

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В ПЧЕЛИНОМ УЛЬЕ

С. В. Оськин, А. А. Лоза, С. М. Федак

Много ученых и просто пчеловодов изучают поведение пчел, способы создания и поддержания ими параметров микроклимата. Особенно интересно их существование в зимний период, когда они находятся в клубе и их жизненные процессы замедлены. На основе ранее проведенного моделирования основных процессов в пчелином улье было проведено дальнейшее исследование температурно-влажностного режима и установлены параметры, на него влияющие. Использование интерфейсов ПО Comsol «Heat Transfer», «Transport of Diluted Species» и «Laminar Flow» позволило получить изображения влажностных и температурных полей в улье в зависимости от наружной температуры воздуха. Установлено, что при колебаниях окружающего улей воздуха от минус 28 °С до плюс 15 °С пчелы стабильно держат в клубе температуру около 30 °С. При низких температурах внутренние стенки улья охлаждаются практически до температуры наружного воздуха. Все полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными и соответствуют природному состоянию пчел. При низких температурах вне улья пчелы поедают больше меда, идет больше выход влаги из клуба и происходят повышенные потери тепла с вентиляцией. Исследование траекторий движения воздуха внутри улья позволяет дать рекомендации пчеловодам по улучшению вентиляции задней части улья. Наблюдается повышенная влажность задней стенки улья и потолка. Если в процессе зимовки произойдут нарушения вентиляционных потоков воздуха, то необходимо также принять меры по снижению влаги в застойных зонах применением влагопоглощающих материалов. Использование пчеловодами деревянных ульев позволяет снизить влажность в улье за счет адсорбции влаги стенками жилища.

Ключевые слова: пчеловодство, «Comsol», моделирование, микроклимат, температура, влажность.

Большое значение для получения высоких медосборов имеет состояние микроклимата в улье. Для того чтобы пчелиная семья успешно перезимовала в улье и был минимальный подмор, нужно, чтобы все параметры микроклимата соответствовали необходимым для жизнедеятельности пчел. Зимой пчелы образуют зимнюю агрегацию (клуб) и переходят в пассивное состояние с замедлением всех своих биологических процессов: обмен веществ уменьшается почти в 100 раз по сравнению с летним периодом. Внутри улья происходит следующее: изменения влажности, движения воздуха с различными скоростями, поглощение влаги конструктивными элементами улья, выделение и потери тепла зимнего клуба, возможно перемещение зимней агрегации в объеме улья. Пчелы при дыхании поглощают из внутреннего воздуха кислород и выделяют углекислый газ и воду. Установлено, что за одни зимние сутки средней пчелиной семье требуется около 10 м³ воздуха. Однако усиленная вентиляция улья приводит и к значительным потерям тепла [1–3].

Этим сложным и одновременно протекающим процессам с применением математических описаний и моделирования посвящали свои работы В.А. Тобоев, М.С. Толстов, Е.К. Еськов, А.Ф. Рыбочкин, Л.Г. Суходолец, Д.А. Овсянников и др. [4–6]. В работах А.Ф. Рыбочкина установлено много необходимых для исследований характеристик как по самим ульям, так и по зимнему клубу [7]. В Кубанском ГАУ тоже занимаются моделированием основных физических процессов в улье с применением ПО Comsol [8–10]. Это позволяет увидеть недостатки в конструкциях ульев или установить влияние внутренних нарушений на микроклимат в ульях. Моделирование привело к определению и уточнению основных теплофизических характеристик ульев и рекомендовать места установки электроподогрева [11]. Необходимо и дальше продолжать исследования для уточнения параметров микроклимата по температуре и влажности, чтобы создать максимальные комфортные условия для пчелиной семьи.

Цель исследований – определить в улье критические места по влажности и температуре, рекомендовать пчеловодам мероприятия по улучшению микроклимата в пчелином жилище.

Материал и методы исследования

В опубликованных статьях [8–10] приводились результаты исследований по микроклимату в ульях с использованием ПО Comsol. Современным способом исследования физических полей является применение метода конечных элементов, который используется в ПО Comsol. В дальнейших исследованиях нами также за основу принимался улей дадановского типа на 12 рамок со скоплением пчел 15 000 штук. При моделировании использовались интерфейс «Heat Transfer», «Transport of Diluted Species»

и «Laminar Flow», результаты расчетов объединялись через мультифизические связи.

