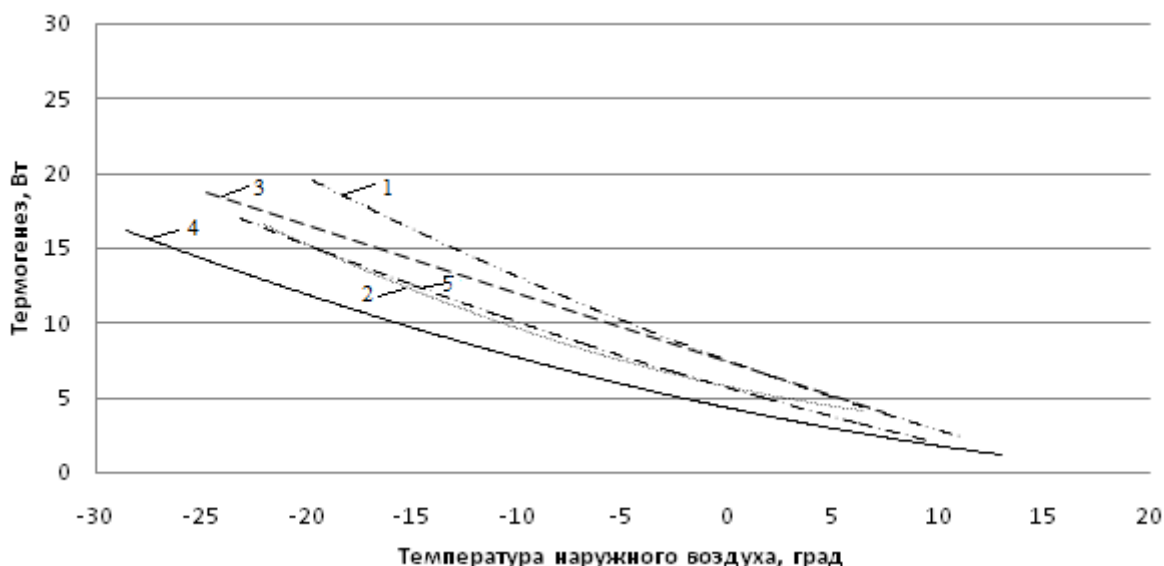


Рисунок 22 – Зависимость термогенеза пчелиной семьи от внешней температуры в зимний период:

- 1- пчелиная семья серой горной кавказской породы 2006/07 г.;
- 2 – пчелиная семья среднерусской породы 2007/08 г.;
- 3 - пчелиная семья карпатской породы 2009/10 г.;
- 4 - пчелиная семья среднерусской породы 2010/11 г.;
- 5 - пчелиная семья породного типа «Приокский» 2007/08 г.

При зимовке в помещениях температуру, соответствующую минимуму термогенеза, нельзя принимать за оптимум. При такой температуре пчелы имеют склонность к вылетам. Температуру в помещениях для зимовки пчел следует поддерживать несколько ниже температуры образования клуба, а именно: при содержании средних по массе семей – около 0°C , сильных – $0 \dots -2^{\circ}\text{C}$. При более низких температурах клуб более устойчив, однако уровень термогенеза возрастает.

В ходе проведения опыта по определению доли каждого из элементов ограждения в общих потерях тепла ульем было установлено, что наибольшее количества тепла теряется через стенки улья.

На рисунке 23 приведена зависимость теплотерь отдельными элементами улья от температуры наружного воздуха.

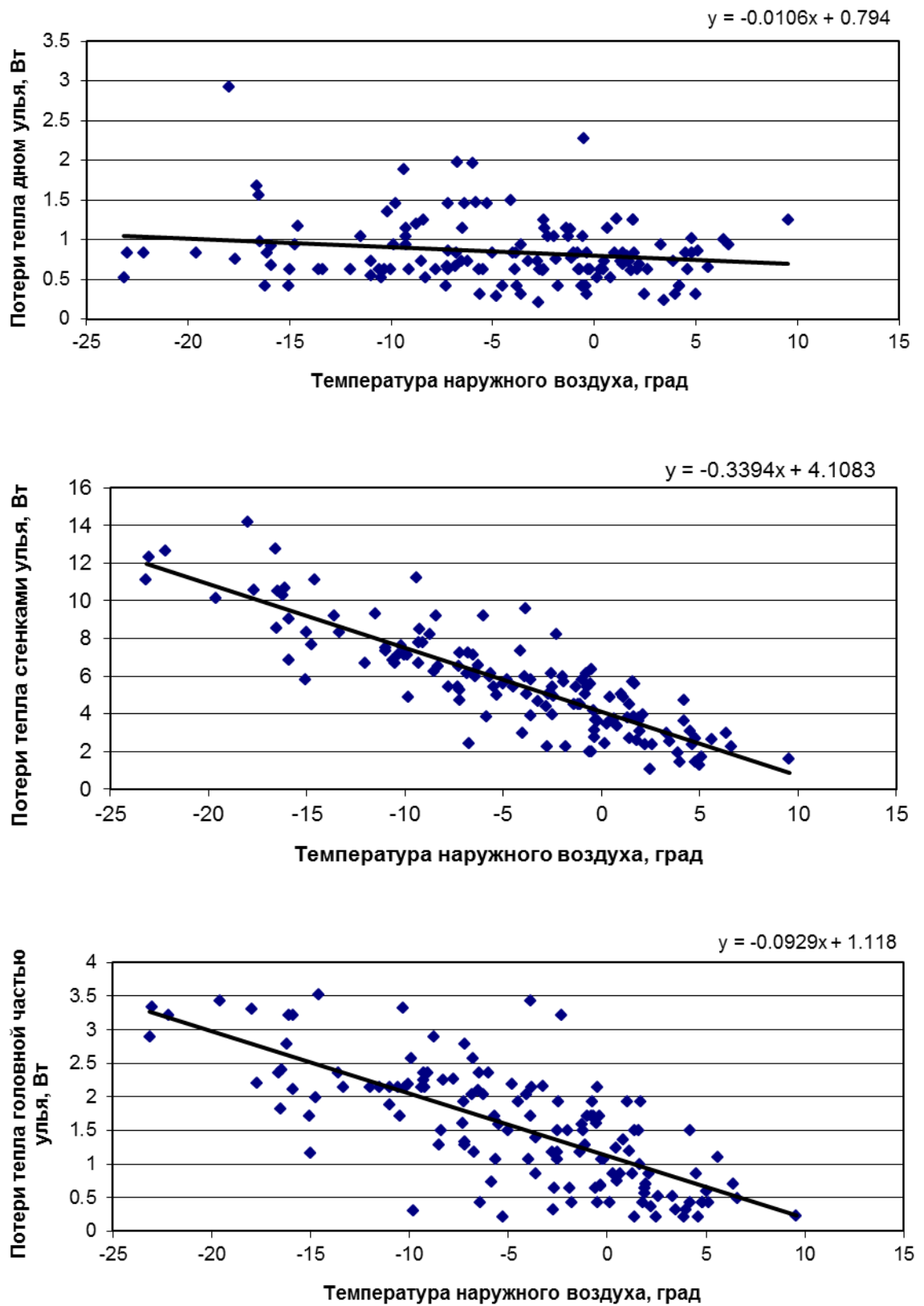


Рисунок 23 – Зависимость теплотерь от температуры наружного воздуха

Наибольшее количество продуцируемого пчелиной семьей тепла приходится на корпус и меняется от 1,05 до 14,19 Вт в зависимости от изменения температуры наружного воздуха. Потери тепла дном составляли 0,21-2,92 Вт, их значение наиболее постоянные и слабо изменяются при колебании наружной температуры.

Передача тепла через крышу, включая подкрышник, также невелика – 0,21-3,52 Вт.

Процентное соотношение тепловых потерь показано на рисунке 24.

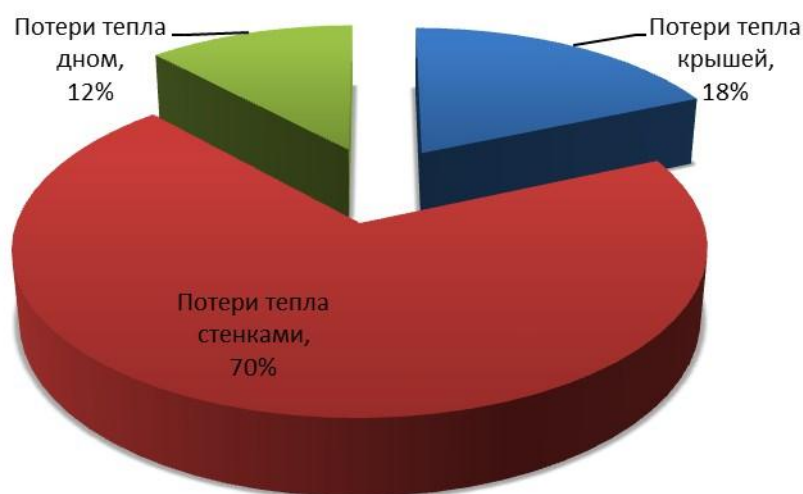


Рисунок 24 – Потери тепла отдельными элементами улья, %

Как видно из рисунка 25, изменение внешней температуры не оказывает влияния на перераспределение процентного соотношения тепловых потерь между элементами улья.

Через стенки корпуса теряется в среднем 69,74 %, через дно – 11,84 % и через крышу с подкрышником – 18,41 %. Роль дна и крыши улья в общих потерях тепла невелика. Поэтому нет необходимости в их дополнительном утеплении.

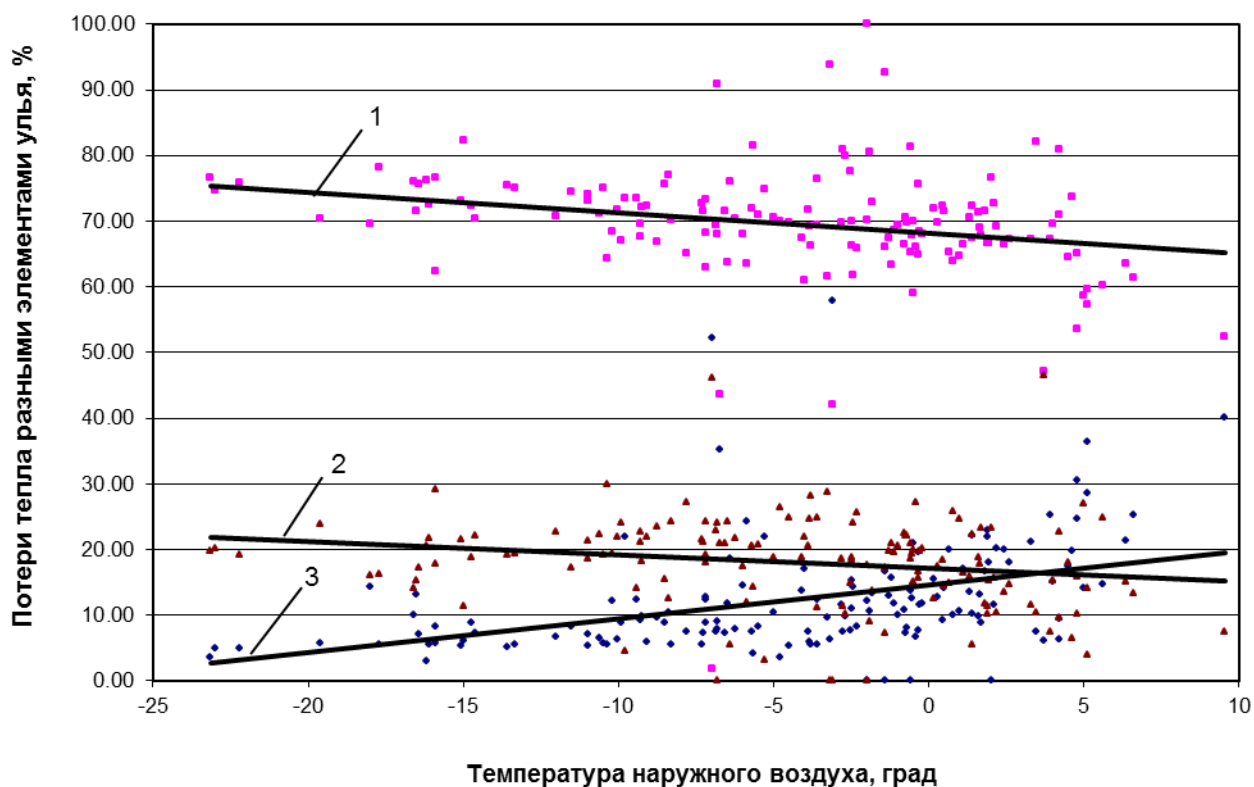


Рисунок 25 – Процентное соотношение теплотерь в зависимости от температуры:

1-потери тепла стенками улья, %;

2-потери тепла крышей улья, %;

3-потери тепла дном улья, %;

Также нами был проведен опыт по сравнению энергетических затрат пчелиных семей, зимующих в помещении и на открытом воздухе. В опыте использованы пчелиные семьи породного типа «Приокский» одинаковой силы (10 улочек) с одинаковым запасом кормов.

Одни семьи были заселены в ульи-калориметры и устанавливались под навесом на открытой веранде, другие в заглубленном зимовнике.

В процессе исследований регистрировали тепловыделения семей, а также температуру воздуха в семье и вне её.

Динамика термогенеза пчелиных семей, представлена на рисунке 26.

Температура в зимовнике отличается большей стабильностью по сравнению с температурой наружного воздуха. Если температура внешней среды во время зимовки колеблется от +10 до -25 °С, то в зимовнике она находится в диапазоне 0...-4 °С с редкими отклонениями от этого значения.

Более стабильный температурный режим в зимовнике отражается и на термогенезе семьи. Он держится практически на постоянном уровне и составляет в среднем 5 Вт с незначительными всплесками до 9 Вт, как следствие понижения температуры в зимовнике. Максимальное значение тепловыделения пчелиной семьи на открытом воздухе 20 Вт, его среднее значение 8 Вт.

Таким образом, на изменение внешней температуры пчелы реагируют изменением уровня теплопродукции семьи, характеризующего уровень обмена веществ.

Определив зависимость термогенеза от температуры наружного воздуха (рисунок 27), видно, что с понижением внешней температуры с 10 до -25 °С термогенез пчелиных семей увеличивается в среднем от 4 до 20 Вт. Вследствие меньшего предела колебания температуры в зимовнике пчелами тратится меньше энергии по сравнению с пчелиными семьями, зимующими на воле, их максимальные энергозатраты не превышают 9 Вт.

Из рисунка 27 видно, что в пчелиной семье, зимующей в зимовнике, тратится меньше энергии по сравнению с пчелиной семьей, зимующей на воле, вследствие меньшего колебания температуры. Увеличение энергетических затрат приводит к большему износу пчел в семье, что сказывается на результатах зимовки. По итогам весенней ревизии сила пчелиной семьи, зимовавшей в зимовнике, составила 8 улочек пчел, на воле – 5,5 улочек пчел.

