

УДК 638.14.015

UDC 638.14.015

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**АДАПТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ПЧЕЛ**

**WINTER BEEHIVES ELECTRIC HEATING ADAPTIVE TECHNOLOGY**

Оськин Сергей Владимирович  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электрических машин и электропривода,  
SPIN-код: 2746-7547

Oskin Sergey Vladimirovich  
Doctor of technical sciences, professor, head of department of electrical machines and drives,  
SPIN-code: 2746-7547

Потапенко Людмила Владимировна  
аспирантка кафедры электрических машин и электропривода,  
SPIN-код: 1244-5113

Potapenko Ludmila Vladimirovna,  
Postgraduate student of department of electrical machines and drives,  
SPIN-code: 1244-5113

Овсянников Дмитрий Алексеевич  
к.т.н., доцент кафедры электрических машин и электропривода,  
SPIN-код: 2802-4906

Ovsyannikov Dmitriy Alexeyevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor of electrical machines and drives,  
SPIN-code: 2802-4906

Ильченко Яков Андреевич  
к.т.н., доцент кафедры электрических машин и электропривода,  
SPIN-код: 8306-5235  
*Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия*

Ilchenko Iakov Andreevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor of electrical machines and drives,  
SPIN-code: 8306-5235  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье рассматриваются вопрос повышения рентабельности труда в пчеловодстве с помощью внедрения средств механизации и автоматизации основных технологических процессов. Наиболее сложным и ответственным периодом в пчеловодстве, который влияет на дальнейшую продуктивность пчелиной семьи, является зимний период. Особенностью зимнего состояния пчел является их способность к агрегации и поддержанию внутренней температуры на уровне 24...32 °С при широких колебаниях наружной температуры. Для облегчения прохождения зимнего периода применяется электрообогрев, для оптимального режима работы которого необходимо учитывать изменяющуюся геометрию зимнего пчелиного клуба. На параметры микроклимата в улье влияет активность пчел, что следует учитывать при разработке системы управления электрообогревом, которая должна быть адаптивной. Проведенные исследования позволяют получить основные уравнения, описывающие состояние микроклимата в улье с учетом изменяющейся геометрии зимнего клуба пчел. Уравнения связывают основные параметры клуба пчел, характеристики улья, состояние внутреннего воздуха с температурой наружного воздуха. Результаты моделирования могут использоваться при программировании контроллеров управления систем адаптивного электрообогрева, а также в специализированном программном обеспечении для моделирования состояния микроклимата в улье

The article is devoted to increasing beekeeping's earning capacity with rigging and automation of technological processes. Winter is the most complicated and critical period in beekeeping. It influences on further productivity of bee colony. Winter period has specificity – bees are gathering in winter cluster and sustaining temperature in 24...32 °C range inside. This temperature is depending on fluctuation of outside air temperature. For passing winter without complication electric heating is used. Cluster geometry in winter is changing constantly and for optimal regime of electric heating we need to take it into account. Additionally, bees' activity changing beehive's microclimate and it's important to know when beehive's microclimate adaptive control system is developed. Conducted researches allow us to get basic equations which characterizes microclimate with taking into account of winter cluster's variable geometry. The equations establish linkage basic parameters of beehive, winter cluster, internal air between outdoor air. Simulation results may be used for adaptive heating control system programming. Additionally, it may be used in special-purpose software for beehive's microclimate simulation

Ключевые слова: РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ТРУДА, ПЧЕЛОВОДСТВО, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ, МИКРОКЛИМАТ, ЗИМНИЙ КЛУБ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Keywords: EARNING CAPACITY, BEEKEEPING, ELECTRICAL TECHNOLOGY, MICROCLIMATE, WINTER CLUSTER, COMPUTER SIMULATION, ENERGY CHARACTERISTIC

**Doi: 10.21515/1990-4665-132-022**

Пчеловодство в России имеет отличительную особенность – при имеющемся большом количестве пчелиных семей очень низкая степень механизации и автоматизации основных технологических процессов. Резко изменить такую ситуацию невозможно, но можно выбрать наиболее нуждающиеся процессы и направить туда научные и инженерные разработки. Для этого нужно провести соответствующие исследования и представить пчеловодам доказательную базу эффективности предлагаемых разработок. Конечно, большая часть пчеловодов ждет отдачу от вложенных средств как можно раньше, то есть за 1 год. Пчеловоды, которые имеют более 100 семей, готовы на более долговременную перспективу. Проведенный анализ рентабельности труда пчеловодов показывает, что сейчас она очень низкая, но ее можно увеличить, если действовать системно [1, 6].