Решено было проанализировать внутренние процессы в улье в стационарном режиме в широком диапазоне температур окружающего воздуха: $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для создания геометрической модели необходимо было определиться с размерами клуба пчел и внутренних конструктивных элементов улья. Основные параметры геометрии представлены на рисунке 1.

После определения основных размеров конструкции была разработана геометрическая модель улья в соответствующем интерфейсе ПО (рис. 2).

В модели исходный воздух в улей приходит через нижний леток (Inlet), а выбрасывается

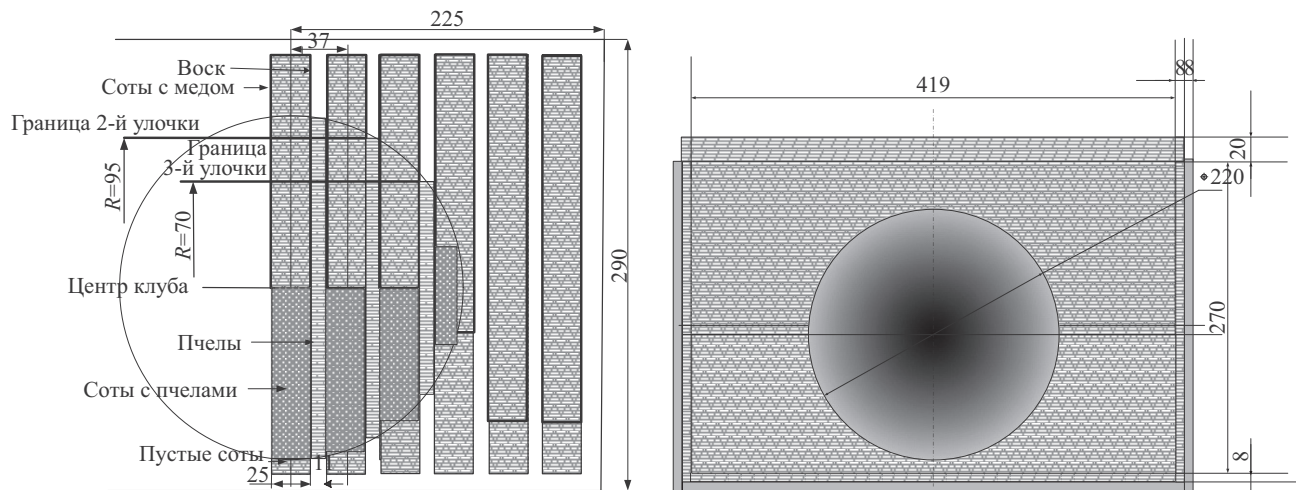


Рис. 1. Вид расположения рамок и клуба пчел в улье

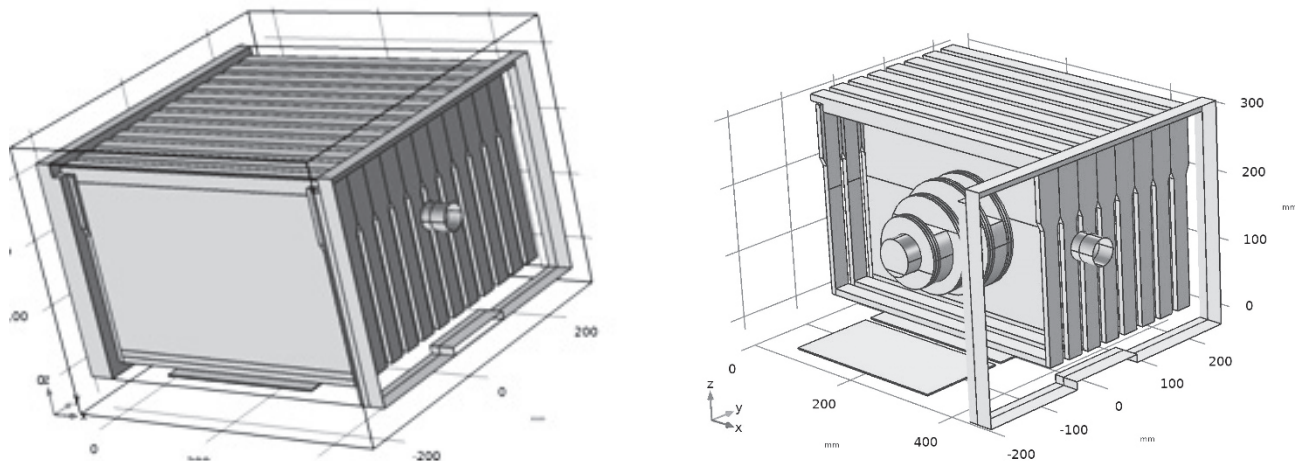


Рис. 2. Вид геометрической модели объекта исследований с удалением внешнего контура