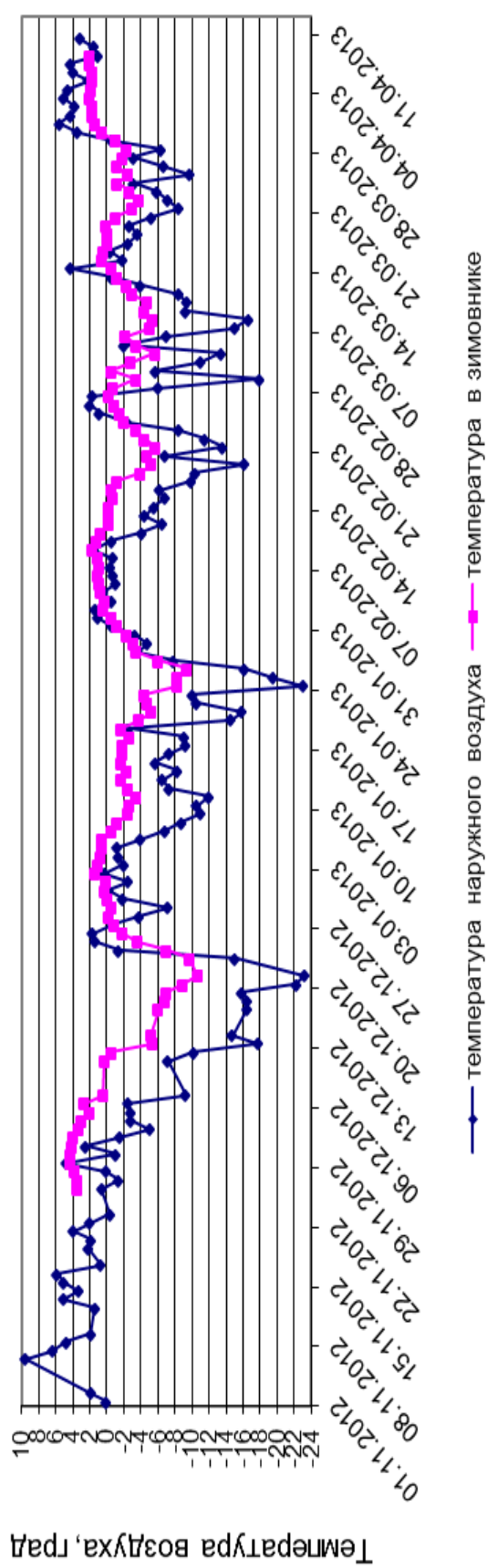
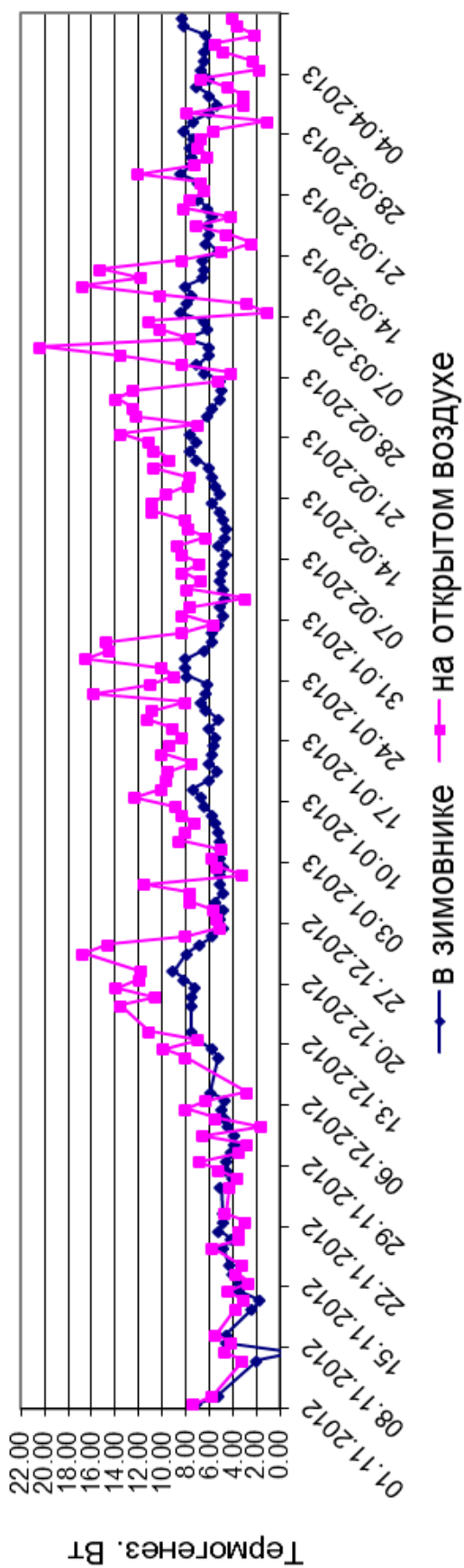


Рисунок 26 — Динамика термогенеза пчелиной семьи зимующей в зимовнике и на открытом воздухе

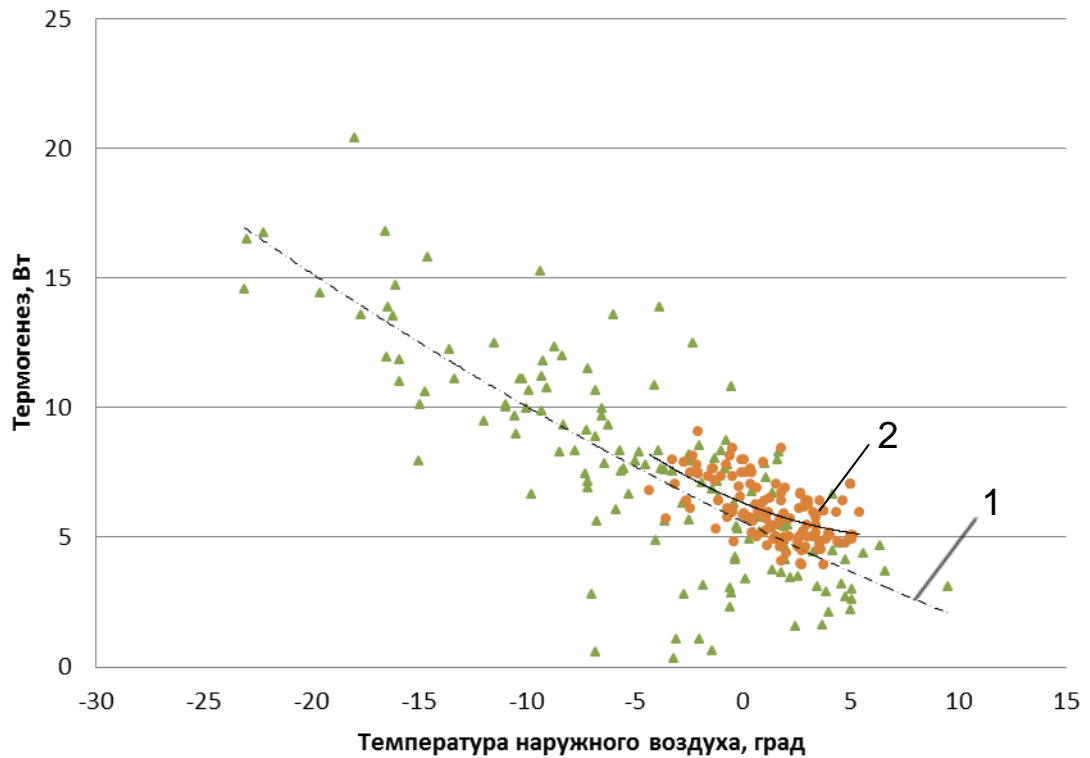


Рисунок 27 – Зависимость термогенеза от внешней температуры в зимний период пчелиной семьи, зимующей 1 – на воле, 2 – в зимовнике.

Дополнительные энергетические затраты отражаются также и на количестве потребляемого пчелами корма.

Используя ранее разработанную методику (Касьянов А.И., 2006), был определен ежемесячный расход кормов пчелиной семьей в зимний период. Результаты расчета приведены в таблицах 15, 16 и на рисунке 28.

Таблица 15 – Расход кормов пчелиной семьей при зимовке на открытом пространстве

Месяц	Σq , Вт	Энергозатраты семьи		Расход меда, кг
		Вт · час	кДж	
Ноябрь	94,56	3197,68	11511,64	0,87
Декабрь	208,51	6205,26	22338,93	1,70
Январь	289,03	6936,60	24971,76	1,90
Февраль	242,11	6433,08	23159,07	1,75
Март	238,55	5725,08	20,610,29	1,56
Итого				7,78

Таблица 16 – Расход кормов пчелиной семьей при зимовке в специальном помещении

Месяц	Σq , Вт	Энергозатраты семьи		Расход меда, кг
		Вт · час	кДж	
Ноябрь	80,74	3003,34	10812,03	0,82
Декабрь	146,08	4207,10	15145,57	1,14
Январь	183,44	4402,56	15849,22	1,2
Февраль	154,14	3699,24	13317,26	1,01
Март	211,36	5072,52	18261,07	1,38
Итого				5,55

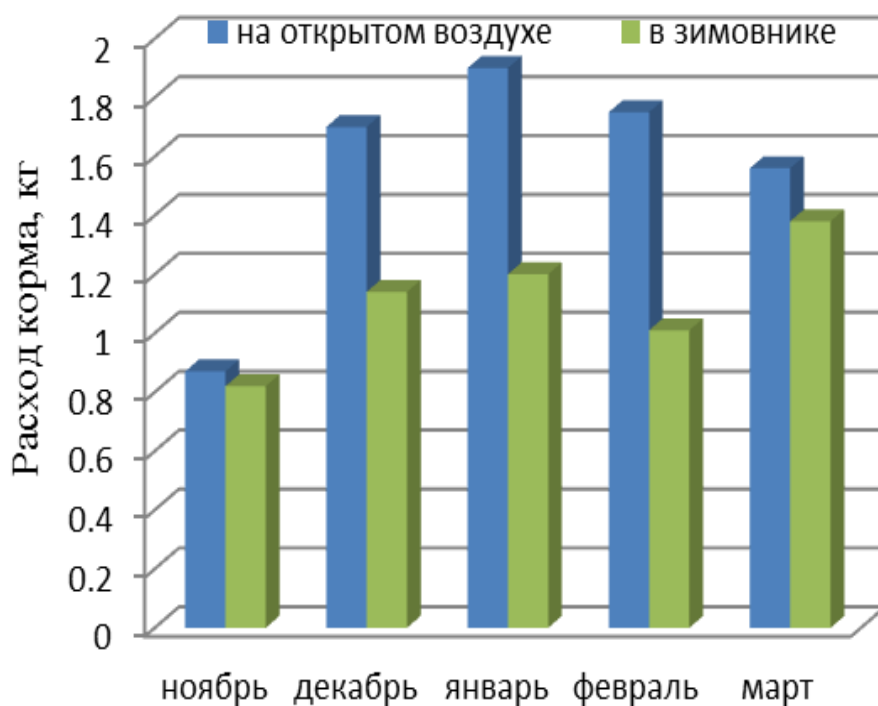


Рисунок 28 – Расход кормов семьями, зимовавшими в зимовнике и на воле

Из таблиц 15, 16 и рисунка 28 видно, что расход кормов пчелиной семьей зимовавшей в зимовнике, за период зимовки составил 5,5 кг, семьей, зимую-

щей на воле – 7,8 кг. Наибольшее потребление корма при зимовке вне помещения приходится на январь (1,9 кг), когда наблюдается минимальная температура наружного воздуха, несколько меньше пришлось на февраль (1,75 кг) и март (1,56 кг), наименьшие затраты кормов наблюдаются в ноябре (0,87 кг).

2.3.4 Теплофизические основы формирования теплового режима пчелиного клуба

Как показывают результаты проведенных нами калориметрических исследований, тепловыделение одной особи составляет 0,2 мВт, пчелиный клуб уже при 12°C способен выделить 5 Вт, а при -20°C –18-20 Вт энергии. Этой мощности пчелам хватает для того, чтобы поднять внутреннюю температуру до необходимого уровня.

Собираясь вместе, пчелы концентрируют выделяемую ими энергию в ограниченном объеме. Энергетическим потенциалом, обеспечивающим жизнедеятельность пчелиного клуба зимой является принцип концентрации энергии в ограниченном объеме. Таким образом образуется система тел с внутренними источниками тепла (т.е. каждая отдельная пчела представляет собой источник тепла). Тепло в такой системе выделяется по всему объему, а в окружающую среду отдается только с поверхности.

Этому процессу мешает тепловое сопротивление массива. Если бы теплового сопротивления не было, т.е. наблюдалась бы хорошая теплопроводность, температурное поле было бы равномерное. При наличии сопротивления тепло плохо уходит и расходуется на повышение температуры внутри пчелиного клуба. Чтобы достигнуть поверхности клуба, тепло проходит через слои находящихся в нем особей, и каждый слой оказывает сопротивление этому потоку, а также выделяет свою порцию тепла. Таким образом нарушается стационарное состояние температурного поля, в результате чего температура в центре превышает температуру поверхности.

Но температура в центре не может подниматься выше 36 °С, а на поверхности не может опускаться ниже 12 °С. Если температура на поверхности опускается ниже 10-12 °С под воздействием низких наружных температур пчелы, находящиеся в корке клуба, вынуждены вырабатывать дополнительное тепло для согревания, еще больше препятствуя его оттоку от центра.

А нагревание происходит до тех пор, пока температура в центре клуба не достигнет критического значения, при котором наступает сильный перегрев. Для пчел это значение составляет 36-37°С. Если температура увеличивается больше, пчелы покидают клуб, переходя на пустые соты или кормовые запасы, клуб в этом случае деформируется. Это показано в работе В.С. Коптева (1959).

В теплофизике существует специальный критерий Померанцева « P_0 », характеризующий процессы с внутренними источниками тепла.

Критерий Померанцева P_0 имеет смысл обобщенной интенсивности внутренних источников теплоты в условиях нестационарного температурного поля. Критерий P_0 характеризует отношение количества теплоты, выделяемой в единицу времени в объеме 1 м², к максимально возможному количеству теплоты, передаваемой теплопроводностью через единицу поверхности 1 м при толщине стенки l :

$$P_0 = \frac{q_v \cdot l^2}{\lambda \cdot \Delta t}, \quad (9)$$

где q_v – удельная мощность тепловыделения, Вт/м³;

l – определяющий размер образования, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·град;

Δt – разность температур клуба и внешней среды, град.

Ориентируясь на этот критерий, можно определить температуру в центре пчелиного клуба в зависимости от поверхностной.

В пчелиной семье и в зимнем клубе, в частности, метаболическое тепло выделяется по всему объему, а отдается в окружающую среду с наружной поверхности. Однако для того чтобы достигнуть охлаждаемой поверхности, оно должно пройти через слои находящихся там особей, причем каждый слой не

только выделяет свою порцию тепла, но и оказывает сопротивление тепловому потоку из нижележащих слоев.

Это приводит к тому, что по направлению к центру температура всегда возрастает, а между поверхностью и центром образуется температурный перепад. Величина этого перепада в общем случае при стационарном режиме, который для пчелиного клуба зимой является наиболее предпочтительным, может быть определена из дифференциального уравнения теплопроводности, которое при наличии внутренних источников тепла имеет вид:

$$\nabla^2 t + \frac{q_v}{\lambda} = 0, \quad (10)$$

где: $\nabla^2 t$ - оператор Лапласа;

t - температура в какой-либо точке, град.;

q_v - плотность объемного тепловыделения, Вт/м³;

λ - коэффициент теплопроводности клуба, Вт/м·град.

Если рассмотреть температурное поле в простейшем случае в образовании в виде пластины (рисунок 29а), напоминающей сот большой индийской пчелы, то температура в центре такой пластины составит:

$$t_{ц} = t_n + \frac{q_v \cdot \delta^2}{2\lambda}. \quad (11)$$

Бортовое гнездо пчелиной семьи можно представить в виде цилиндра (рисунок 29б), тогда:

$$t_{ц} = t_n + \frac{q_v \cdot r_{ц}^2}{4\lambda}. \quad (12)$$

В шаре (рисунок 29в), напоминающем гнездо пчелиной семьи в корпусе рамочного улья:

$$t_{ц} = t_n + \frac{q_v \cdot r_{ш}^2}{6\lambda}, \quad (13)$$

где: $t_{ц}$ и t_n – температура соответственно в центре и на поверхности образования, град;

δ – половина толщины пластины;

$r_{ц}$ и $r_{ш}$ - радиусы, соответственно, цилиндра и шара, м;

q_v – удельная мощность тепловыделений, Вт/м³;

λ – коэффициент теплопроводности клуба, Вт/м·град.