В технологии пчеловодства на юге России очень важной составляющей является зимовка. От успешности прохождения этого периода зависит продуктивность пчелиной семьи, особенно на весенних медосборах. Если после зимовки пчелиная семья сильно ослабла (много подмора), то она не успевает нарастить необходимое количество рабочих пчел к периоду цветения медоносных растений. Публикуется множество исследований, посвященных анализу этого сложного периода состояния пчел. Более тщательный анализ, с использованием современных программных продуктов, проводил Тобоев В.А. и Еськов Е.К. [2, 3, 4]. Особенностью зимнего состояния пчел является их способность к агрегации и поддержанию внутренней температуры на уровне 24...32 °С при широких колебаниях наружной температуры. В конце зимы, при появлении расплода пчелы, подни-

мают температуру до 34°C. Поддержание таких температур происходит на основе потребления пчелами меда и постоянной вентиляции зимнего клуба. Несмотря на большое количество исследований в этой области, этот процесс остается до конца не изученным. Необходимость полного понимания жизнедеятельности пчел диктуется задачами повышения медопродуктивности отечественного пчеловодства. До сих пор нет твердых рекомендаций по количеству оставляемого меда пчелам на зиму, какая должна быть вентиляция и т.д. Также важно как проводить электрообогрев пчел, в каком режиме. Последнее важно из-за того, что при избыточном обогреве повышается потребление меда и можно спровоцировать пчелиную матку на яйцекладку в холодные дни. Таким образом, нужно продолжать исследования с целью создания оптимальных условий пчелиным семьям в зимний период и не допускать дополнительное потребление корма.

Есть большие различия в зимовке пчелиных семей в зависимости от региона нашей страны. Так, например, отличительной особенностью прохождения такого периода на Северном Кавказе является: поздняя агрегация пчел в клуб, большие колебания температуры окружающего воздуха в осенний и зимний период, раннее появление расплода.

Для анализа физических, процессов протекающих в улье мы приняли в качестве базовой семьи скопление 15000 пчел, расположенных в двенадцати-рамочном улье дадановского типа. Известно, что в зимой пчелы собираются в тело шарообразной формы. Мы приняли, что клуб размещается в центре улья и скопление пчел имеет диаметр 220 мм, что соответствует занятию ими 6 улочек. Основные геометрические параметры и пространственное размещения основных элементов представлены на рисунке 1.

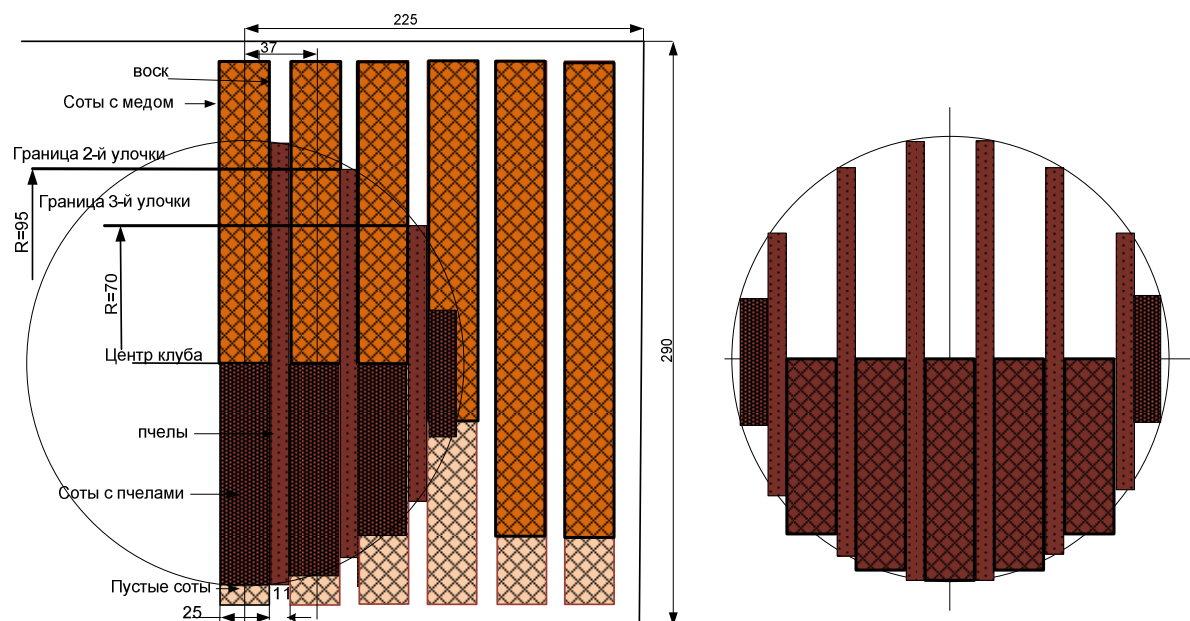


Рисунок 1.- Геометрические параметры основных элементов улья и пчелиного зимнего клуба.