отработанный через верхнее круглое отверстие (Outlet). В клуб пчел воздух поступал через его нижнюю часть, а выходил через верхнюю. Такую реализацию проводили через подпрограммную вкладку «Open Boundary».

Исследование теплового состояния улья с пчелиным клубом проведено в блоке «Heat Transfer», в основе которого лежит уравнение теплопроводности в классическом виде:

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + \rho \cdot c_p \cdot u \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z} \right) = \sum Q_s, \quad (1)$$

где ρ и c_p – соответственно плотность и теплоемкость среды;

u – скорость воздушного потока;

$q = -\lambda \nabla T$ – плотность теплового потока;

$\sum Q_s$ – общая интенсивность тепловыделений пчелами, Вт/м³.

Влажностный режим в улье моделировали с учетом конвекции, диффузии и адсорбции на основании законов Фика, Навье-Стокса, Дарси. Деревянные элементы улья рассматривались как пористые объекты. В интерфейсах по влагообмену нужно знать изотерму адсорбции при расчете накопления концентрации воды в деревянных конструкциях. Для этого применялась формула:

$$c_{pi} = k_{pc} \cdot c_i, \quad (2)$$

где k_{pc} – изотерма адсорбции, м³/кг;

c_i – концентрация водяных паров в воздухе, моль/м³.

Установлено, что влагопоглощение сосны (большинство ульев выполнено с использованием этой породы дерева) при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 80% составляет 420 кг/м³. Расчеты по изотерме адсорбции показали, что для данной породы дерева она составила 65, 4 кг/м³.

Решение моделей проводилось с применением решателей, существующих в программном обеспечении.

Результаты и обсуждение

После получения решений моделей физических процессов, протекающих в улье, были построены изображения температуры, влажности и скоростей воздуха внутри улья при разных температурах внешней среды. Так, например, для внешней температуры минус 25 °С имеются изображения температурных полей в разрезе по центру улья и между четвертой и пятой рамками (рис. 3).

По этим рисункам видно, что максимальная температура в центре клуба находится на уровне плюс 30 °С, а на краях скопления пчел около плюс 15 °С. В то же время в разрезе после четвертой рамки температура в центре около +20 °С, а на краю +15 °С. Таким образом, модель показывает реальное состояние температуры как в центре клуба, так и по краям.