Из приведенных уравнений следует, что температура во всех образованиях в случае симметричной задачи распределяется по параболическому закону.

Если считать, что теплообмен пчелиного клуба с внешней средой осуществляется по закону Ньютона, то температура в его характерных точках выразится:

для пластины:

$$\text{в центре } t_{\text{ц}} = t_c + \frac{q_v \cdot \delta^2}{2\lambda} + \frac{q_v \cdot \delta}{\alpha}; \quad (14)$$

$$\text{на поверхности } t_{\text{п}} = t_c + \frac{q_v \cdot \delta}{\alpha}. \quad (15)$$

для цилиндра:

$$\text{в центре } t_{\text{ц}} = t_c + \frac{q_v \cdot r_{\text{ц}}^2}{4\lambda} + \frac{q_v \cdot r_{\text{ц}}}{2\alpha}; \quad (16)$$

$$\text{на поверхности } t_{\text{п}} = t_c + \frac{q_v \cdot r_{\text{ц}}}{2\alpha}. \quad (17)$$

для шара:

$$\text{в центре } t_{\text{ц}} = t_c + \frac{q_v \cdot r_{\text{ш}}^2}{6\lambda} + \frac{q_v \cdot r_{\text{ш}}}{3\alpha}; \quad (18)$$

$$\text{на поверхности } t_{\text{п}} = t_c + \frac{q_v \cdot r_{\text{ш}}}{3\alpha}. \quad (19)$$

где: t_c – температура внешней среды, град.;

α – коэффициент теплоотдачи от куба во внешнюю среду, Вт/м²·град.

Также можно определить среднюю объемную температуру пластины, цилиндра и шара (Г.Н. Дульнев, Э.М. Семяшкин, 1968).

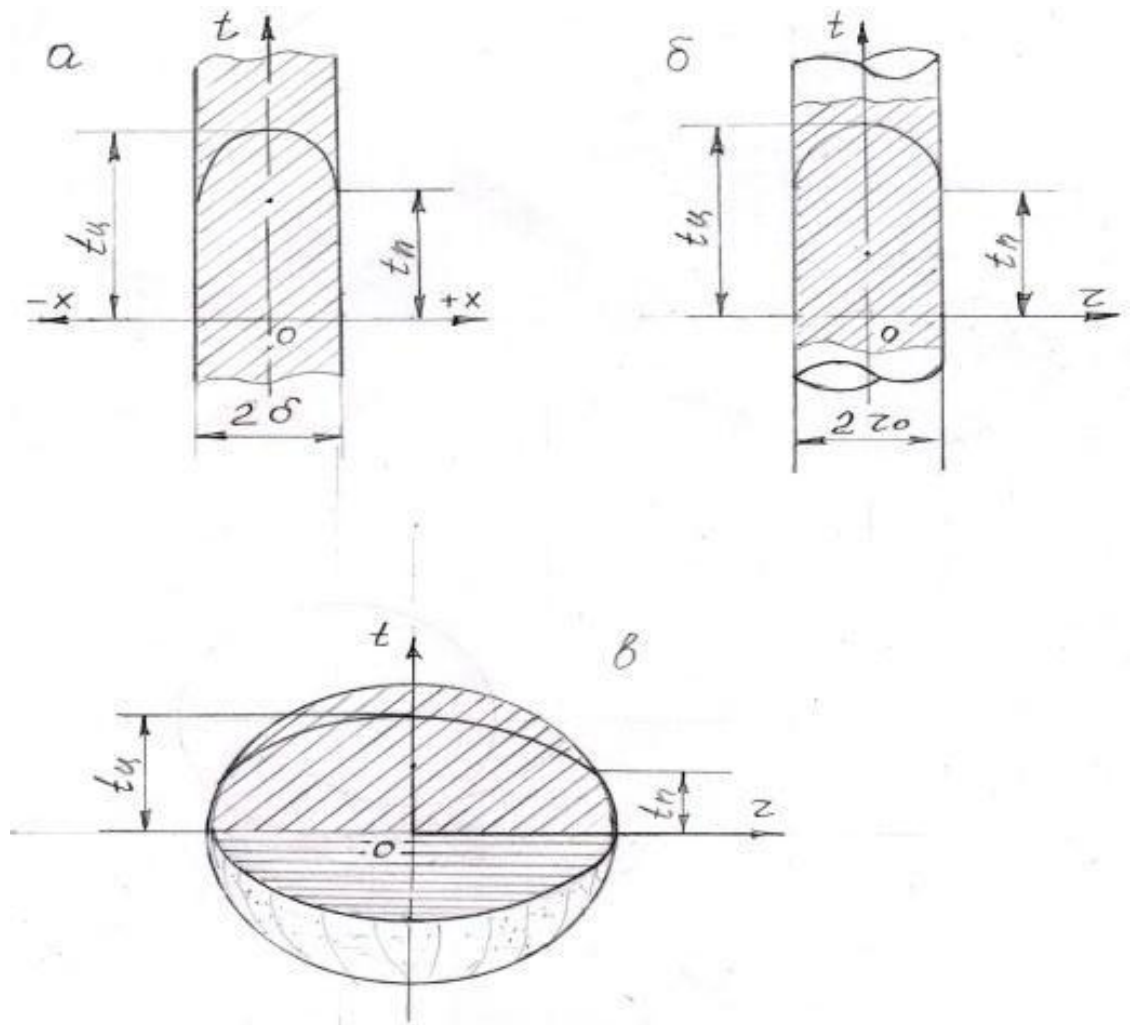


Рисунок 29 – Температурное поле в телах с внутренними источниками тепла:
 а – в пластине; б – в цилиндре; в – в шаре.

По определению:

$$t_v - t_c = \frac{1}{V} \int (t - t_c) dV, \quad (20)$$

где: V и dV – объем и элемент объема тела

$$V_{\text{пласт}} = 2\delta \cdot 1 \cdot 1, \quad dV_{\text{пласт}} = dx \cdot 1 \cdot 1, \quad -\delta \leq x \leq \delta;$$

$$V_{\text{цил}} = \pi \cdot r_{\text{ц}}^2 \cdot 1, \quad dV_{\text{цил}} = 2\pi x dx \cdot 1, \quad 0 \leq x \leq r_{\text{ц}};$$

$$V_{\text{шар}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_{\text{ш}}^3, \quad dV_{\text{ш}} = 4\pi x^2 dx, \quad 0 \leq x \leq r_{\text{ш}}.$$

Подставив значения разности температур и произведя интегрирование после простых преобразований, можно получить выражение для t_v :

Для пластины:

$$t_v = t_c - t_c = \frac{P}{\alpha S} \left(1 + \frac{\alpha V}{3\lambda S} \right) \quad . \quad (21)$$

Для цилиндра:

$$t_v = t_c - t_c = \frac{P}{\alpha S} \left(1 + \frac{\alpha V}{2\lambda S} \right) \quad . \quad (22)$$

Для шара:

$$t_v = t_c - t_c = \frac{P}{\alpha S} \left(1 + \frac{3\alpha V}{5\lambda S} \right), \quad (23)$$

где: P – полная мощность источников в теле, Вт;

S – теплоотдающая поверхность тела, м^2 ;

V – объем тела, м^3 .

Необходимо отметить, приведенными выше соотношениями не регламентируются все аспекты теплового режима пчелиных семей. Так, температура поверхности пчелиного клуба складывается в результате баланса семьи с окружающей средой, и здесь необходимо учитывать условия теплообмена на границах клуба (условия однозначности). Необходимы исследования теплозащитных качеств улья, сотов, теплопроводности слоя самих пчел, их объемные тепловыделения.

Если рассматривать пчелиный клуб в борти в соответствии с формулой (13), температура в центре клуба составит:

$$t_{ц} = t_{п} + \frac{q_v \cdot r_{ц}^2}{4\lambda}.$$

Если принять плотность распределения пчел в клубе соответствующей плотности размещения ячеек в соте, то среднеобъемное тепловыделение определяется как

$$q_v = \frac{Q_{пч}}{V_{яч}}, \quad (24)$$

где: $Q_{пч}$ – тепловыделение одной пчелы, мВт;

$V_{яч}$ – объем одной ячейки, м^3 .

В соответствии с нашими исследованиями, минимальное тепловыделение пчелы $Q_{пч} = 0,2 \text{ мВт} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$; $\lambda = 0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$.

Объем одной ячейки, по нашим расчетам, при диаметре основания ячейки 5,4 мм и ее глубине 12 мм – $V_{яч} = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, тогда

$$q_v = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-6}} = 670 \text{ Вт/м}^3.$$

При радиусе клуба в борти $r_k = 0,1 \text{ м}$, при плотном размещении пчел и температуре поверхностного слоя пчелиного клуба $t_{п} = 12^\circ\text{C}$

$$t_{ц} = 12 + \frac{670 \cdot 0,1^2}{4 \cdot 0,1} = 29^\circ\text{C}.$$

Такая температура приемлема для пчел.

При радиусе клуба $r=0,1 \text{ м}$ и высоте $H=0,5 \text{ м}$ его объем составит:

$$V_{кл} = \pi r_{ц}^2 \cdot H = 3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 0,5 = 0,0157 \text{ м}^3,$$

а число ячеек и соответствующее им количество пчел –

$$n = \frac{V_{кл}}{V_{яч}} = \frac{0,0157}{0,3 \cdot 10^{-6}} = 52333 \text{ шт.}$$

При массе одной пчелы $g = 10^{-4} \text{ кг}$ масса семьи будет соответствовать:

$$M = g \cdot n = 10^{-4} \cdot 52333 = 5,2 \text{ кг}.$$

А при соответствующей яйценоскости маток масса семьи может достигать и большей величины.

На рисунке 30 приведены параметры пчелиного клуба радиусом 0,1 м при которых температура в центре клуба составляет 29°C

Таким образом, в дупле, можно обеспечить оптимальное постоянное температурное поле и нарастить силу семьи изменяя объем не только по радиусу, но и по высоте.

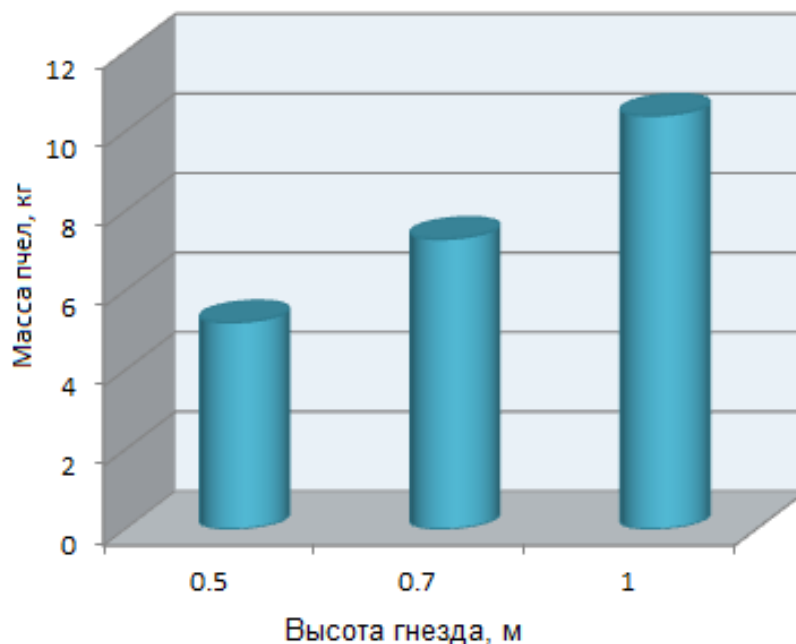


Рисунок 30 – Параметры пчелиного клуба в борте

Аналогично, в пчелином клубе, сформированном в виде шара радиусом 0,15 м, при таком же удельном тепловыделении $q_v=670 \text{ Вт/м}^3$, такой же теплопроводности $\lambda=0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{град.}$, такой же температуре поверхностного слоя $t_n = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ при условии максимального уплотнения температура в центра клуба $t_{ц}$ составит:

$$t_{ц} = t_n + \frac{q_v \cdot r_{ш}^2}{6\lambda} = 12 + \frac{670 \cdot 0,15^2}{6 \cdot 0,1} = 12 + 25,1 = 37,1 \text{ }^\circ\text{C},$$

т.е. превысит критическую – $36 \text{ }^\circ\text{C}$.

При радиусе клуба 0,15 м его объем составит:

$$V_{кл} = 4,2 r^3 = 4,2 \cdot 0,15^3 = 14,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

И, если количество особей n эквивалентно количеству ячеек, их число составит

$$n = \frac{V_{кл}}{V_{яч}} = \frac{14,2 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-6}} = 47250 \text{ шт.}$$

При массе пчелы $g = 10^{-4} \text{ кг}$, масса семьи M составит: $M = g \cdot n = 10^{-4} \cdot 47250 = 4,7 \text{ кг}$.

На рисунке 31 показано как меняется температура и в центре гнезда в зависимости от увеличения силы семьи.

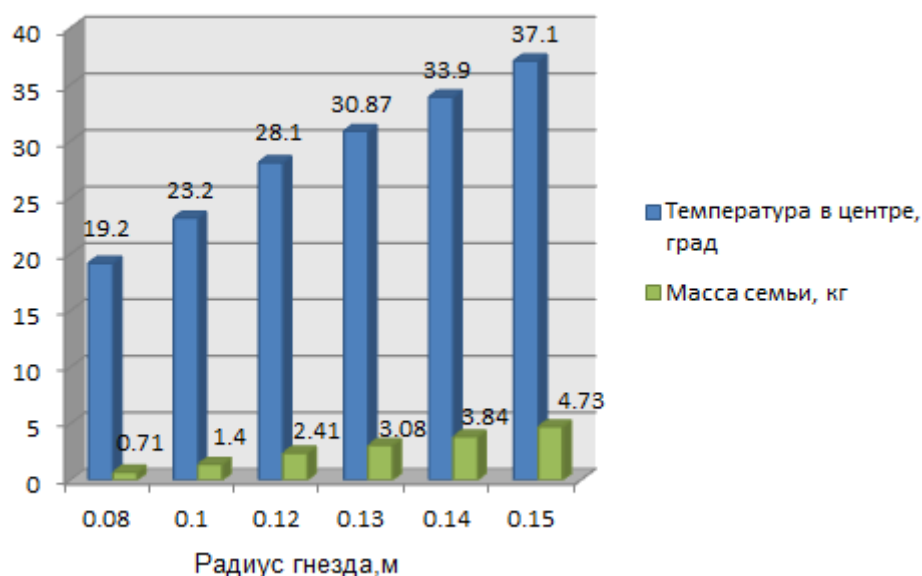


Рисунок 31 – Влияние силы семьи на температуру в центре клуба

Видно, что увеличение силы пчелиной семьи в улье ведет к увеличению радиуса клуба (так как увеличивается объем) и повышается температуры в его центре. Т.е. при содержании пчел в улье температурное поле неравномерное, увеличение силы семьи ведет к перегреву в центре.

2.3.5 Критерий равномерности температурного поля пчелиного клуба

В классическом варианте пчелиный клуб представляется в виде шара. Его форма и размеры хотя и меняются, но довольно медленно, что позволяет установить его состояние установившимся – стационарным.