Как известно из литературы, плотность клуба пчел может изменяться практически в два раза. Естественно, что максимальная плотность клуба будет при низких температурах, а минимальная – при высоких. Принимаем максимальную плотность клуба при температуре окружающего воздуха – 30°C, минимальную плотность – при 0°C. Принимаем линейную зависимость плотности пчел от наружной температуры и тогда уравнение будет выглядеть следующим образом:

$$\rho_{пч} = 243 - 8 \cdot T, \text{ кг} / \text{ м}^3$$

Соответственно коэффициент теплопроводности также будет изменяться линейно согласно уравнению:

$$\lambda_{пч} = 0,076 - 0,0017 \cdot T, \text{ Вт} / \text{ м} \cdot \text{ К}$$

Масса 15 тысячи пчел находится на уровне 1,5 кг. Средняя масса одной пчелы 110-120 г. Так как плотность клуба изменятся, то будет изменяться и радиус клуба в зависимости от температуры окружающего воздуха. Объем клуба пропорционален квадрату радиуса (отдельные цилиндры),

следовательно, при максимальной плотности пчел клуба радиус уменьшится до 0,71 от первоначального значения. В соответствии с принятыми геометрическими значениями радиусы отдельных улочек будут описываться уравнениями:

$$R_{1nc} = 1,07 \cdot T + 110, \text{ мм}$$

$$R_{2nc} = 0,93 \cdot T + 95, \text{ мм}$$

$$R_{3nc} = 0,7 \cdot T + 70, \text{ мм}$$

$$R_{4nc} = 0,3 \cdot T + 35, \text{ мм}$$

где  $T$  – температура окружающего улей воздуха.

Для нашего случая при 15000 пчел энергетическая характеристика будет выглядеть:

$$P_{нчу} = -0,3 \cdot T + 4, \text{ Вт}$$

Также энергетику пчел можно связать и с потреблением корма. Известно, что при потреблении меда 0,32 г/ч выделяется мощность 1 Вт. Тогда расход корма данного клуба в зимний период в зависимости от температуры имеет вид, г/ч

$$G_{ку} = -0,1 \cdot T + 1,2$$

Эти уравнения справедливы для диапазона температур от -5 до +10 °С и когда пчелы не заложили расплод.

Так как для дальнейшего анализа потребуется удельная мощность воспроизводимая пчелами, то разделим полученное выражение на объем занимаемый клубом:

$$P_{нчу \text{ уд}} = \frac{P_{нчу}}{V_{кл}} = -60 \cdot T + 800, \text{ Вт} / \text{ м}^3$$

Аппроксимирующее уравнение теряемой тепловой мощности через вентиляцию будет выглядеть, Вт:

$$P_{\text{венту}} = -0,22 \cdot T + 0,8$$

Необходимо определить коэффициент теплоотдачи с верхней части поверхности клуба. Известно уравнение для определения мощности необходимой для вентиляции:

$$P_{\text{вент}} = c_{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot Q_{\text{вент}} \cdot \Delta t$$

С другой стороны также известно уравнение тепловых потерь с поверхности за счет конвекции:

$$P_{\text{пот}} = \alpha \cdot S_{\text{нов}} \cdot \Delta t,$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $S_{\text{нов}}$  – площадь теплоотдающей поверхности, м<sup>2</sup>.

В литературе известны следующие границы изменения коэффициента теплоотдачи:  $6,0 \cdot 10^{-4} \dots 3,0 \cdot 10^{-3}$  Вт/(см<sup>2</sup>·°С).