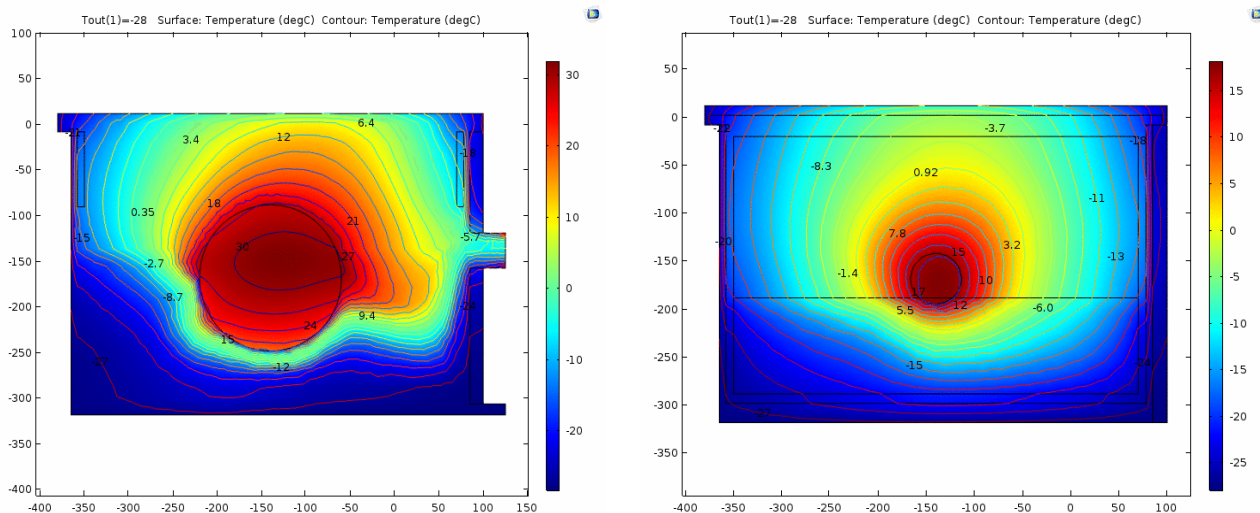


Рис. 3. Изображения температурных полей внутри улья при температуре окружающего улей воздуха минус 25 °С, слева по центральной улочке, справа между четвертой и пятой рамками

Литературные данные показывают, что пчелы на верхней части клуба имеют температуру от +12 °С до +15 °С, а в центре поддерживают температуру от +28 °С до +33 °С. Периодически пчелы, которые находятся на периферии клуба, переходят в центр для согревания и поедания корма.

На рисунке 4 приведены поля распределения влажности внутреннего воздуха внутри улья при температуре наружного воздуха

минус 28 °С. На рисунке 5 показано сечение улья по центру с нанесением поля влажности, где видно, что внешний воздух поступает через нижний леток с концентрацией влаги 0,04 моль/м³, а сверху концентрация уже составляет 0,5–0,6 моль/м³. Это происходит за счет вывода влаги из клуба. Таким образом, пчелы выбрасывают насыщенный влагой воздух через верхнюю часть клуба и внутри его происходит поедание корма с выделением тепла и влаги.