В таком варианте его температурное поле описывается уравнением:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{qv}{\lambda} = 0, \quad (25)$$

где t – температура, град.;

r – радиус шара, м;

q_v – плотность объемного тепловыделения, Вт/м³;

λ – теплопроводность слоя пчел, Вт/м·град.

Удельная плотность тепловыделения пчел q_v зависит как от их количества в единице объема, так и от температуры, которая их окружает.

В соответствии с экспериментальными данными, полученными Т. Stussi (1967) на изолированных особях зимующей генерации, минимальное выделение тепла одной особью представлено на рисунке 32.

Как установил О.С. Львов (1957), уже при -5 °С все свободные ячейки в объеме клуба заняты пчелами.

Объем пчелиной ячейки, по нашим расчетам, составляет $0,302 \cdot 10^{-6}$ м³.

Полагая, что плотность пчел в клубе в целом такая же, как и в ячейке, число пчел в 1 м³ - n при максимальной упаковке составит:

$$n = 1:0,302 \cdot 10^{-6} = 3311258 \text{ шт.}$$

Тогда удельная мощность тепловыделения в пчелином клубе в зависимости от внешней температуры будет равна произведению nq_v

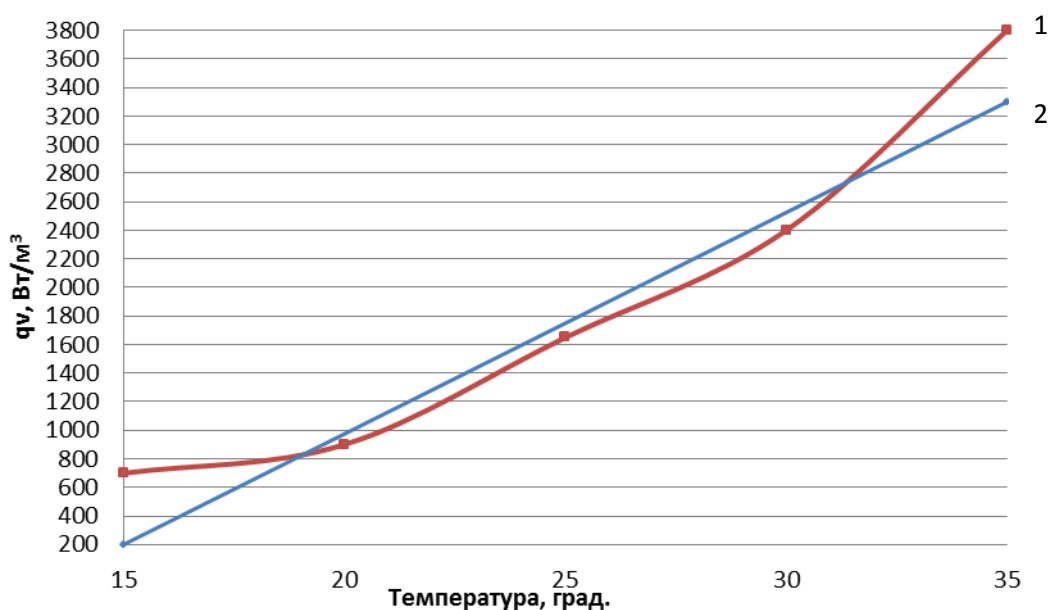


Рисунок 32 – Удельная мощность тепловыделений пчел в пчелином клубе

Видно, что зависимость удельной мощности тепловыделений в пчелином клубе от температуры имеет сложный характер и может быть выражена зависимостью $q_v = 167,4 \cdot 1,09^t$

Тогда уравнение, выражающее тепловой режим клуба, примет вид:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{1,67 \cdot 1,09^t}{\lambda} = 0. \quad (26)$$

Для решения данного уравнения мы линеаризовали исходную кривую 1 прямой 2.

Такая линеаризация в зоне минимальных тепловыделений возможна, начиная с температур примерно 16-18 °С. Именно при этих температурах начинается образование пчелиного клуба, зарубежные исследователи характеризуют ее как «теплонейтральную».

Для характеристики теплового режима необходимо учитывать три показателя:

- температуру на поверхности клуба,
- температуру в тепловом центре,
- среднеобъемную температуру гнезда.

Среднеповерхностная температура и температура в тепловом центре пчелиного клуба характеризуются биологической обусловленностью. На поверхности она не может опускаться ниже 10-12 °С, иначе пчелы впадут в холодное оцепенение, а в центре она не может быть выше 36 °С. Зону с температурой, превышающей 36 °С, пчелы покидают. Среднеобъемная же температура имеет экономическое значение – чем она выше, тем выше расход кормов.

Для анализа теплового режима пчелиного клуба после линеаризации можно воспользоваться методом Ю.Б. Несвижского (1969). По этому методу зависимость выделяющейся удельной мощности от температуры можно выразить формулой:

$$P = P_0 (1 + \chi T), \quad (27)$$

где: P – выделяющаяся удельная мощность, Вт/м³;

P_0 – начальная величина удельной мощности, Вт/м³;

χ – температурный коэффициент роста мощности;

T – температура в окружении особи, град.

Обозначив $(1 + \chi T) = \Theta$, будем иметь:

$$P = P_0 \chi \Theta, \quad (28)$$

где: Θ – текущая температура, град.

Если считать процесс установившимся, уравнение теплового баланса для пчелиного клуба запишется в виде: $Q_{\text{выд}} = Q_{\text{отд}}$ или:

$$P_0 \chi V \Theta_v = \alpha S (\Theta_s - \Theta_c), \quad (29)$$

где: V – объем клуба, м³;

S – площадь поверхности клуба, м²;

Θ_c – температура окружающей среды, град;

Θ_v – среднеобъемная температура клуба, град;

Θ_s – среднеповерхностная температура;

$Q_{\text{выд}}$ – количество выделяемого пчелами тепла, Дж;

$Q_{\text{отд}}$ – количество отдаваемого тепла поверхностью клуба, Дж.

В теории теплообмена доказано, что существует определенное соотношение между среднеповерхностной и среднеобъемной температурами:

$$\Theta_s = \Phi_v \cdot \Theta_v, \quad (30)$$

где: Φ_v – параметрический критерий неравномерности температурного поля в стационарном режиме.

Также соотношение между среднеповерхностной температурой и температурой наиболее нагретой точки $\Theta_{\text{ц}}$:

$$\Theta_{\text{ц}} = \frac{\Theta_s}{\Phi_m}, \quad (31)$$

где: Φ_m – критерий соотношения температур центра и поверхности.

Эти критерии позволяют определить биологически критичные температуры как на поверхности, так и в наиболее нагретой точке клуба.

Решая линеаризованные уравнения теплопроводности для пчел различной конфигурации (пластина, цилиндр и шар), Ю.Б. Несвижский нашел для них эмпирические выражения. Он отмечает, что для всех этих конфигураций они практически совпадают:

$$\Phi_v = 1 - 0,68\Lambda_k - 0,32\Lambda_k^2; \quad (32)$$

$$\Phi_m = 1 - 1,4\Lambda_k + \Lambda_k^2. \quad (33)$$

Входящий в эти формулы критерий Λ_k характеризует воздействие на систему (в данном случае клуб пчел) источника энергии. В нашем случае это тепловыделения пчел. Он представляет собой отношение:

$$\Lambda_k = \frac{P_o \cdot \chi \cdot K}{\lambda}, \quad (34)$$

где: K – коэффициент формы тела;

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·с.

Роль этого критерия является определяющей. Он характеризует отношение выделяющегося в объеме тепла ($P_o \chi$) к интенсивности его отвода к внешней поверхности (λ), с которой оно рассеивается в окружающую среду.

В установившемся режиме Λ_k должен быть меньше единицы. Если он больше единицы, неизбежен рост как среднеобъемной температуры, так и, особенно, температуры в наиболее нагретой точке, что может привести к разрушению клуба.

В то же время при малой теплопроводности поверхность может быть холодной.

Охлаждение тела в определенной степени зависит и от его формы и характеризуется в теории теплопередачи коэффициентом формы тела – K ;

$$\text{Для шара } K = \left(\frac{R}{\pi}\right)^2; \text{ для цилиндра } K = \left[\left(\frac{2,405}{R}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{l}\right)^2\right]^{-1}, \quad (35, 36)$$

где: R – радиус шара или цилиндра, м;

l – длина цилиндра, м.

Из рисунка 32 видно, что в момент образования клуба удельная мощность тепловыделения пчел с ростом окружающей их температуры изменяется

крайне незначительно и наоборот, начиная с 32-33 °С эта мощность резко возрастает. В интервале температур, окружающих особь, 19,5-32 °С зависимость удельной мощности от температуры носит практически линейный характер.

Из формулы $P = P_0(1+\chi t)$ следует

$$\chi = \frac{(P-P_0)t}{P_0} \quad (37)$$

В соответствии с этим же рисунком при температуре $t_1 = 19,5$ °С $P_0 = 900$ Вт/м³, а при $t_2 = 32$ °С соответственно $P = 2800$ Вт/м³, откуда:

$$\chi = \frac{2800-900}{900(32-19,5)} = 0,17.$$

Установлено, что теплопроводность слоя пчел в первую очередь определяется плотностью их размещения (А.И. Касьянов, В.И. Лебедев, 2004). Зависимость теплопроводности слоя пчел от плотности их размещения носит линейный характер.

Если при максимальном уплотнении в 1 м³ содержится 3311258 пчел, то при массе одной пчелы $1,0 \cdot 10^{-4}$ кг, плотность клуба γ составит 331,1 кг/м³ ($\gamma \approx 331$ кг/м³), а его теплопроводность $\lambda = 0,126$ Вт/м·град.

Если пчелиный клуб представить в форме шара, имеющего объем $V = 0,523D^3$, его внешнюю поверхность $S = 3,142D^2$ и учесть коэффициент формы $K = \frac{R^2}{\pi^2} = 0,1R^2$, где D и R – соответственно диаметр и радиус шара, м, его критерий Λ_k при плотном размещении пчел, когда все ячейки заняты пчелами, будет соответствовать значениям, представленным в таблице 17

Таблица 17 – Основные параметры плотного пчелиного клуба

Масса семьи, кг	Кол-во пчел, шт.	Объем клуба, м ³	Диаметр клуба, м	Радиус клуба, м	Площадь поверхности, м ²	Коэфф. формы м ²	Критерий устойчивости, Λ_k
0,5	5000	0,0015	0,142	0,071	0,0633	0,00050	0,47
1,0	10000	0,0030	0,179	0,090	0,1006	0,00080	0,76
1,5	15000	0,0045	0,205	0,103	0,1320	0,00105	0,99
2,0	20000	0,0060	0,226	0,113	0,1604	0,00128	1,21

Увеличение массы пчелиной семьи приводит к увеличению критерия устойчивости (рисунок 33).

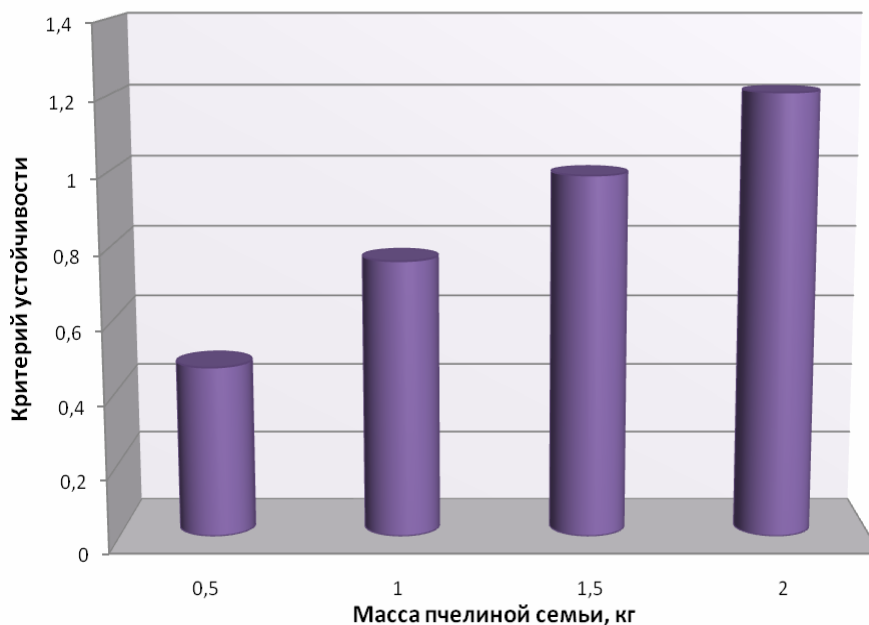


Рисунок 33 – Влияние массы пчелиной семьи на критерий устойчивости

Видно, что при плотном размещении у пчелиной семьи массой 1,5 кг клуб становится малоустойчивым ($\Lambda_k = 0,99$), а при массе 2,0 кг теряет устойчивость ($\Lambda_k = 1,21$). Его центр будет иметь тенденцию к перегреву с превышением $36\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура на поверхности клуба, особенно в его нижней части, – к минимально критической ($13\text{ }^{\circ}\text{C}$), что и наблюдается в сильные морозы.

Пчелы, находящиеся на поверхности, вынуждены мигрировать в более теплые зоны, а если это не удастся – прибегать к локомоциям, выработке дополнительного тепла, которое еще больше поднимет температуру в центре клуба и вынудит находящихся там особей покинуть его.

Однако, покидая центр, они еще более увеличат количество особей на периферии клуба, т.е. количество особей, продуцирующих тепло, и тем самым снижающих свой жизненный потенциал.

Можно подсчитать минимальный диаметр клуба, обеспечивающий максимально допустимую величину критерия устойчивости ($\Lambda_k=1$):

$$\Lambda_k = \frac{0,21 \cdot n \cdot 0,17 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{1000 \cdot 0,523 D^3 \cdot 0,126 \cdot 3,14^2} = \frac{0,137 \cdot 10^{-4} \cdot n}{D} = 1. \quad (38)$$

$$\text{Откуда: } D = 0,137 \cdot 10^{-4} \cdot n, \quad (39)$$

где: n – количество пчел в клубе, шт.;

D – диаметр клуба, м.

На рисунке 34 приведены минимальные диаметры пчелиного клуба, при которых $\Lambda_k=1$ и его диаметры при плотном размещении у семей разной массы.