Приравняем эти мощности для нашего случая, так как пчелы вынуждены отдать эту энергию в окружающее пространство. Тогда получим уравнение для определения коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha \cdot S_{\text{нов}} \cdot \Delta t = c_{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot Q_{\text{вент}} \cdot \Delta t \rightarrow \alpha = \frac{c_{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot Q_{\text{вент}}}{S_{\text{нов}}}.$$

Расход воздуха определяется по формуле:

$$Q_{\text{вент}} = \frac{q_{H_2O_{пч}}}{l_{\text{вых}} - l_{\text{в}}}$$

где  $l_{\text{вых}}$  – абсолютное влагосодержание выходящего воздуха, г/м<sup>3</sup>;  $l_{\text{в}}$  – абсолютное влагосодержание входящего воздуха, г/м<sup>3</sup>,  $q_{H_2O_{пч}}$  – количество

воды, выделившееся в результате окисления корма пчелами,

$$q_{H_2O_{пч}} = 0,68 \cdot G_k, \text{ г/ч.}$$

В среднем разница абсолютных влагосодержаний находится на уровне 2,5 г/м<sup>3</sup>. Тогда формула для определения расхода воздуха принимает вид:

$$Q_{вент} = \frac{0,68 \cdot G_k}{2,5} = 0,27 \cdot G_k, \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Подставим выражение расхода корма для улья в зимний период и получим зависимость расхода воздуха от температуры:

$$Q_{вент} = \frac{0,68 \cdot G_k}{2,5} = 0,27 \cdot (-0,1 \cdot T + 1,2) = -0,027 \cdot T + 0,324$$

После соответствующих подстановок получим формулу связывающую коэффициент теплоотдачи и температуру наружного воздуха:

$$\alpha = \frac{c_{возд} \cdot \rho_{возд} \cdot Q_{вент}}{S_{пов}} = \frac{c_{возд} \cdot \rho_{возд} \cdot (-0,027 \cdot T + 0,324)}{\sum_1^6 S_{ул}}$$

Для нашего примера формула принимает вид:

$$\alpha = \frac{c_{возд} \cdot \rho_{возд} \cdot (-0,027 \cdot T + 0,324)}{\sum_1^6 S_{ул}} = \frac{1007 \cdot 1,29 \cdot (-0,027 \cdot T + 0,324)}{(2 \cdot 3,8 + 2 \cdot 3,3 + 2 \cdot 2,4) \cdot 3,6} =$$

$$= 19 \cdot (-0,027 \cdot T + 0,324) = -0,513 \cdot T + 6,156$$

Используя полученные уравнения можно приступить к моделированию теплового состояния пчел в различный период зимы. Изменяя температуру окружающего воздуха, можно будет обнаружить или недостаток обогрева или наоборот его избыток.

Для более точных расчетов температурного режима улья нужно учесть изменение энергетической характеристики пчел при температурах близких к нулю. Известно, что в осенне-зимний период энергетическая характеристика зимнего клуба пчел близка к параболе [1] (рис.2).

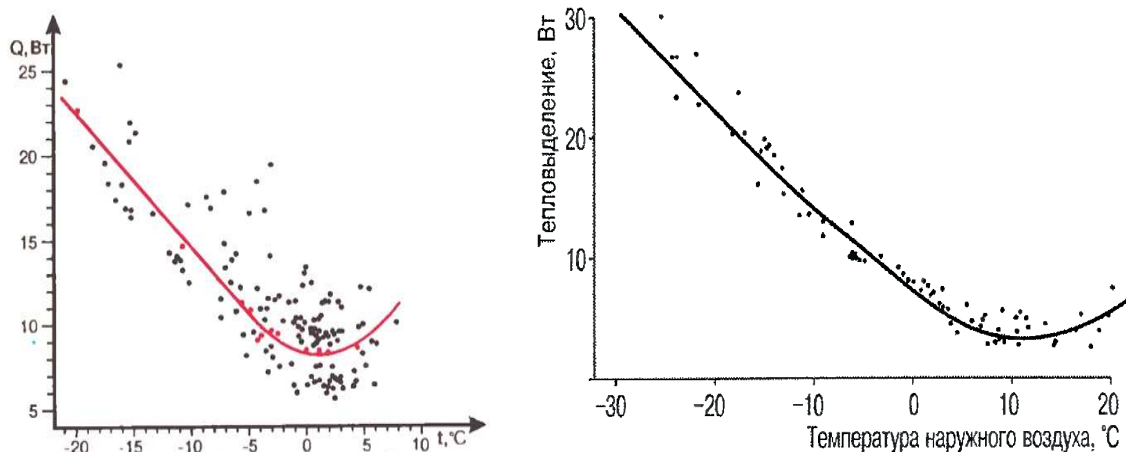


Рисунок 2 – Зависимости тепловыделений пчелиных семей от температуры окружающего воздуха (для 1000 пчел)

Учитывая это, получено уточненное уравнение аппроксимации энергетической характеристики 15000 пчел зимней агрегации, Вт:

$$P_{bee} = 0,016 \cdot T^2 - 0,1 \cdot T + 4,61$$

где  $T$  – температура окружающего улей воздуха.

