

УДК 631.172:636

Л. С. ГЕРАСИМОВИЧ, А. Н. КОСЬКО, А. В. СИНЕНЬКИЙ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОЙ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ПРИМЕРЕ ИНФРАКРАСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПОРΟΣЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ

Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси

В данной статье предлагается модель биотехнической системы и алгоритм управления облучением по поведению поросят-отъемышей с использованием технологий машинного зрения. Эффективная температура внутреннего воздуха является косвенным показателем благоприятности условий содержания животных. В данной статье выдвинута гипотеза: управление микроклиматом в животноводческом помещении должно основываться на прямых показателях благоприятности содержания. Данным показателем целесообразно считать поведение животных. Разработаны структурно функциональные схемы функционирования биотехнической системы животноводческого комплекса в нотации IDEF0. Представлен алгоритм управления облучением поросят-отъемышей по этологическому признаку расположения животных по площади пола. Задача применения технического зрения в системе управления микроклиматом ранее не решалась. Алгоритмы автоматического управления электротехнологическими процессами в сельском хозяйстве в литературе ранее не встречались. Разработанный принцип интеллектуального управления позволяет оптимально обеспечивать комфортные условия содержания животных в режиме реального времени. Результаты исследования могут быть использованы при создании и проектировании современных систем автоматического управления микроклиматом.

Ключевые слова: биотехническая система, математическая модель, этология, инфракрасное облучение, поросята-отъемыши

Введение

Биотехническая система (БТС) – выделенные в единую систему, биологические и технические подсистемы, связанные между собой для выполнения заданной целевой функции [1].

Управляемой БТС животноводческого комплекса (БТС-У) является БТС, включающая целостные организмы, в которую для согласования работы биологической и технической подсистемы введена подсистема управления.

Для описания процесса функционирования БТС-У воспользуемся технологиями IDEF моделирования. Составим контекстную IDEF0 диаграмму функционирования БТС-У.

Контекстная диаграмма функционирования БТС представлена на рис. 1.

Дочерняя декомпозированная IDEF0 диаграмма функционирования БТС-У представлена на рис. 2.

Целевой функцией БТС-У целесообразно считать энергоэффективность производства продукции [2].

Энергоэффективность управляемой БТС можно оценить по поведению биологической подсистемы из следующих соображений:

– поведение сельскохозяйственных животных является механизмом реализации генетически детерминированных физиологических свойств и потенциальных продуктивных возможностей организма в конкретных условиях среды [3];

– поведение сельскохозяйственных животных может являться показателем комфортности содержания животных, в том числе показателем состояния теплового комфорта [4];

– тепловой комфорт животных влияет на энергоэффективность функционирования управляемой БТС, причем оптимальный тепловой