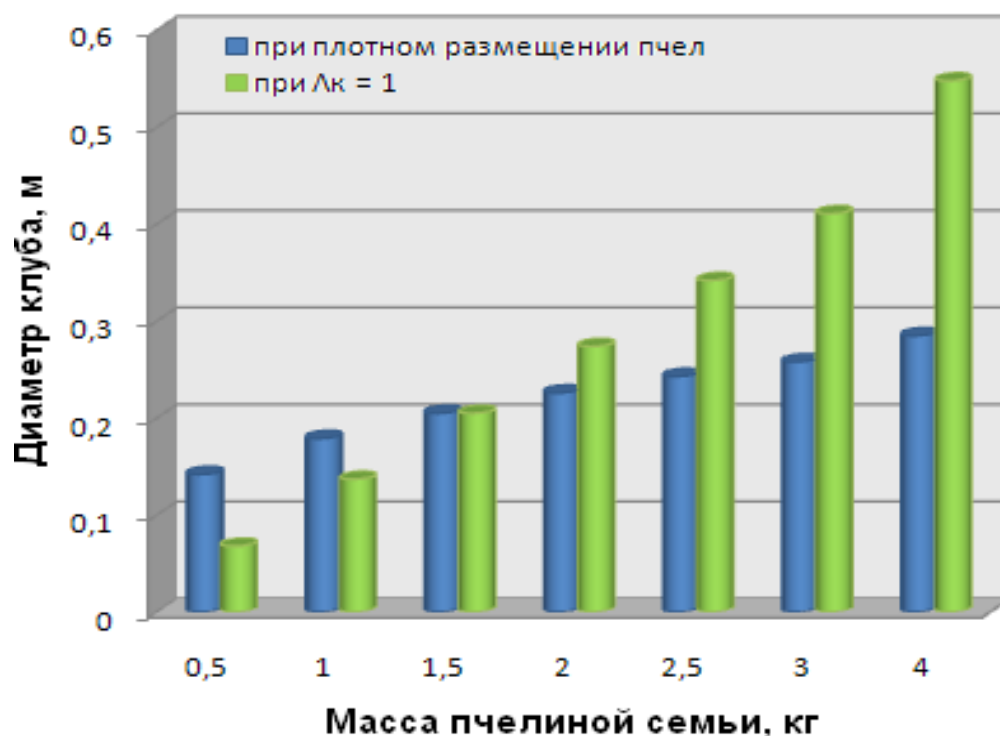


Рисунок 34 – Диаметр пчелиного клуба при $\Lambda_k=1$ и при плотном размещении у пчелиных семей разной силы

Как видно из рисунка 34, при плотном размещении пчел в клубе его устойчивость, по величине критерия обеспечивается только в семьях массой до 1,5 кг. В семьях большей массы накопление тепла в объеме клуба начнет превышать его отток к поверхности, что приведет к росту температуры в его тепловом центре. И когда она превысит 36°C , пчелы вынуждены будут мигрировать в менее нагретую зону, клуб расширится и деформируется.

Следовательно, при сборке гнезда пчелиной семьи на зиму следует предусмотреть возможность его расширения, т.е. увеличения занятого им объема при одном и том же количестве пчел.

В таблице 18 показано, как расширение влияет на критерий устойчивости клуба.

Таблица 18 – Изменение критерия устойчивости Λ_k при расширении пчелиного клуба (в опыте В.С. Коптева, 1959)

Масса семьи, кг	При плотном размещении пчел		После расширения пчелино- го клуба	
	Объем, м ³	Λ_k	Объем, м ³	Λ_k
1,4	0,0042	0,959	0,0054	0,880
1,8	0,0054	1,131	0,0068	1,049
2,0	0,0060	1,218	0,0080	1,105
2,4	0,0072	1,370	0,0105	1,209
2,5	0,0075	1,409	0,0113	1,228
2,8	0,0084	1,516	0,0119	1,351

Как видно из таблицы 18, расширение пчелиного клуба зимой повлияло на величину критерия устойчивости Λ_k крайне незначительно. Соответствовала критерию стационарного режима только семья массой 1,4 кг и приближалась к нему семья массой 1,8 кг.

В.С. Коптев отмечает, что у 73,5 % из 358 обследованных пчелиных семей клуб образовался у летка. Это можно объяснить тем, что, как это видно из таблицы 18, величина критерия Λ_k для большинства семей была больше 1, т.е. наблюдался перегрев и пчелы группировались в более прохладном месте.

Таким образом, оптимальным в биологическом и энергетическом аспектах зрения стационарный (установившийся) режим возможен только у пчелиных семей массой до 1,5 кг.

В семьях массой более 2,0 кг создается определенная неравномерность температурного поля – на поверхности она может опуститься ниже предпочитаемой, что вынудит пчел прибегать к выработке тепла, а в центре – выше приемлемой, из-за чего находящиеся в этой зоне особи покидают ее.

При миграции в северные широты пчелы селились в дуплах, имеющих небольшой диаметр, но вытянутых по высоте. В таком виде пчелиные семьи могли достигать большой массы, ограниченной высотой дупла. Аналогичная картина наблюдается и в искусственно создаваемых дуплах – бортиках. С переходом к низкошироким корпусам пчелы были лишены возможности создавать теплофизически устойчивое гнездо.

2.3.6 Теплоизоляционные свойства гнезда пчелиной семьи

Определенным сдерживающим фактором роста энергозатрат пчелиной семьи является тепловая изоляция, включающая как сами соты, так и их ограждение, т.е. улей.

Для оценки теплозащитных свойств сотов и ограждающих конструкций улья нами использовалась лабораторная установка, состоящая из 12-рамочного улья-калориметра с размещенными внутри него сотами, в которые вмонтирован электрический нагреватель шарообразной формы, имитирующий пчелиный клуб.

В процессе исследований были определены:

1) суммарное тепловое сопротивление сотов и ограждения, выражаемое $R = \frac{\Delta t}{P}$, град./Вт, (40)

где Δt – разность температуры «клуба» и внешней среды;

P – выделяющаяся на «клубе» мощность, Вт.

2) среднеобъемная температура в части гнезда, незанятой пчелами, так как именно эта температура определяет поведение особей, особенно их реакцию к формированию клуба.

В таблице 19 приведены показатели термического сопротивления улья и среднеобъемная температура в нем при наличии головного утепления.

Как следует из таблицы 19, термическое сопротивление (R , град./Вт) представляется довольно объективным и устойчивым показателем теплозащитного качества сотового гнезда и его ограждения.

Таблица 19 – Термическое сопротивление и среднеобъемная температура в улье

Состояние летков	При закрытой вентиляции		При открытой вентиляции	
	R , град./Вт	t , град.	R , град./Вт	t , град.
Оба летка закрыты	1,43	3,4	1,51	5,0
Оба летка открыты	1,40	2,7	1,55	2,3
Верхний закрыт, нижний открыт	1,53	6,9	1,52	9,4
Верхний открыт, нижний закрыт	1,46	7,8	1,53	8,3
В среднем	1,45	5,2	1,52	5,6

В то же время как режим летков и вентиляции, так и головное утепление слабо влияют на потери тепла и среднеобъемную температуру вне пчелиного клуба.

Также на этой установке были проведены опыты по определению динамики внутриобъемной температуры в улье в ранневесенний период при искусственном обогреве пчелиной семьи.

В ранневесенний период (апрель 2015 г.) изучена динамика изменения среднеобъемной температуры в части гнезда, незанятой «клубом» при разной мощности его тепловыделения. (рисунок 35).

Как видно из представленных на рисунке 35 графиков, прослеживается прямая зависимость между температурой наружного воздуха и внутриульевого температурой.

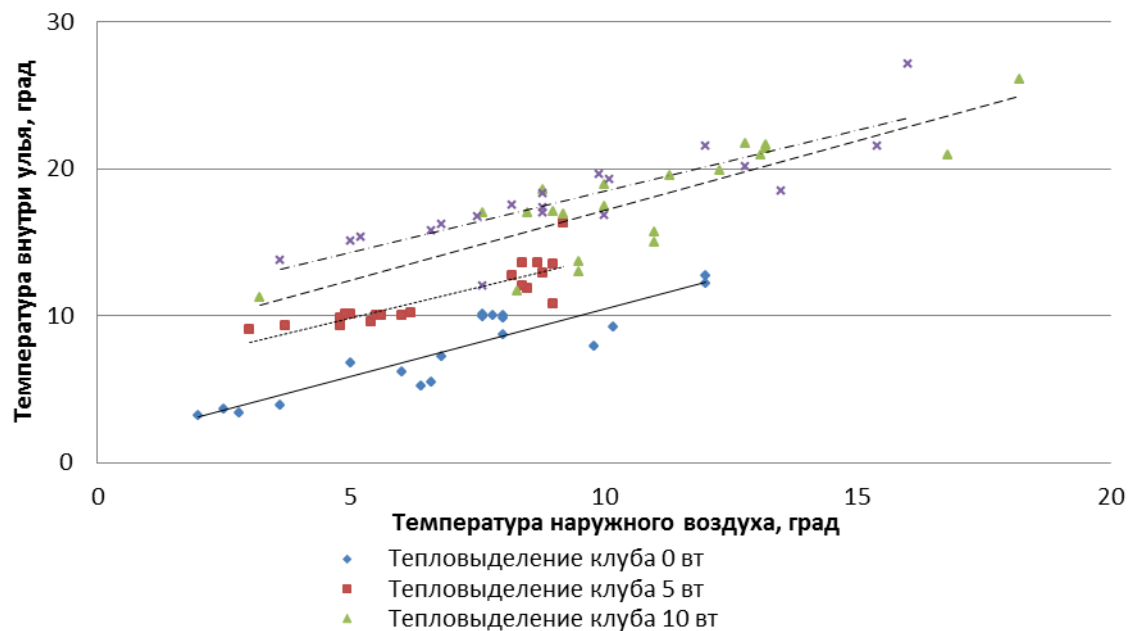


Рисунок 35 – Температура внутри улья в ранневесенний период (апрель 2015 г.)

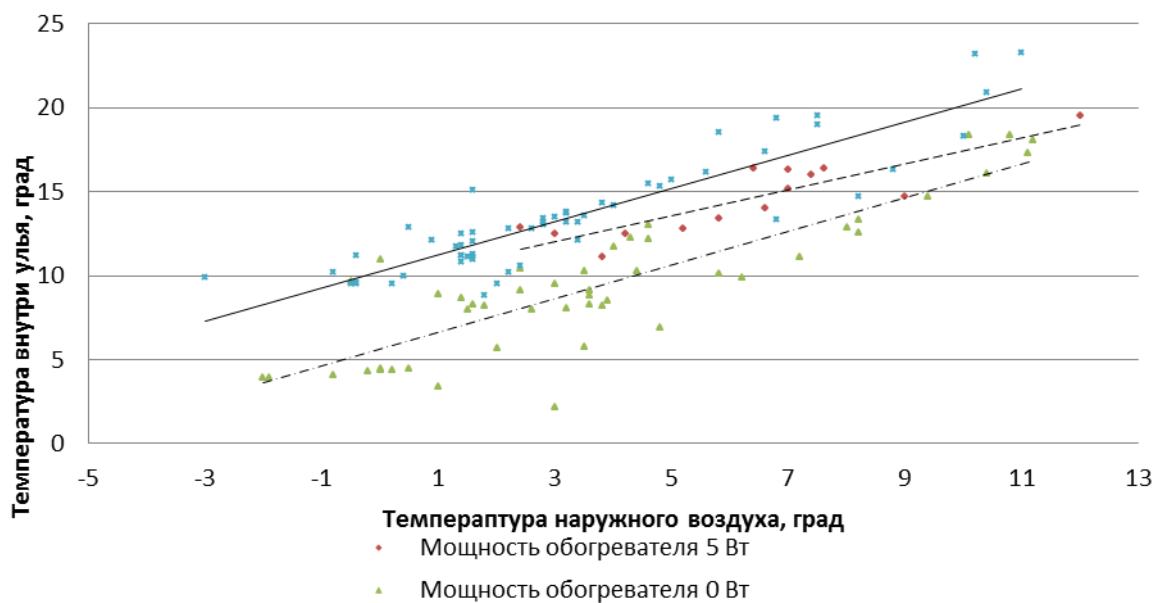


Рисунок 36 – Нагрев внутреннего объема при дополнительном электрообогреве и тепловыделении клуба 4,5 Вт

Многие пчеловоды в ранневесенний период практикуют дополнительный электрообогрев семей. В этой связи нами прослежено влияние такого обогрева на среднеобъемную температуру в улье (рисунок 36).

При тепловыделении «клуба» 5 Вт при внешней температуре 5 °С без обогрева внутриульевая температура поддерживается на уровне 10,2 °С. Дополнительный обогрев мощностью 5 Вт увеличивает эту температуру до 13 °С, мощностью 15 Вт – до 15,5 °С. Из этого следует, что дополнительный обогрев, вызывая увеличение среднеобъемной температуры, может стимулировать распад пчелиного клуба и, как следствие, возрастание энергетических затрат пчелами.

К довольно резкому увеличению среднеобъемной температуры в части гнезда незанятой «клубом» приводит нагрев солнцем в теплые дни (рисунок 37), что на практике также может негативно отразиться на зимовке пчелиной семьи на воле. Кратковременный обогрев солнцем также приводит к распаду пчелиного клуба, увеличению энергетических расходов семьи.

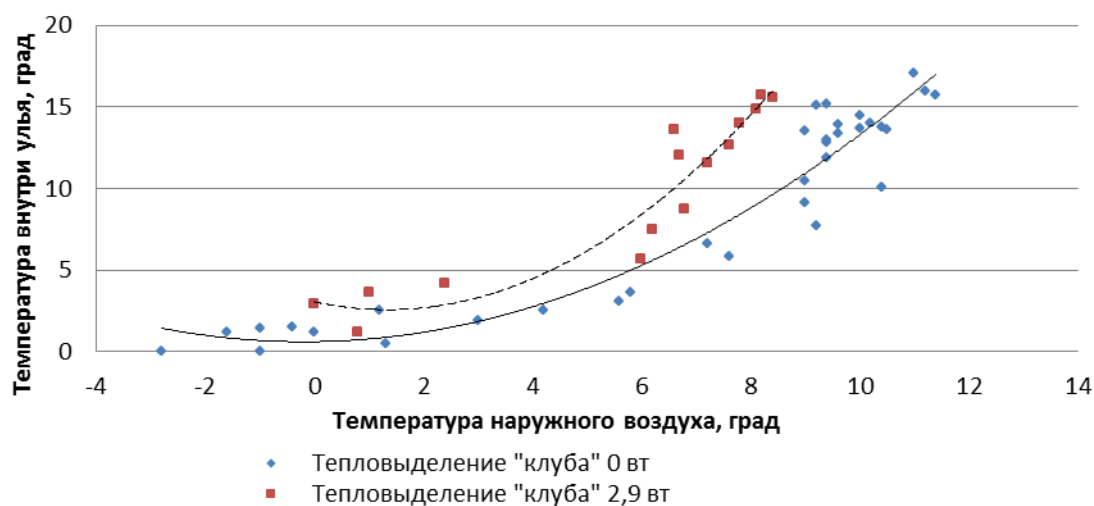


Рисунок 37 – Нагрев внутреннего объема улья солнцем.

Также проводилось определение теплового сопротивления и коэффициент теплопередачи пустого и заполненного кормом сота, ульевого холстика и головного утепления.

Нами была проведена сравнительная характеристика теплоизоляционных качеств сотов.

Соты являются основой гнезда пчелиной семьи, они служат для размещения пчел, выведения расплода и складирования нектара, меда и перги. Для сооружения сотов используется пчелиный воск - секрет восковыделительных желез пчел. Новые соты на 98 % состоят из воска. Со временем на восковую основу наслаиваются коконы и экскременты личинок, прополис, остатки меда и перги.

По данным А. Миснара (1968), на теплопроводность материала оказывает влияние его химический состав и влажность. Чем выше содержание воды, тем выше теплопроводность и соответственно ниже его теплоизоляционные качества.

По результатам исследований 2014 г., массовая доля воды в светлых сотах составляет 0,97 %, в темных -2,91 %, в меде 16%, в перге – 8%.

Основу воска составляют сложные эфиры (70-75 %), свободные жирные кислоты (12-15 %), углеводы (11-17 %), вода (2,5 %), красящие, ароматические и минеральные вещества.

Нами было определено содержание в сотах, меду и перге следующих элементов: свинца, кадмия, меди, цинка, железа, хрома, стронция, селена, калия, магния, натрия, калия (таблица 20). Проведенные исследования показали, что элементный состав светлых и темных сотов различен. В светлых сотах (после откачки меда) общее значение содержания определяемых нами элементов составляет 148,93 мг/кг в темных сотах (после вывода 5-6 поколений расплода) это значение доходит до 365,42 мг/кг. В перге содержание данных элементов составило 4395,37 мг/кг, а в меду 609,62 мг/кг.