Тогда расход корма в зимний период  $G_{bee}$  для 15000 пчел, в зависимости от температуры имеет вид, г/ч:

$$G_{bee} = 0,005 \cdot T^2 - 0,032 \cdot T + 1,475$$

Так как для дальнейшего анализа потребуется удельная мощность воспроизводимая пчелами, то разделим полученное выражение на объем занимаемый клубом в данном примере [1]:

$$Q_{bee} = \frac{P_{bee}}{V_{bee}} = \frac{0,016 \cdot T^2 - 0,1 \cdot T + 4,61}{0,005} = 3,2 \cdot T^2 - 20 \cdot T + 922, \text{ Вт} / \text{м}^3$$

где  $V_{bee}$  – объем занимаемый зимним клубом, для данного примера  $0,005 \text{ м}^3$ .

Известно уравнение для определения необходимого расхода воздуха пчелами для удаления образующейся в улье влаги [1]:



$$Q_{air} = \frac{q_{H_2O}}{A_{out} - A_{in}}$$

где  $q_{H_2O}$  – количество воды, выделавшееся в результате окисления корма, г/ч;  $A_{out}, A_{in}$  – абсолютное влагосодержание соответственно выходного и входного воздуха, г/м<sup>3</sup>.

Количество воды, выделавшееся в результате окисления корма, можно определить по формуле [1]:

$$q_{H_2O} = 0,68 \cdot G_{bee}$$

Тогда, учитывая ранее полученные уравнения, выражение для расхода воздуха данного клуба пчел будет иметь вид:

$$Q_{air} = \frac{0,0034 \cdot T^2 - 0,0216 \cdot T + 1}{A_{out} - A_{in}}$$

Относительная влажность выходящего из клуба воздуха практически составляет 100%. По данным литературных источников температура выходного воздуха из скопления пчел равна температуре корки клуба и находится на уровне от 10 °С до 15 °С. Тогда абсолютная влажность выходного воздуха находится на уровне 9,4-12,8 г/м<sup>3</sup>. Естественно меньшее значение будет соответствовать минимальной температуре наружного воздуха (-30 С), большее значение – максимальной температуре (+15°С). Принимаем, что зависимость абсолютной влажности выходного воздуха от наружной температуры имеет линейный вид. Статистика метеоданных по Краснодарскому краю показывает, что средняя относительная влажность воздуха в зимний период составляет 80%. На основании таблиц перевода относительной влажности в абсолютную (с учетом температуры) получено следующее аппроксимирующее уравнение, м<sup>3</sup>/ч:

$$Q_{air} = \frac{0,0034 \cdot T^2 - 0,0216 \cdot T + 1}{A_{out100} - A_{in80}} = \frac{0,0034 \cdot T^2 - 0,0216 \cdot T + 1}{(0,007 \cdot T + 11,5) - (0,0065 \cdot T^2 + 0,3 \cdot T + 4,03)}$$

Следовательно, все основные параметры микроклимата в улье зависят от окружающей температуры. Таким образом, геометрические и теплофизические характеристики зимнего клуба пчел можно представить следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{1bee} = 1,07 \cdot T + 110; R_{2bee} = 0,93 \cdot T + 95; R_{3bee} = 0,7 \cdot T + 70; \\ R_{4bee} = 0,3 \cdot T + 35 \\ \rho_{bee} = 243 - 8 \cdot T; \lambda_{bee} = 0,076 - 0,0017 \cdot T \\ d_{air} = 1,25 + 0,025 \cdot T \\ P_{bee} = 0,016 \cdot T^2 - 0,1 \cdot T + 4,61 \\ Q_{air} = \frac{0,0034 \cdot T^2 - 0,0216 \cdot T + 1}{(0,007 \cdot T + 11,5) - (0,0065 \cdot T^2 + 0,3 \cdot T + 4,03)} \end{array} \right.$$