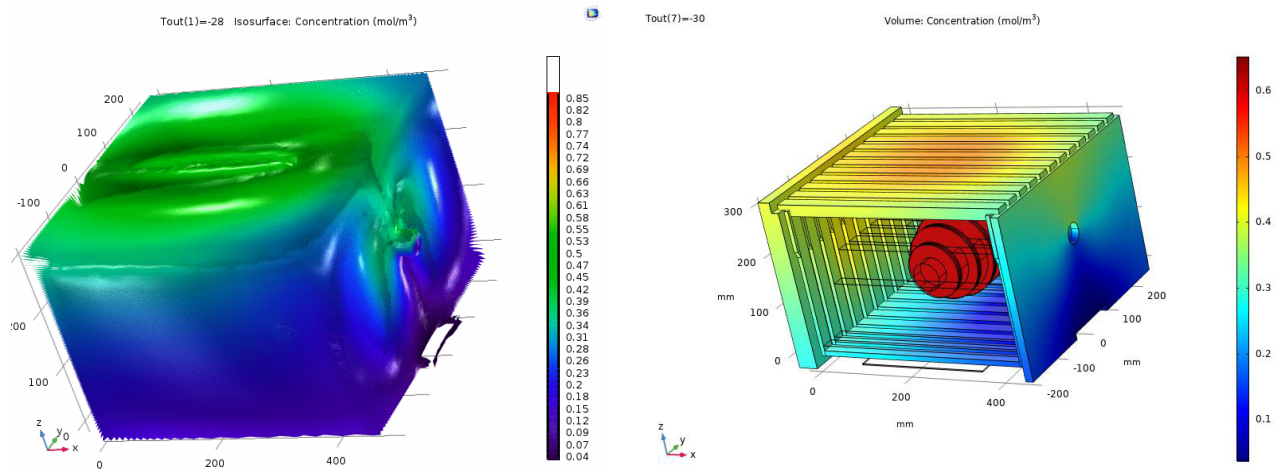


Рис. 4. Поле распределения влажности внутреннего воздуха

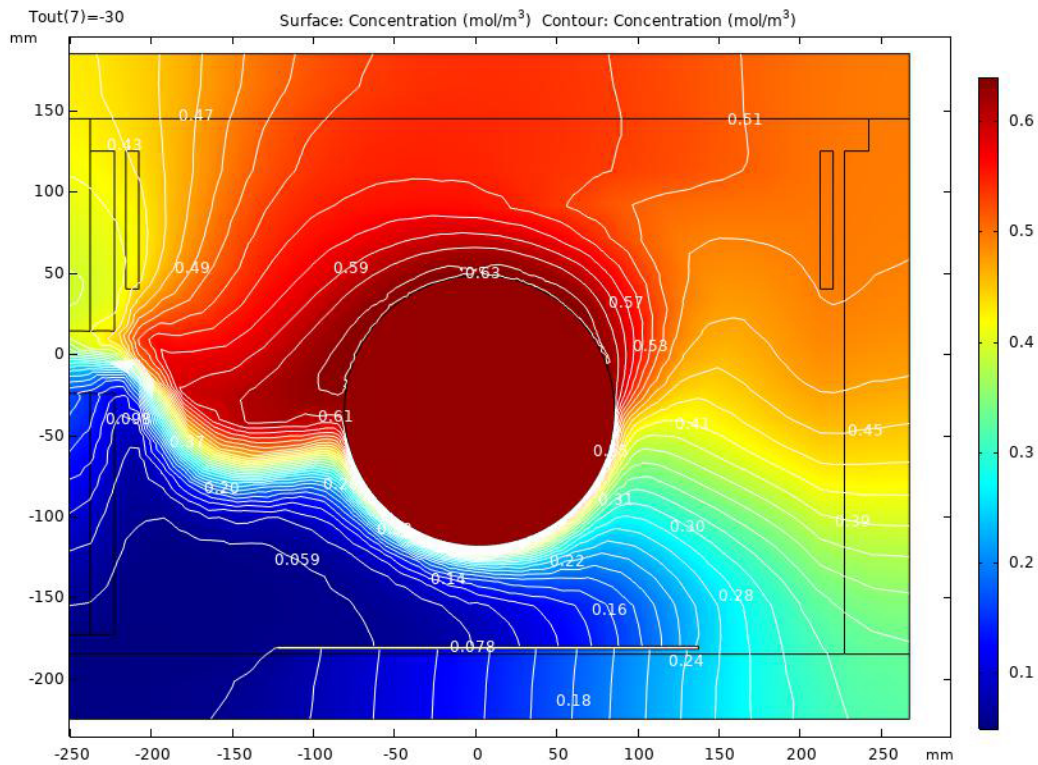


Рис. 5. Сечение по центральной улочке с полем влажности и значений концентрации влаги



Большое влияние на состояние микроклимата в улье оказывают пути и скорости перемещения воздуха. Пчелы стараются сами регулировать воздухообмен, если нет каких-то препятствий. Такие препятствия могут создаваться пчеловодом при неправильном открытии летков либо возникающих внутренних повреждений в результате зимовки. Так, например, осенью пчелы могут сами залепить прополисом часть вентиляционных каналов или в результате повышенного подмора сокращаются просветы в нижней части улья, также могут проникнуть мыши, которых пчелы могут «замуровать» прополисом и т.д. Исследования движения воздуха проводились при нормальном состоянии системы вентиляции улья. Так, на рисунке 6 пока-

заны скорости и траектории движения воздуха с различных ракурсов.

Анализ показал, что скорость воздуха в нижнем летке находится в пределах 0,01–0,02 м/с, а в центральном летке – 0,12 м/с. По траекториям движения воздуха можно видеть, что поступающий через нижний леток воздух распределяется по улочкам, а другая часть идет вдоль задней стенки улья.

Проведен анализ процесса абсорбирования влаги деревянными конструкциями улья (рис. 7). Можно увидеть, что деревянные элементы в верхней части успешно абсорбируют влагу и не допускают конденсации. Однако следует рекомендовать все-таки раздвигать планки потолка для удаления избытка влаги.