Таблица 20 – Элементный состав сотов, меда и перги, мг/кг

Элемент	Светлые соты	Темные соты	Перга	Мед
Pb	0,16±0,03	0,12±0,28	2,28±0,166	не обнаруж.
Cd	0	0,008±0,002	0,07±0,005	0,01±0,006
Cu	0,12±0,03	0,24±0,06	1,93±0,097	0,10±0,016
Zn	3,35±1,08	7,45±0,98	19,02±0,505	0,49±0,083
Fe	3,63±0,49	4,83±1,81	21,40±1,045	2,26±0,187
Cr	0,26±0,10	0,22±0,06	0,04±0,014	не обнаруж.
Sr	0,20±0,06	0,03±0,005	11,70±1,406	1,95±0,667
Se	0,54±0,06	0,092±0,06	0,36±0,124	не обнаруж.
Ca	12,60±1,86	20,25±3,13	573,26±41,698	65,26±10,717
Mg	20,96±9,84	61,01±8,03	574,62±30,968	47,95±5,548
K	103,66±28,79	263,70±25,0	3010,25±148,362	447,12±57,952
Na	3,45±0,79	4,47±0,81	180,44±25,190	44,38±4,040

В светлых сотах массовая доля механических примесей в 4,3 раза меньше, чем в темных. Массовая доля воска в светлых сотах составляет 91,99 %, что на 25,1 % выше, чем в темных.

В качестве основной характеристики теплозащитных качеств сотов в литературных источниках используют их теплопроводность.

Соты обладают хорошими теплозащитными качествами, однако эти качества объясняются не восковыми стенками ячеек и не отложениями на них остатков коконов, а их насыщением воздухом.

Как известно, теплопроводность сухого неподвижного воздуха при 20 °С составляет всего 0,026 Вт/м·град., т.е. почти в 10 раз ниже теплопроводности пчелиного воска. Однако в объеме, занятом воздухом, как и другими газами, возникает конвекция, снижающая его теплоизоляционные качества. Значение

конвективной составляющей зависит от целого ряда факторов и, прежде всего, от занятого им объема и разности температур на ограничивающих его стенках.

Однако, в условиях гнезда пчелиной семьи, где используются соты, эти факторы проявляются незначительно. Как отмечает А.Ф. Чудновский (1962), в прослойках толщиной менее 5 мм конвекция отсутствует вплоть до перепадов температур, достигающих до 100 °С, а заметное нарастание эффективного коэффициента теплопроводности даже в толстых прослойках имеет место только при перепадах температур более 15 °С.

В тонких прослойках (порядка 10 мм и меньше) во всем интервале разности температур (0-100 °С) роста $\lambda_{\text{эфф}}$ не наблюдается. Размер ячейки (6 мм) обеспечивает минимальные потери тепла.

Также необходимо учитывать условия передачи тепла на границах сота с улочками. Здесь возможно возникновение конвективных потоков.

Имеет место теплообмен воздуха, содержащегося в ячейках, с их стенками и доньшками. В небольшой степени возможен теплообмен через излучение. Часть тепла в соте переносится посредством теплопроводности по ребрам ячеек.

В связи с этим такую сложную картину передачи тепла через сот нельзя характеризовать только коэффициентом его теплопроводности. В таких случаях передачи тепла принято использовать коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{P}{F\Delta t}, \quad (41)$$

или обратную ему величину, называемую тепловым сопротивлением

$$R = \frac{1}{K} = \frac{F\Delta t}{P}, \quad (42)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·град.;

P – количество передаваемого тепла, Вт;

F – площадь сота, м²;

$\Delta t = t_{\text{гор}} - t_{\text{хол}}$ – разность температур соответственно «горячей» $t_{\text{гор}}$ и «холодной» $t_{\text{хол}}$ зон, град.;

R – тепловое сопротивление, м²·град./Вт.

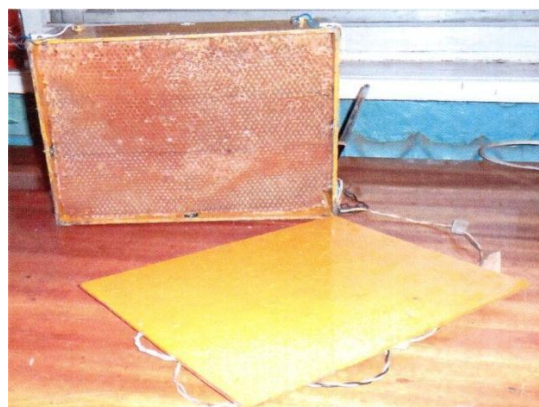
В своей работе мы определяли эти показатели.

Нами было определено термическое сопротивление темных и светлых сотов, а также вошины.

Наряду с пустыми, были определены теплозащитные качества сотов содержащих пергу, а также теплозащитные качества холстиков и пенопластовых пластин толщиной 40 мм, используемых пчеловодами в качестве головного и бокового утеплителя (рисунок 38)



сот с кормовым запасом



пустой сот



холстик



пенопластовый утеплитель

Рисунок 38 – Измерение коэффициента теплопередачи

Собранную установку помещали в смотровую яму размером 2х0,7 м, заглубленную в грунт на 1,2 м, что позволяло обеспечить в процессе опытов до-

вольно стабильный режим. За все время проведения опытов температура в ней держалась на уровне $9 \pm 0,25$ °С.

На нагреватель прибора подавалась мощность 2,5; 5,0; 7,5; 10 Вт. В процессе проведения опытов фиксировали величину ЭДС, генерируемую термобатереей прибора и разность температур внутри установки и вне ее.

При каждом значении подаваемой мощности измерения ЭДС и разности температур проводили через 30 мин до установившегося состояния, когда значения 3-4 последних показаний не отличались от предыдущих.

Измерение эффективной теплопроводности сотов провели при их расположении сбоку от нагревателя, как это имеет место в гнезде пчелиной семьи. При таком же положении измерили эффективную теплопроводность вощины.

Результаты опытов приведены в таблице 21

Таблица 21 – Теплоизоляционные показатели сотов, вощины и пенопласта

Вид сота и расположение относительно гнезда	Коэффициент передачи тепла К, Вт/м ² ·град.	Термическое сопротивление R, м ² ·град./Вт
Сот светлый сбоку гнезда	2,77	0,36
Сот темный сбоку гнезда	3,05	0,33
Сот темный сверху гнезда	1,72	0,58
Сот темный снизу гнезда	1,92	0,52
Лист вощины сбоку гнезда	4,86	0,21
Сот заполненный пергой	3,80	0,26
Сот заполненный медом	13,6	0,07
Лист пенопласта сверху гнезда	1,87	0,56
Лист пенопласта сбоку гнезда	1,87	0,56
Холстик	6,92	0,14
Воздух неподвижный, слой 25мм	1,00	1,00

Коэффициент теплопередачи старого сота при обычном боковом расположении в гнезде составляет 3,05 Вт/м²·град., его тепловое сопротивление 0,33

$\text{м}^2 \cdot \text{град.} / \text{Вт}$, коэффициент теплопередачи светлого сота равен $2,77 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{град.}$, термическое сопротивление – $0,36 \text{ м}^2 \cdot \text{град.} / \text{Вт}$.

Термическое сопротивление сота, содержащего пергу, в среднем составило $0,26 \text{ м}^2 \cdot \text{град.} / \text{Вт}$, что несколько ниже, чем пустого ($0,33\text{-}0,36 \text{ м}^2 \cdot \text{град.} / \text{Вт}$).

Термическое сопротивление ульевого холстика, составило в среднем $0,14 \text{ м}^2 \cdot \text{град.} / \text{Вт}$, что является довольно незначительным, но в улье холстик сокращает вынос тепла, так как предотвращает возникновение аэрационных потоков.

В качестве утеплителя мы использовали пенопласт. И определяли тепловое сопротивление пенопластовой пластины.

Пенопластовая пластина обладает достаточно большим тепловым сопротивлением $0,56$, результаты, полученные нами, соответствуют литературным данным. Пенопласт является хорошим теплоизолятором и может применяться в качестве бокового и головного утеплителя. Однако из-за замкнутости пор пенопласт ухудшает теплообмен семьи с внешней средой. Поэтому полностью улей им утеплять нецелесообразно.

В таблице 22 теплозащитные качества сотов сопоставлены с теплозащитными показателями некоторых утепляющих материалов, применяемых в пчеловодстве.

Информация о теплопроводности материалов получена из литературных источников, а их коэффициенты теплопередачи подсчитаны как отношение их теплопроводности λ , $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{град}$ к толщине сота - $0,025 \text{ м}$.

Сот представляет собой воздушную прослойку шириной 25 мм , разделенную восковым средостением на 6-гранные ячейки с диаметром вписанного круга $5,25\text{-}5,38 \text{ мм}$ и глубиной $12\text{-}16 \text{ мм}$. Ячейки в свободном состоянии заполнены воздухом и снизу ограничены глухим дном, а сверху сообщаются с окружающей средой.

Таблица 22 – Теплофизические характеристики сотов в сравнении с характеристиками теплоизоляционных материалов

Материал	λ , Вт/м·град.	K , Вт/м ² ·град.	R , м ² ·град./Вт
Сот светлый	0,04	2,77	0,36
Сот темный	0,05	3,05	0,33
Вощина	-	4,86	0,21
Сот заполненный медом	0,34	13,60	0,07
Сот заполненный пергой	-	3,80	0,26
Плитка воска толщиной 25 мм	0,290	11,50	0,09
Воздух неподвижный	0,025	1,00	1,00
Пух гагачий	0,024	0,97	1,00
Мох речной	0,061	2,43	0,41
Пенопласт ПС-4	0,041	1,63	0,61
Плитка пробковая	0,054	2,16	0,46
Вата хлопковая	0,064	2,60	0,38
Стекловата	0,045	1,80	0,55
Резка соломенная	0,047	1,90	0,53
Резина пористая	0,050	2,00	0,50
Древесина, толщ. 25 мм	0,139	5,96	0,17
Мерва пасечная, сухая	0,072	2,86	0,35

Объем свежего полностью отстроенного сота, по подсчетам А.Д.Трифонова (1998), $V_{\text{сот}} = 2641 \text{ см}^3$, а объем воздуха в ячейках соответственно $V_{\text{возд}} = 2495 \text{ см}^3$, т.е. насыщение сота воздухом составляет почти 95 %, а масса воска в свежестроенном соте 140 г, что при удельной массе воска $0,962 \text{ г/см}^3$ составляет 145 см^3 или немногим более 5 %.

В структуре теплопередачи сота воздух, содержащийся в ячейках, играет определяющую роль. Сухой воздух сам по себе является хорошим теплоизолятором, если он неподвижен.

Как видно из таблицы 22 коэффициенты передачи тепла сотами как светлыми ($2,77 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$), так и темными ($3,05 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$) близки к таким эффективным тепловым изоляторам, как речной мох ($2,43 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$), пробковая плитка ($2,16 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$), хлопковая вата ($2,60 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$), пористая резина ($2,00 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$).

Конечно, соты уступают по теплоизоляционным свойствам сухому воздуху ($1,0 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$), на это оказывает влияние наличие воска как арматуры, без которой конструкция просто невозможна. Хотя воска в соте и немного (5 %), но его теплопроводность ($0,357 \text{ Вт/м}\cdot\text{град.}$) более чем в 14 раз выше, чем сухого спокойного воздуха ($0,025 \text{ Вт/м}\cdot\text{град.}$).

Из таблицы 22 также видно, что коэффициенты передачи тепла светлым ($2,77 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$) и темным ($3,05 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$) сотами весьма близки, с небольшим превышением темного. Кокконы, остатки корма и прочие включения, количество которых в соте, по исследованиям Г.Ф. Таранова (1942), возрастает с 5 % в свежестроенном соте, до 55 % после выхода 20 поколений пчел вносят свой вклад в усиление передачи тепла, фактически замещая определенную долю воздуха.

Таким образом, коэффициент теплопередачи старого темного сота при обычном боковом расположении в гнезде составляет $3,05 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$, светлого молодого - соответственно $2,77 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$ Старые темные соты, с точки зрения теплозащитных свойств, никаких преимуществ перед молодыми светлыми не имеют. Сложившееся в пчеловодстве мнение о хорошем теплозащитном качестве старых сотов является ошибочным.

3.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В жизни пчелиной семьи выделяются 5 характерных этапов: смена перезимовавших пчел; интенсивное наращивание пчел к медосбору; заготовка основного количества кормовых запасов; выращивание для зимовки пчел, имеющих увеличенную продолжительность жизни; пассивный период — зимовка пчел.

В соответствии с этими этапами на практике сложился определенный технологический регламент содержания пчелиных семей и ухода за ними. Сохранность пчелиных семей в зимний период имеет большое значение для практического пчеловодства.

На любое изменение внешней среды, а также своего состояния живой организм реагирует изменением физиологических функций и в первую очередь расходом потребленной пищи - непрерывным распадом белков, жиров и углеводов. С другой стороны, этот распад характеризуется определенным термическим эффектом, зависящим от состояния исходных веществ и конечных продуктов.

С термодинамической точки зрения термический эффект характеризуется количеством тепла, выделяемого организмом во внешнюю среду. Измеряя это количество, можно судить как о состоянии самого организма животного, так и влиянии факторов внешней среды. Такой подход широко практикуется в различных отраслях животноводства. Разработан и применяется целый ряд калориметров, с помощью которых удалось разрешить множество как теоретических, так и практических вопросов.

В пчеловодстве наибольшее распространение получила калориметрия отдельных особей медоносных пчел. Особенностью медоносных пчел является то, что они живут семьями, представляющими собой совокупность нескольких тысяч особей, регулирующих многие функции жизнедеятельности пчелиной семьи, в том числе и выработку тепла.

В таком сообществе каждая особь ведет себя в соответствии с локальными условиями, в которых она оказалась. Поэтому для большого сообщества, а именно такое сообщество больше всего интересует практическое пчеловодство,

вряд ли возможно распространение результатов, полученных на одиночных особях или даже на небольших группах пчел.

С практической точки зрения более оправданным представляется экспериментальное определение термогенеза всей семьи в целом при тех или иных условиях внешней среды.

Небольшое количество работ по прямому калориметрированию семей объясняется отсутствием до последнего времени конструкции калориметра, отличающегося не только удовлетворительными метрологическими характеристиками, но и в наибольшей степени удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к нему, как жилищу для пчел.

Любые калориметры прямого и косвенного действия подразумевают полную изоляцию объекта. С пчелиной же семьей, особенно в период активной жизнедеятельности, это исключается.

Разработанный, изготовленный и испытанный нами специальный улей-калориметр, в основе которого лежит градиентный метод измерения тепловых потоков, вытекающий из закона Фурье позволяет изучить ряд закономерностей в жизнедеятельности пчелиных семей. В частности, подтверждены выводы о том, что минимум термогенеза пчелиной семьи соответствует $+7...+10$ °С. Положение о том, что минимальное тепловыделение имеет место при $0...+4$ °С не нашло подтверждения.

При понижении внешней температуры, начиная с момента образования клуба пчел, термогенез семей всех пород плавно, но неуклонно возрастает. Наблюдаемое в начальный момент сжатие клуба не исключает такого роста, хотя и несколько сдерживает его.

В период зимовки головное утепление, а также манипуляции с летками не оказывают существенного влияния на уровень термогенеза пчелиной семьи.

При осенней подкормке, а также во время переработки нектара термогенез семьи возрастает.

Установлено, что улей обеспечивает незначительную тепловую защиту пчелиной семьи в зимний период.

Определены потери тепла отдельными элементами улья как в активный период, так и в период зимовки.

Предложено рассматривать гнездо пчелиной семьи как гетерогенную систему тел с внутренними источниками тепла, что позволяет объяснить целый ряд вопросов, связанных с жизнедеятельностью пчел, и в ряде случаев прогнозировать их поведение.