Как видно из данной группы уравнений все основные параметры микроклимата в улье зависят от окружающей температуры. Основные параметры микроклимата внутри клуба пчелы поддерживают за счет изменения его геометрии, внутренней вентиляции, перемещения пчел из более нагретой части к периферии и назад. Необходимость усиленной вентиляции связано с потребностью удаления влаги, образующейся в результате поедания меда. При этом источником энергии является мед. При понижении температуры окружающего воздуха пчелы вынуждены больше есть меда, что приводит к выделению большего количества влаги и, следовательно, им приходится увеличивать вентиляцию, которая выносит и тепло. В зимний период пчелы находятся в пассивном состоянии, что позволяет им резко сократить энергетические затраты. Полученные уравнения можно использовать для моделирования состояния микроклимата в улье как в специализированных программных продуктах, так отдельно разработанных. Результаты моделирования будут использоваться при программировании микроконтроллеров, используемых в системах электрообогрева.

### Литература

1. Оськин С.В., Овсянников Д.А. Электротехнологические способы и оборудование для повышения производительности труда в медотоварном пчеловодстве северного Кавказа: монография/ С.В.Оськин, Д.А.Овсянников.- Краснодар: Изд-во «Крон», 2015. - 198 с.
2. Еськов Е.К., Тобоев В.А. Сезонная динамика тепловых процессов в межсотовых скоплениях зимующих пчел *Apis mellifera*/ Е.К. Еськов, В.А. Тобоев//Зоол. Журнал.-2011.Т.90, №3.-С.335-341.
3. Еськов Е.К., Тобоев В.А. Математическое моделирование распределения температурных полей в холодовых агрегациях насекомых/ Е.К. Еськов, В.А. Тобоев//Биофизика.-2009.Т.54.Вып.1.- с.114-119.
4. Тобоев В.А., Толстов М.С. Моделирование тепловых процессов в скоплениях зимующих пчел/В.А. Тобоев, М.С. Толстов//Физические процессы в биологических системах. Июнь. -2014.- с.97-102.
5. Оськин С.В. и др. Теплофизическое моделирование пчелиного улья - составная часть безопасной зимовки/С.В. Оськин, Л.В. Потапенко, Е.В. Пустовойтова, Н.Г. Рассолов// Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность; Вып. №29 (1)-Краснодар 2017.-С. 115-121.
6. Оськин С.В., Овсянников Д.А. Внедрение электротехнологий в пчеловодство/ С.В. Оськин, Д.А.Овсянников// Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе : сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. – Ставрополь : СЕКВОЙЯ, 2017. – С.201-206.

### References

1. Os'kin S.V., Ovsjannikov D.A. Jelektrotehnologicheskie sposoby i oborudovanie dlja povyshenija proizvoditel'nosti truda v medotovarnom pchelovodstve severnogo Kavkaza: monografija/ S.V.Os'kin, D.A.Ovsjannikov.- Krasnodar: Izd-vo «Kron», 2015. -198 s.
2. Es'kov E.K., Toboev V.A. Sezonnaja dinamika teplovyh processov v mezhsotovyyh skoplenijah zimujushhh pchel *Apis mellifera*/ E.K. Es'kov, V.A. Toboev//Zool. Zhurnal.- 2011.Т.90, №3.-s. 335-341.
3. Es'kov E.K., Toboev V.A. Matematicheskoe modelirovanie raspredelenija temperaturnyh polej v holodovyh agregacijah nasekomyh/ E.K. Es'kov, V.A. Toboev//Biofizika.- 2009.Т.54. Vyp.1.- s. 114-119.
4. Toboev V.A., Tolstov M.S. Modelirovanie teplovyh processov v skoplenijah zimujushhh pchel/V.A. Toboev, M.S. Tolstov//Fizicheskie processy v biologicheskikh sistemah. Ijun'. -2014.- s. 97-102.
5. Os'kin S.V. i dr. Teplofizicheskoe modelirovanie pchelinoogo ul'ja - sostavnaja chast' bezopasnoj zimovki/S.V. Os'kin, L.V. Potapenko, E.V. Pustovojtova, N.G. Rassolov// Chrezvychajnye situacii: promyshlennaja i jekologicheskaja bezopasnost'; Vyp. №29 (1)-Krasnodar 2017.- s. 115-121.
6. Os'kin S.V., Ovsjannikov D.A. Vnedrenie jelektrotehnologij v pchelovodstvo/ S.V. Os'kin, D.A.Ovsjannikov// Fiziko-tehnicheskie problemy sozdanija novyyh tehnologij v agropromyshlennom komplekse : sbornik nauchnyh statej po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Stavropol' : SEKVOJJa, 2017. – s. 201-206.