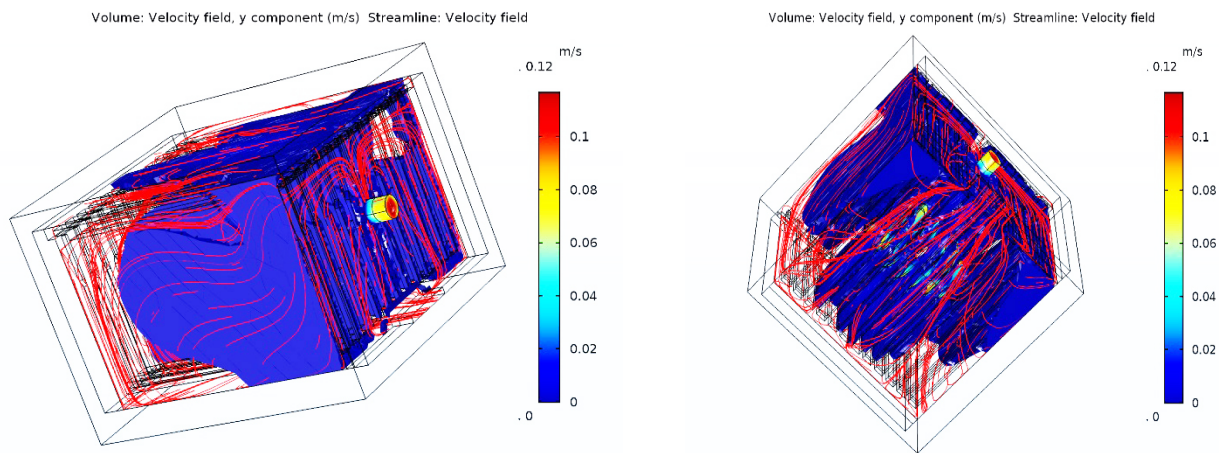


Рис. 6. Изображения траекторий движения воздуха внутри улья

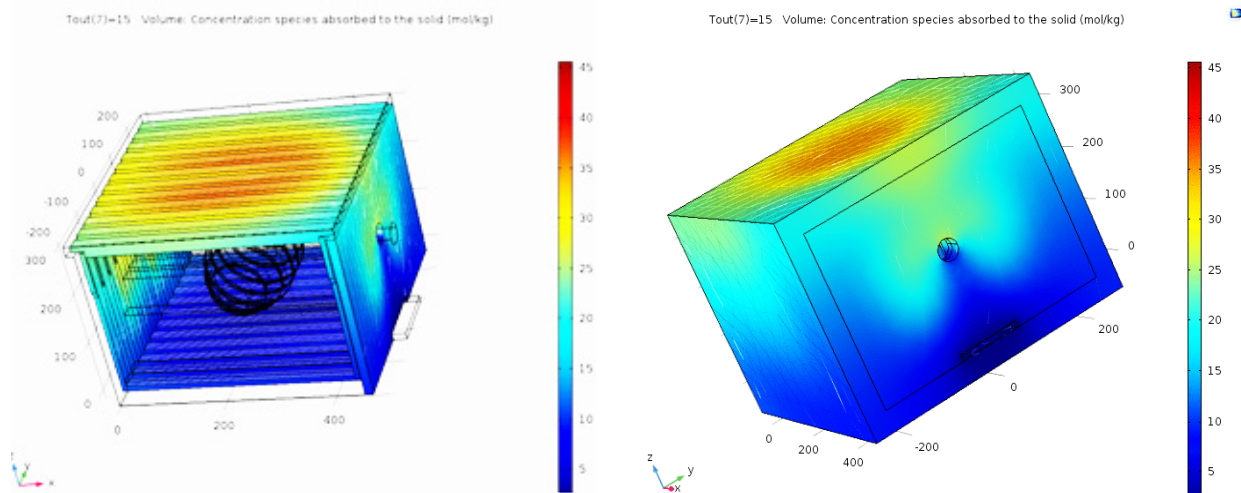


Рис. 7. Вид деревянных элементов улья и степень абсорбирования влаги

Выводы

Необходимо продолжать исследования температурно-влажностного состояния в пчелиных ульях в разные периоды их существования. Это поможет создать пчелам комфортные условия для зимовки и набору силы семьи в весенний период.

Моделирование микроклимата в ульях в зимний период показывает большую зависимость его параметров от состояния вентиляции. Там, где скорость движения воздуха минимальна, наблюдается повышенное значение концентрации влаги. Анализ температурных полей подтверждает литературные данные по значениям температур внутри клуба и во всем улье. Исследования потерь тепла показали, что их большая часть происходит через воздухообмен и меньшая через ограждения. На наружных частях улья температура стенок и меда в крайних рамках почти равна температуре окружающего воздуха. Это обстоятельство нужно учитывать пчеловодам, особенно в весеннее время, так как иногда пчелы не могут забрать мед из крайних рамок из-за сильного их переохлаждения. При зимовке на открытом воздухе лучше установить нагревательные элементы под крайние рамки, чтобы подогреть мед.