Изучены вопросы формирования температурно- влажностного режима в семье пчел.

Проведенные наблюдения показали, что регистрация термогенеза пчелиной семьи может послужить хорошим инструментом как при проведении дальнейших исследований, так и в практическом пчеловодстве, при использовании предложенного калориметра в качестве наблюдательного и контрольного улья. Полученные результаты позволяют внести изменения в технологических регламент содержания пчелиных семей.

3.1 ВЫВОДЫ

1. В клубе зимующей семьи пчелы сохраняют приобретенные в процессе эволюции особенности, соответствующие их пассивному в этот период образу жизнедеятельности - при переходе из более нагретой зоны к периферии их термогенез снижается и, наоборот, при перемещении к тепловому центру – возрастает.

2. В пассивном состоянии термогенез изолированных особей пчел составляет 0,2-0,5 мВт, в активном состоянии его значения увеличиваются до 1,5-2 мВт. При наличии корма уровень термогенеза достигает до 18 мВт. Поэтому осенняя подкормка пчелиных семей сахарным сиропом вызывает увеличение энергетических затрат пчел, нарушает их естественную жизнедеятельность, приводит к изменению структуру гнезда. Подкормку необходимо проводить в теплые дни при температуре не ниже +15 °С.

3. Наименьшие тепловые потери пчелиных семей (3-4 Вт) наблюдаются при температуре 8-10 °С. Такую температуру можно считать оптимальной для зимовки пчел в южных регионах. Минимальный уровень термогенеза пчелиной семьи является критерием благополучной зимовки в регионах, где преобладает положительная температура в зимний период.

4. В регионах с холодным и умеренным климатом, где содержание пчел в зимний период в открытом пространстве приводит к увеличению их энергетических затрат, целесообразно использовать для этого специальные помещения. Пчелиные семьи на период зимовки следует размещать в специально оборудованных зимовниках, предпочтительно заглубленных, так как в надземных зимовниках в ранневесенний период может происходить перегрев семей, выход пчел из улья и их гибель.

5. Температуру в помещениях для зимовки пчел при содержании средних по силе семей следует поддерживать на уровне 0 °С, при содержании сильных семей - 0... -2 °С, так как при более низких температурах наблюдается повышение термогенеза, что приводит к увеличению расхода корма и изнашиванию пчел.

6. При зимовке пчел в улье на рамку высотой 300 мм и меньше пчелиный клуб приобретает форму близкую к шарообразной, которая обладает сильно выраженной неравномерностью температурного поля, что существенно ухудшает сохранность пчел. Поэтому целесообразно формировать в зимовку гнездо вытянутым по высоте на двух корпусах, где пчелиная семья может достигнуть большей массы, сохранив устойчивость клуба. При содержании пчел в однокорпусных ульях необходимо резервировать место для возможного выкучивания пчел.

7. Дополнительный обогрев пчелиных семей в ранневесенний период вызывает увеличение среднеобъемной температуры и может стимулировать распад клуба и, как следствие, возрастание энергетических затрат у пчел. Поэтому нецелесообразно использовать дополнительный обогрев, а также необходимо защищать пчелиные семьи от воздействия прямых солнечных лучей при зимовке на воле.

8. Темные соты, в которых выводилось несколько поколений пчел, по своим теплоизоляционным свойствам не отличаются никакими преимуществами перед светлыми. В то же время они более загрязнены микроорганизмами и естественными отходами личинок, могут провоцировать распространение заболеваний и ухудшают качество меда. Поэтому они подлежат своевременной выбраковке и не должны использоваться для производства меда, гнездо пчелиной семьи следует формировать преимущественно на светлых сотах.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании проведенных исследований разработаны и предложены производству:

1. Научно-обоснованный технологический регламент содержания пчелиных семей (рекомендации рассмотрены и одобрены на заседании секции пчеловодства Отделения зоотехнии Россельхозакадемии 18 сентября 2009 года)

2. Контроль термогенеза пчел (методические указания рассмотрены и одобрены на заседании секции пчеловодства Отделения зоотехнии Россельхозакадемии 25 мая 2010 года, протокол №2)

3. Научно обоснованное руководство «Теплозащитные свойства пчелиных сотов» (рассмотрено и одобрено на заседании ученого совета ФГБНУ «НИИ пчеловодства» 07 ноября 2014 года, протокол №6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисян, Г. А. Пчеловодство / Г. А. Аветисян. - М. : Колос, 1982. - 317 с.
2. Бей-Биенко, Г. Я. Общая энтомология / Г. Я. Бей-Биенко. - М. : Высшая школа, 1980. - 416 с.
3. Беттс, А. Несколько замечаний относительно теплового и кислородного режима пчел / А. Беттс // Пчеловодное дело. - 1929. - № 12. - С. 515-516.
4. Гакашев, А. И. Интенсивность тепловой конвекции в ульях / А. И. Гакашев, Е. Л. Тарунин // Вычислительная механика сплошных сред. – 2008. – Т. 1, № 2. – С. 16-26.
5. Гареев, А. Н. Сколько корма семья расходует за год / А. Н. Гареев // Пчеловодство. - 1969. - № 2. - С. 22.
6. Глушков, Н. М. О потреблении пчелами меда / Н. М. Глушков // Пчеловодство. - 1947. - № 8. - С. 34-39.
7. Дробышев, А. С. Теплофизические явления в улье медоносной пчелы / А. С. Дробышев, В. Р. Петровец, В. А. Гайдуков // Вестник Белорусской Государственной с.-х. академии. – 2014. - № 3. - С. 121-125.
8. Дульнев Г.Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах / Н.Г. Дульнев, Э.М. Семяшкин // Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. – Л.: Энергия, 1968. – 368 с.
9. Еськов, Е. К. Поведение медоносных пчел / Е. К. Еськов. – М. : Колос, 1981. - 184 с.
10. Еськов, Е. К. Микроклимат пчелиного жилища / Е. К. Еськов. - М. : Россельхозиздат, 1983. – 191 с.
11. Еськов, Е. К. Экология медоносной пчелы / Е. К. Еськов. – М. : Россельхозиздат, 1990. - 221 с.
12. Еськов, Е. К. Этология медоносной пчелы / Е. К. Еськов. - М. : Колос, 1992. - 334 с.
13. Еськов, Е. К. Экология медоносной пчелы / Е. К. Еськов. – Рязань : Русское слово, 1995. - 390 с.

14. Еськов, Е. К. Индивидуальные и социальные адаптации медоносной пчелы к зимовке / Е. К. Еськов // Успехи современной биологии. – 2003. - Т. 123, № 4. - С. 383-390.
15. Еськов, Е. К. Этолого-физиологические приспособления пчел к зимовке / Е. К. Еськов // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству. - Рыбное, 2005. - С. 141-156.
16. Еськов, Е. К. Температура максимального переохлаждения и состояние жирового тела пчел / Е. К. Еськов // Пчеловодство. – 2007. - № 6. – С.22-23
17. Еськов, Е. К. Перегрев улья и развитие пчел / Е. К. Еськов // Пчеловодство. – 2010. - № 3. - С. 22-24.
18. Еськов, Е. К. Холодовое оцепенение рабочих пчел / Е. К. Еськов // Пчеловодство. – 2013. - № 9. – С. 13-14.
19. Еськов, Е. К. Толерантность анестезированных пчел к гипо- и гипертермии / Е. К. Еськов, М. Д. Еськова, С. Е. Спасик // Пчеловодство. – 2014. - № 1. - С.16-17.
20. Еськов, Е. К. Микроклимат пчелиного жилища, его контроль и регулирование : монография / Е. К. Еськов, А. Ф. Рыбочкин, И. С. Захаров, В. А. Тобоев. – Курск: Гуманит.-техн. ин-т, 2009. - 446 с.
21. Еськов, Е. К. Реагирование зимующей пчелиной семьи на холодное воздействие / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Материалы 1-й межд., 3-й Всероссийск. науч.-практ. конф. Пчеловодство холодного и умеренного климата. – М., 2006. - С. 19-24.
22. Еськов, Е. К. Стратегия, используемая пчелами для защиты от переохлаждения / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Пчеловодство. - 2007. - № 3. – С.18-20
23. Еськов, Е. К. Тепловое излучение развивающихся маток / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев, М. Д. Еськова // Пчеловодство. - 2007. - № 9. - С. 14-16.
24. Еськов, Е. К. Динамика тепловых процессов в гнездах зимующих пчел / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Сельскохозяйственная биология. Сер.: Биология животных. - 2008. - № 2. - С. 111-114.

25. Еськов, Е. К. Разогрев разных частей тела зимующих пчел в зависимости от локализации в гнезде / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Аграрная Россия. - 2009. - № 1. - С. 2-3.
26. Еськов, Е. К. Зависимость разогрева тела зимующих пчел от внешней температуры / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Зоологический журнал. - 2009. - Т. 88, № 1. - С. 125-126.
27. Еськов, Е. К. Ритмичность терморегуляторной активности у пчел *Apis mellifera* / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Вестник Оренбургского гос. Университета. – 2009. - № 5. – С. 138-140.
28. Еськова, М. Д. Возрастная и сезонная изменчивость толлелантности медоносной пчелы к гипертермии / М. Д. Еськова // Известия Оренбургского гос. агр. университета. – 2010. - Т. 4, № 28. - С. 225-226.
29. Жданова, Т. С. Температурный режим пчелиной семьи в период зимнего покоя / Т. С. Жданова // Пчеловодство. – 1958. - № 10. - С. 36-40.
30. Жданова, Т. С. Температурный режим пчелиного гнезда и его изменения в течение года : автореф дис. ... канд. биол. наук / Т. С. Жданова. - Казань, 1963. - 20 с.
31. Жданова, Т. С. Зимовка пчел / Т. С. Жданова, В. Ф. Костогладов, О. С. Львов. - М. : Россельхозиздат. - 1967. – 159 с.
32. Жеребкин, М. В. Зимовка пчел / М. В. Жеребкин. – М. : Россельхозиздат, 1979. – 151 с.
33. Загреддинов, А. Ф. Пчелы готовятся к зимовке / А. Ф. Загреддинов // Пчеловодство. – 2009. - № 7. - С. 25.
34. Исаев, С. И. Теория теплообмена / С. И. Исаев, И. А. Кожинов, В. И. Кофанов. - М. : Высшая школа, 1979. - 495 с.
35. Калабухов, Н. И. Материалы по изучению оцепенения (спячки и «анабиоза») у пчелы *Apis mellifera* L. / Н. И. Калабухов // Зоологический журнал. - 1933. - № 4. - С. 121-153.
36. Калабухов, Н. И. «Анабиоз», «замирание» и условия зимовки пчел / Н. И. Калабухов // Пчеловодство. - 1934. - № 7. - С. 24-26.

37. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. - М. : Наука, 1964.
38. Касьянов, А. И. Термогенез пчелиной семьи в пассивный период жизнедеятельности / А. И. Касьянов // Материалы 4-й международной научно-практической конференции Пчеловодство – XXI век. – М., 2003. – С.56-61
39. Касьянов, А. И. Биология обогрева пчелиного гнезда / А. И. Касьянов // Пчеловодство. – 2003. - № 2. – С.16-18
40. Касьянов, А. И. Термогенез пчелиной семьи в пассивный период жизнедеятельности / А. И. Касьянов // Материал 4-й Международной научно-практической конференции Пчеловодство - XXI век. – М., 2003. - С. 56-61.
41. Касьянов, А. И. Улей как тепловая защита зимнего клуба / А. И. Касьянов // Новое в науке и практике пчеловодства. – Рыбное, 2003. – С.138-145
42. Касьянов А.И. Термогенез и тепловой режим пчелиной семьи / А.И. Касьянов, В.И. Лебедев. — Рыбное: Изд-во НИИ пчеловодства. – 2004. – 178 с.
43. Касьянов, А. И. Тепловыделения пчелиной семьи в годовом цикле жизнедеятельности / А. И. Касьянов // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству. – Рыбное, 2005. – С.132-141
44. Касьянов, А. И. Метод определения расхода кормов пчелами на внутриульевую жизнедеятельность / А. И. Касьянов // Инновационные технологии в пчеловодстве. – Рыбное, 2006. – С.114-121
45. Комиссар, А. Д. Высокотемпературная зимовка медоносных пчел / А. Д. Комиссар. — Киев : НПП Лаборатория биотехнологий, Институт зоологии им. И. И. Шмальгаузена Академии наук Украины, 1994. — 166 с.
46. Корж, А. П. Значение абиотических факторов для медоносной пчелы / А. П. Корж, В. Е. Кирюшин // Пчеловодство. – 2012. - № 10 - С. 15-16.
47. Корж, В. Н. Основы пчеловодства / В. Н. Корж. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 192 с.

48. Ковальский, Ю. В. Физико-биохимические изменения в организме медоносных пчел при подготовке к гипобиозу / Ю. В. Ковальский, Я. И. Кирилив, Л. М. // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сборник научных трудов "Белорусская государственная сельскохозяйственная академия". - Горки, 2010. - Вып. 13, ч. 1. - С. 323-335
49. Коришев, В. И. Биофизические основы терморегуляции семьи пчел / В. И. Коришев // Пчеловодство. – 2010. - № 8. - С. 24-26.
50. Кривцов, Н. И. Пчеловодство / Н. И. Кривцов, В. И. Лебедев, Г. М. Тунников. – М : Колос, 1999. - 399 с.
51. Кузьмина, Э. В. Физиологическое состояние роевых пчел / Э. В. Кузьмина, Н. А. Зырянова // Пчеловодство. – 2013. - № 5. - С. 21-22.
52. Кузьмина, Э. В. Сезонные изменения физиологического состояния пчел / Э. В. Кузьмина // Пчеловодство. – 2014. - № 9. - С. 18-19.
53. Лаврехин, Ф. А. Биология медоносной пчелы / Ф. А. Лаврехин, С. В. Панкова. – М. : Колос, 1983. - 303 с.
54. Лебедев, В. И. Биология медоносной пчелы / В. И. Лебедев, Н. Г. Билаш. - М. : Агропромиздат, 1991. - 239 с.
55. Лебедев, В. И. Тепловой режим и энергетика пчелиных семей / В. И. Лебедев, А. И. Касьянов // Пчеловодство. – 2011. - № 2. - С. 16-19.
56. Липатов, В. Ю. Особенности температуры и влажности в клубе пчел прикамской популяции в период диапаузы / В. Ю. Липатов, А. В. Петухов, А. В. Мурылёв // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием Биология будущего: традиции и инновации. - Екатеринбург, 2010. - С. 25-26.
57. Липатов, В. Ю. Температурный режим зимнего клуба медоносной пчелы северного экотипа в условиях приморского края / В. Ю. Липатов // Вестник северного (Арктического) Федерального университета. – 2012. - № 4. – С. 69-74.
58. Лукин, В. И. Зимовка пчел с электрообогревом / В. И. Лукин // Пчеловодство. - 1959. - № 8. - С. 31-33.

59. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. - М. : Высшая школа, 1967. – С. 322-340.
60. Львов, О. С. Биология клуба зимующих пчел в связи с вопросом обоснования необходимого формирования гнезд пчел на зиму : автореф. дис. ... канд. биолог. наук / О. С. Львов. - Москва, 1957. - 20 с.
61. Маршаков, В.Г. Углеводы и термогенез у пчел *Apis mellifera* [Электронный ресурс] / Маршаков В.Г. - Режим доступа: http://beeinbg.ru/bioenergy_2.htm
62. Мастяев, В. Я. Теплофизические предпосылки зимовки пчел / В. Я. Мастяев // Пчеловодство. – 2009. - № 2. - С. 45-46.
63. Мельниченко, А. Н. Биологические основы интенсивного пчеловодства / А. Н. Мельниченко, Р. Б. Козин, Ю. И. Марков. – М. : Колос, 1995.
64. Миснар, А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций / А. Миснар. – М. : Мир. 1968. - 460 с.
65. Михайлов, А. С. Температурные наблюдения над зимующими пчелами в зимовку 1924-1925 года / А. С. Михайлов // Опытная пасека. - 1926. - № 1. - С. 9-15.
66. Михайлов, К. И. Зимовка пчел при пониженном газообмене / К. И. Михайлов // Пчеловодство. - 1963. - № 11. - С. 4-5.
67. Монахова, М. А. Генотип, фенотип и норма реакции в условиях температурного стресса / М. А. Монахова, И. И. Горячева // Пчеловодство. – 2010. - № 4. - С. 19-21.
68. Морева, Л. Я. Изменения содержания воды и жира в теле пчелы в период зимовки / Л. Я. Морева, М. А. Козуб // Пчеловодство. – 2011. - № 1. - С. 16-17.
69. Мостовой, Е. М. Пчеловодство в вопросах и ответах (5-е изд.) / Е. М. Мостовой. — Ростов-на-Дону, 2008. - 315 с.
70. Нахаев, Н. Н. Микроклимат улья из пенополистирола / Н. Н. Нахаев // Пчеловодство. - 1995. - № 1. - С. 42.
71. Некрашевич, В. Ф. Исследование теплофизических и реологических свойств воскового сырья и воска : материалы онлайн-конференции,

- посвященной Дню российской науки / В. Ф. Некрашевич. – Белгород : Изд-во Белгородского ГАУ, 2015. – С. 102-110
72. Несвижский Ю.Б. Метод приближенного анализа стационарного теплового режима тел с температурозависимыми источниками энергии / Ю.Б. Несвижский // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 1969. - №7. – С.82-86.
- 73.Оськин, С. В. Использование электротехнологий для улучшения микроклимата в ульях [Электронный ресурс] / С. В. Оськин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – 2015. - № 02 (106).- С. 135-150.– Режим доступа: <http://cjkubagro.ru/2015/02/hdf/0008/pdf>.
- 74.Петухов, А. В. Физиологическая перестройка в организме пчелы среднерусской и карпатской пород / А. В. Петухов, А. В. Мурылев, В. Ю. Липатов // Пчеловодство. – 2012. - № 9. - С. 16-18.
- 75.Розов, С. А. Зимнее содержание пчел / С. А. Розов // Пчеловодство. - 1955. - № 1. - С. 710.
- 76.Рыбочкин А. Ф. Определение расположения пчелиного клуба на основе распределения тепловых полей / А. Ф. Рыбочкин, С. Н. Пустовалов // Пчеловодство холодного и умеренного климата : материалы 2-й Международной и 4-й Всероссийской научно-практической конференции (Псков 17-18 марта 2007). – М., 2007. - С. 51-54.
- 77.Савицкий, В. Е. Теплообмен зимнего клуба / В. Е. Савицкий // Пчеловодство. – 1976. - № 10. - С. 4-5.
- 78.Семененко, А. Ф. Терморегуляция зимой / А. Ф. Семененко // Пчеловодство. – 1989. - № 2. - С. 24-29.
- 79.Семененко, А. Ф. Терморегуляция зимой / А. Ф. Семененко // Пчеловодство. – 1989. - № 3. - С. 16-19.
- 80.Солодовников, А. С. О тепловом режиме гнезда пчелиной семьи / А. С. Солодовников // Пчеловодство. - 1947. - №9. - С 17-20.

81. Суходолец Л. Г. Теплофизика зимовки пчел / Л. Г. Суходолец – М.: Колос, 2006. – 138 с.
82. Таранов, Г. Ф. Активность обмена веществ у медоносных пчел при различных температурах / Г. Ф. Таранов // Природа. - 1950. - № 1. – С.75-78
83. Таранов, Г. Ф. Концентрация углекислого газа в зимнем клубе пчел / Г. Ф. Таранов, К. И. Михайлов // Пчеловодство. - 1960. - № 10. - С. 5-10.
84. Таранов, Г. Ф. Биология пчелиной семьи / Г. Ф. Таранов. - М. : Сельхозгиз, 1961. - 336 с.
85. Таранов, Г. Ф. Анатомия и физиология медоносных пчел / Г. Ф. Таранов. – М. : Колос, 1968. - 343 с.
86. Тобоев, В. А. Расход корма и терморегуляция семей / В. А. Тобоев // Пчеловодство. - 2006. - № 3. - С. 12-14.
87. Тобоев, В. А. Современные методы изучения теплового гомеостаза / В. А. Тобоев // Пчеловодство. – 2006. - № 10. - С. 43-45.
88. Тобоев, В. А. Теплофизическая модель холодовой агрегации пчел / В. А. Тобоев // Пчеловодство. – 2007. - № 1. –С. 20-21.
89. Тобоев, В. А. Математическая модель холодовой агрегации пчел / В. А. Тобоев // Материалы 2-й Международной и 4-й Всероссийской научно-практической конференции (Псков 17-18 марта 2007). – М., 2007.
90. Тобоев, В. А. Самоорганизация в процессе реагирования пчел на охлаждение / В. А. Тобоев // Известия Оренбургского университета. – 2008. - Т. 3. - № 19. – С. 217-218.
91. Тобоев, В. А. Генерация, накопление и рассеяние тепла в скоплениях агрегирующихся насекомых / В. А. Тобоев, Е. К. Еськов // С.-х. биология. - 2009. - Т.70 - № 2. - С. 110-120.
92. Тобоев, В. А. Моделирование конвективного теплопереноса в скоплениях медоносных пчел / В. А. Тобоев, М. С. Толстов // Наука и образование. – 2014. - № 3. - С. 116-119.
93. Трифионов, А. Д. Почему в центре клуба температура выше, чем на его поверхности / А. Д. Трифионов // Пчеловодство. - 1998. - № 1. - С. 32-33.

94. Тунников, Г. М. Технология производства и переработки продукции пчеловодства / Г. М. Тунников, Н. И. Кривцов, В. И. Лебедев, Ю. Н. Кирьянов. — М.: Колос, 2001. — 176 с.
95. Фрунзе, О. Н. Активность каталазы у пчел летней и осенней генераций / О. Н. Фрунзе, А. В. Петухов, А. Ю. Максимов // Пчеловодство. — 2009. - № 2. - С. 23.
96. Халифман, И. Пчелы / И. Халифман. — М.: Молодая гвардия, 1953. — 398 с.
97. Харченко, Г. И. Условия содержания и размеры клуба / Г. И. Харченко // Пчеловодство. - 1980. - № 3. - С. 20-21.
98. Хомутов, А. Е. Зависимость топографии зимнего клуба от температуры окружающей среды / А. Е. Хомутов, В. В. Ягин, Д. В. Филатов // Пчеловодство. — 2010. - № 10. - С. 14-16.
99. Шовен, Р. Жизнь и нравы насекомых. Перевод с французского И.В.Катунской и Н.В.Кобриной. Под редакцией Н.А.Халифмана. - М.: Госуд. изд-во с.-х. литературы, 1960. - 250 с.
100. Ягин, В. В. Изменение показаний микроклимата при внутриульеовой мобилизации на сахарный сироп / В. В. Ягин, Д. В. Филатов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. — 2011. - № 2. - С. 165-168.
101. Askew G. N. The scaling of myofibrillaractomyosin ATPase activity in apid bee flight muscle in relation to hovering flight energetics / G. N. Askew, R. T. Tregear, Ch. P. Ellington // The Journal of Experimental Biology. — 2010. - № 213. — P. 1195-1206.
102. Armbruster L. Der WarmehaushaltimBienenolk- Berlin, 1923.-120 s.
103. Benzinger, T. Direct Calorimetry by Means of the Gradient Principe / T. Benzinger, C. Kitzinger // The Review of Scientific Instruments. - 1949. - V. 20. - № 12. - P. 849-860.
104. Brunnich K. Von der Innenwarme des Bienenleibes // Arch f. Bienenkunde.- 1922.- №4.- P. 161.
105. Burkhardt D. Rhythmische Erregungen in den optischen Zentren von Caliphoraerythrocephala // Z.f.Physiol.- 1954.- B.36.

106. Büdel A. Der Wärmetransport in dem von den Bienen während des Winters nichtbesetzten Innenraum der Beute // *Z.f.Bienenforschung*.- 1953.- B.2.- H.3.- 67 s.
107. Büdel A. Ein Beispiel der Temperaturverteilung in der Schwarmtraube / A. Büdel // *Zeit. für Bienenforschung*.- 1958.- 4.- №3,- S.63-66.
108. Camazine, S. Self-organization pattern formation on the comb of honey bee colonies // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. - 1991. - V. 28. - P. 61-76.
109. Corkins C.L. The Temperature Relationships of the Honeybee Cluster under Controlled External Temperature Condition // *J. econ. Entom.*- 1932.- 25.- S. 820-825.
110. Dunham W.E. Hive Temperatures during the Summer // *Glean Bee Cult.*- 1933.- 61.- P. 527-529.
111. Esch H. Über die Körpertemperaturen und der Wärmehaushalt von *Apis mellifica*// *Z. Vergleich. Physiologie*.- 1960.- B.43.- S. 305-335.
112. Esch H. Über den Zusammenhang zwischen Temperatur, Aktionspotentialen und Thoraxbewegungen bei der Honigbiene (*Apis mellifica*) // *Zeitschrift für vergl. Physiol.*- 1964.- B. 48.- S. 547-551.
113. Esch H., Goller F. Neural control of fibrillar muscles in bees during shivering and flight. // *Journal of Experimental Biology*. – 1991. – 159. – P. 419-431.
114. Fahrenholz L., I. Lamprecht, and B. Schrickler Thermal investigations of a honey bee colony: thermoregulation of the hive during summer and winter and heat production of members of different bee castes // *Journal of Comparative Physiology B*. - 1989. - 159. - P. 51-560.
115. Fehler, M., Kleinhenz, M., Klügl, F., Puppe, F., Tautz, J., 2007. Caps and gaps: a computer model for studies on brood incubation strategies in honeybees (*Apis mellifera carnica*) // *Naturwissenschaften*. – 2007. – 94. – P. 675–680.
116. Free J.B., Simpson J. The respiratory Metabolism of Honey-Bee Colonies at low Temperatures // *Entomol. Exper. Appl.*- 1963.- 6(3).- P. 234-238.
117. Free J.B., Racey P. A. The effect of the size of Honeybee Colonies on food Consumption, Brood rearing and the longevity of the Bees during Winter // *Ent. Exp. appl.*- 11(1968).- P. 241-249.

118. Hallund V. Om biernesovervintzing // Nord. Bitidskz.- 1956.- H.4.- 106 S.
119. Heinrich B. Mechanisms of body-temperature regulation in honeybees, *Apis mellifera*. I. Regulation of head temperature // *Journal of Experimental Biology*. – 1980. – 85. – S. 61-72.
120. Heinrich B. Mechanisms of body-temperature regulation in honeybees, *Apis mellifera*. II. Regulation of head temperature // *Journal of Experimental Biology*. – 1980. – 85. – S. 73-87.
121. Heran H. Temperature Sense of Honey Bees // *Z. Verge. Physiol.*- 1952. - №34. - P. 179-206.
122. Heussner A., Stussi T. Metabolisme energetique de l'abeilleisolle. Son roledans la thermoregulation de la ruche // *Ins. Soc.*- 1964.- №11.- P. 299-266.
123. Himmer A. EinBeitragzurKenntnis des Warmehaushaltsim Nestbau Sozialer Hautfluger // *Zeitschrift fur Vergleichende Physiologie*. – 1927. – 5. – S.375-379.
124. Himmer A. Der soziale Warmehaushalt der Hongbiene. II. Die Warme der Bienenbrut // - *Erlanger Jb. Bienenkd.* – 1927. – 5. - S.1-32.
125. Himmer A. Die Temperaturverhaeltnissebei den sozialenHymenopteren. // *Biological Review*. – 1932. – 7. – S. 224-253.
126. Humphrey J.A.C., E.S. Dykes Thermal energy conduction in a honey bee comb due to cell-heating bees // *Journal of Theoretical Biology*. – 2008/ - 250. – S.194–208
127. Kleinhenz, M., Bujok, B., Fuchs, S., Tautz, J. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within // *J. Exp. Biol.* – 2003. - 206. - S.4217–4231.
128. Milner R.D., Demuth G.S. Heat Production of Honeybees in Winter // *U.S.Dept. Agricult.*- 1921.- № 988.- P. 1-18.
129. Moritz RFA, Southwick EE Bees as superorganisms. In: Goodman LJ, Fisher RC, editors. *The Behaviour and Physiology of Bees*. Wallingford UK: CAB International. – 1992. - P. 28–47.
130. Owens C.D. The Termology of Wintering Honey Bee Colonies // *U.S. Dep. Agr.*-№1429.- 1971.-32 p.

131. Phillips E.F., Demuth G.S. The Temperature of the Honeybee Cluster in Winter//U.S.D. of Agr. Bull.- №93.- 1914.- 16 p.
132. Pirsch C.B. Studies on the Temperature of individual Insects // J. Agric. Research.- 1923.- Vol. 24.- №4.- S. 275-288.
133. Radmacher S., Strohm E. Effects of constant and fluctuating temperatures on the development of the solitary bee *Osmiabicornis* (Hymenoptera: Megachilidae) // *Apidologie*. – 2011. - 42. – P. 711–720
134. Roth M. La production de chaleur chez *Apis mellifica* // *L. Ann. Abeille*.- 1965.- 8.-№1.- P. 5-77.
135. Simpson J. Nest Climate Regulation in Honey Bee Colonies // Reprinted from *Science*.-1961.-April 28.-V. 133.-№3461.-P.1327-1333.
136. Seeley, T.D., Camazine, S., Sneyd, J. Collective decision making in honey bees: how colonies choose among nectar sources // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. - 1991. - V. 28. - P. 277-290.
137. Seeley T.D., Visscher, P.K. Group decision making in nest-site selection by honey bees // *Apidologie*. - 2004.- V. 35. - P. 1-16.
138. Southwick E.E. Thermoregulation in Honey bee colonies // Needham G., Page R.E., Delfinado-Baker M., Bowman C.E. / *Africanized honey bees and beemites*.- New York: wiley.- 1983. - P. 223-236.
139. Southwick E.E., Heldmaier G. Temperature control in honey bee colonies // *BioSci*. - 1987. - 37. - P. 395-399.
140. Stabentheiner A., Pressl H., Papst T., Hrassnigg N., Crailsheim K. Endothermic heat production in honeybee winter clusters // *The Journal of Experimental Biology*. – 2003. - 206. – P. 353-358 353.
141. Stabentheiner A., Schmaranzer S. Thermographic Determination of Body Temperatures in Honey Bees and Hornets: Calibration and Applications // *Thermology*. – 1987. - 2. – P. 563–572.
142. Stress A., Stabentheiner H., Kovac R. Honeybee Colony Thermoregulation – Regulatory Mechanisms and Contribution of Individuals in Dependence on Age // *Location and Thermal Brodschneider journals*. - 2010

143. Stussi T. Ontogenese du rythme circadien de la dépense énergétique chez l'abeille // Arch. Sci. physiol.- 1972.- 26.- №2.- P. 161-173.
144. Stussi T. Thermogenèse de l'abeille et ses rapports avec le niveau thermique de la ruche // These Doct. Sci. natur Fac.Sci:Lion, 1967.- 376 p.
145. Winston M.L. The Biology of the Honey Bee.- London : Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.