Исследования температурных полей клуба пчел показали, что на периферии зимней агрегации наиболее низкая температура находится внизу и держится в интервале $+12\text{ }^{\circ}\text{C} \div +13\text{ }^{\circ}\text{C}$ даже при самых низких значениях окружающего воздуха. Это обстоятельство подтверждает адекватность полученной модели. Также нужно отметить, что при больших температурных колебаниях наружного воздуха внутри клуба пчелами стабильно поддерживается положительная температура от $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Скорость перемещения воздуха внутри улья зависит от наружной температуры и при равной минус $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость на входе в нижний леток находится на уровне $0,03\text{--}0,1\text{ м/с}$. При выходе из улья через центральный леток скорость воздуха становится равной уже $0,12\text{--}0,16\text{ м/с}$. В процессе зимовки нужно контролировать степень чистоты верхнего летка, чтобы воздухообмен не ограничивался. Отмечено, что наиболее высокие скорости перемещения воздушных масс проявляются внутри клуба – $0,18\text{ м/с}$. Исследования траекторий движения воздуха показали, что поступающий воздух с наружной температурой и влажностью, пройдя через нижний леток, расходится: одна часть поступает че-

рез улочки к клубу пчел и проходит через него с большой скоростью, насыщаясь влагой, выходит из скопления и двигается к центральному летку; другая часть по низу улья проходит к задней стенке и за счет тепловой конвекции поднимается вверх с круговыми циркуляционными движениями. При этом появляются застойные места, где может скапливаться влага и требуется принимать меры по созданию дополнительных выходов этого воздуха, например, раздвигать планки потолка.

Влажностный состав воздуха в улье неравномерен по всему объему, так как через нижний леток поступает воздух с влагосодержанием $0,04\text{ моль/м}^3$, а в верхней части и задней концентрации влаги составляет $0,45\text{--}0,63\text{ моль/м}^3$. Здесь также можно рекомендовать дополнительные меры по снижению влажности в критических местах улья, например, укладка влагопоглощающих материалов или открытие дополнительных площадок для удаления отработанного воздуха. Распределение концентрации влаги в деревянных элементах улья показывает насыщение их влагой в соответствии с влажностью пограничного воздуха.

Список литературы

1. Корж, В. Н. Основы пчеловодства / В. Н. Корж. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 192 с.
2. Лебедев, В. И. Тепловой режим и энергетика пчелиных семей / В. И. Лебедев, А. И. Касьянов // Пчеловодство. – 2011. – № 2. – С. 16–19.
3. Трифонов, А. Д. Теплообмен улья, заселенного пчелами, с окружающей средой / А. Д. Трифонов // Пчеловодство. – 1991. – № 9. – С. 28–31.
4. Еськов, Е. К. Математическое моделирование распределения температурных полей в холодных агрегациях насекомых / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Биофизика. – 2009. – Т. 54. – Вып. 1. – С. 114–119.
5. Тобоев, В. А. Моделирование тепловых процессов в скоплениях зимующих пчел / В. А. Тобоев, М. С. Толстов // Физические процессы в биологических системах. – 2014. – Июнь. – С. 97–102.
6. Тобоев, В. А. Моделирование конвективного теплопереноса в скоплениях медоносных пчел / В. А. Тобоев, М. С. Толстов // Межотраслевой институт «Наука и образование» Ежемесячный научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 116–119.



7. Рыбочкин, А. Ф. Компьютерные системы в пчеловодстве : монография / А. Ф. Рыбочкин, И. С. Захаров. – Курск : Курск. гос. техн. ун-т, 2004. – 420 с.

8. Оськин, С. В. Моделирование основных физических процессов в пчелином улье / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Биофизика. – 2019. – Т. 64. – № 1. – С. 153–161.

9. Оськин, С. В. Моделирование тепловых режимов в пчелином улье / С. В. Оськин, Л. В. Потапенко // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона : матер. XII Междунар. науч.-практ.

конференции. – Ставрополь : Агрус, 2018. – С. 113–119.

10. Оськин, С. В. Моделирование физических процессов зимней агрегации пчел / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников, Д. С. Цокур // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. – Тамбов : «Тамбовский государственный технический университет», 2018. – С. 166–175.

11. Оськин, С. В. Моделирование теплофизических процессов в пчелином улье с электроподогревом / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Биофизика. – 2020. – Т. 65. – № 2. – С. 381–389.

Оськин Сергей Владимирович, д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина.

E-mail: kgauem@yandex.ru.

Лоза Андрей Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина.

E-mail: el-mash@kubsau.ru.

Федак Сергей Михайлович, аспирант, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина.

E-mail: el-mash@kubsau.ru.

* * *