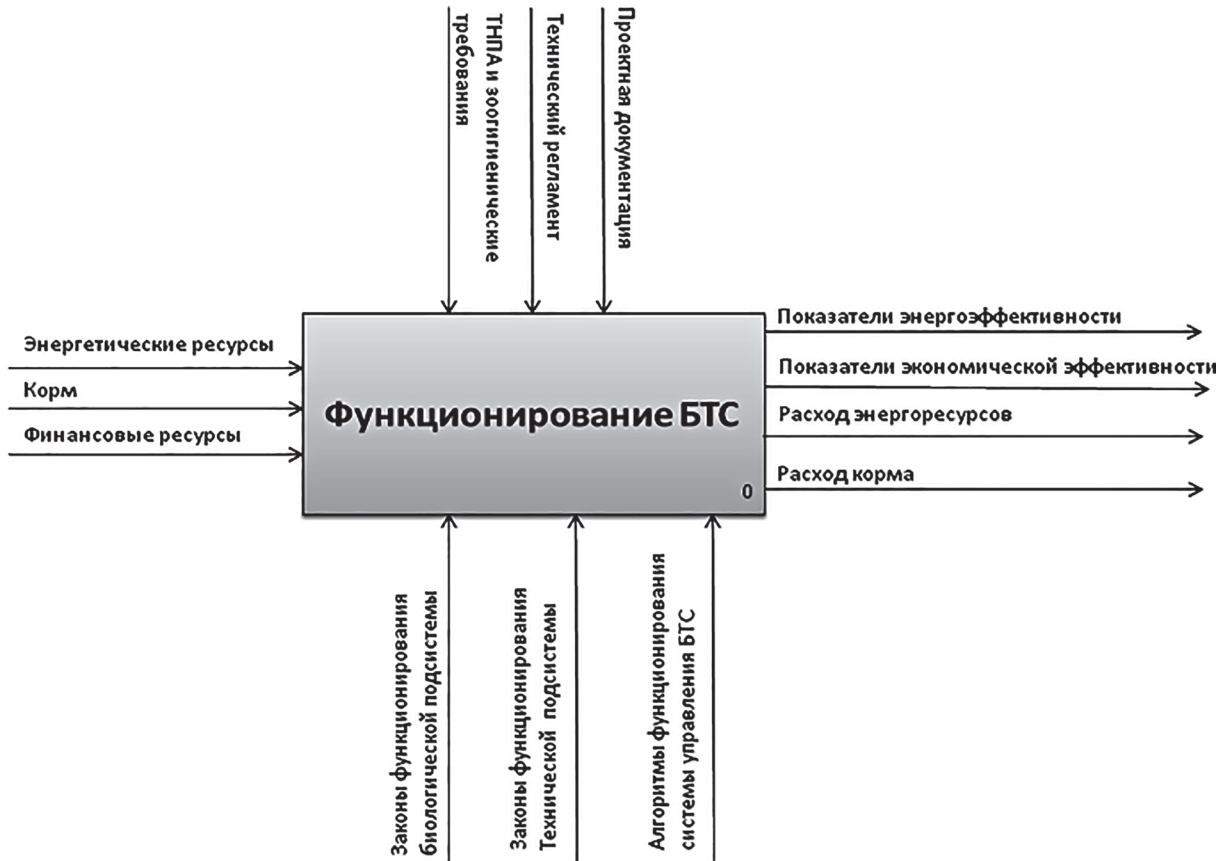


Рис. 1. Контекстная IDEF0 диаграмма функционирования БТС-У

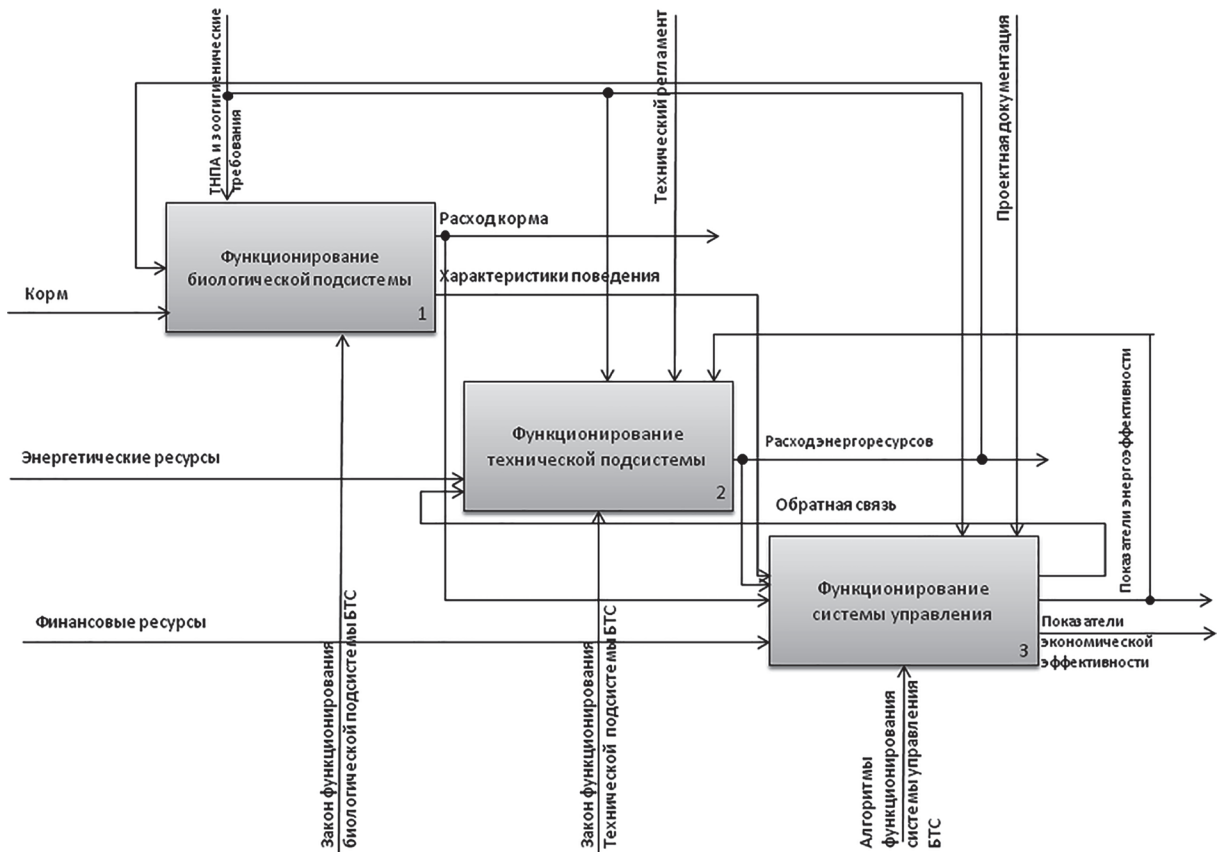


Рис. 2. Декомпозированная (дочерняя) IDEF диаграмма функционирования БТС-У

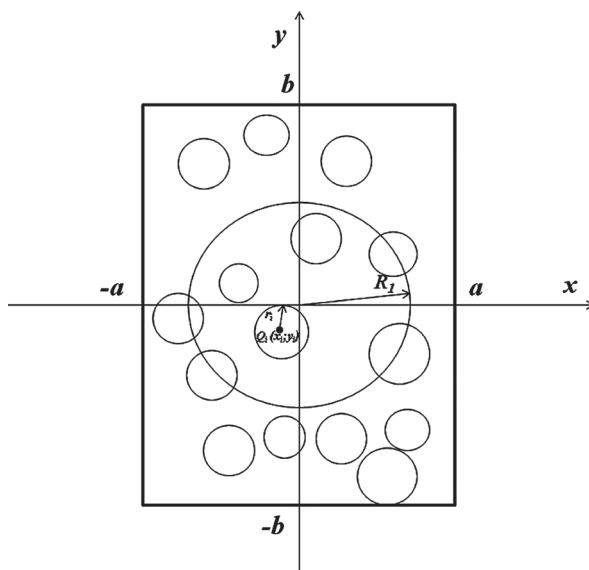


Рис. 3. Схема расположения животных в станке

комфорт является необходимым условием оптимальной энергоэффективности функционирования управляемой БТС [5];

– как следствие поведение может быть рассмотрено как фактор, адекватно характеризующий состояние биологической подсистемы и определяющий функционирование технической подсистемы управляемой БТС.

Согласно существующим классификациям, комфортное поведение сельскохозяйственных животных проявляется в пищевой, адаптивной и двигательной формах поведения [6]. Перечисленные формы поведения проявляются преимущественно в виде двигательной активности.

Двигательная активность является визуально распознаваемым и информативным признаком поведения животных и, следовательно, может быть зафиксирована и классифицирована с точки зрения комфортности условий окружающей среды в автоматическом режиме с использованием средств машинного зрения в виде этограммы.

Существующие технические и программные средства машинного зрения могут быть использованы для создания системы автоматического управления облучением животных по поведению [7–8].

Задача применения технического зрения в системе управления микроклиматом ранее не решалась. Соответствующие алгоритмы управления и программные средства отсутствуют. Отсутствует также теоретическая база управления по поведению. Применение технологий

машинного зрения позволит решить ряд технологических и зоотехнических задач [9]:

– наблюдение условий содержания животных и работы технологического оборудования в реальном времени;

– формирование данных об отклонении поведения животного от нормы и подача сигнала тревоги в реальном времени при отклонении от нормального поведения;

– определение общего состояния стада животных;

– обнаружение больного животного путём селективного осмотра и наблюдения поведенческих реакций и т. д.

Таким образом, существует необходимость разработать методику и алгоритмы энергоэффективного управления БТС по отклику поведения животных.

Основная часть

В данной статье БТС-У моделируется с точки зрения поведения ее биологической подсистемы. Выбранным для моделирования аспектом поведения животных является расположение поросят-отъемышей в станке относительно источника инфракрасного облучения, схематическое изображение которого приведено на рис. 3.

Площади проекций поросят на площадь пола изображены в виде окружностей с радиусами r_i . Минимальное и максимальное значение данного радиуса определяются положением животного в данный момент.

Начало координатной плоскости помещено в центр станка. Геометрические параметры станка имеют вид

$$x \in [-a; a], y \in [-b; b]. \quad (1)$$

Радиус R_1 задает активную зону облучения, то есть зону. Данная зона определяется геометрическими параметрами облучателя и высотой его подвеса. На схеме представлена активная зона облучения от облучателя сферической конструкции. В первом приближении считаем, что активная зона облучения задается одним данным радиусом. В общем случае число данных радиусов определяется из требований точности управления. Число порослят в станке $i = 15$.

Точка $Q_i(x_i; y_i)$, $i = 1 - 15$, есть центр окружности r_i . x_i, y_i – координаты центра. Приведенные параметры задают кривую L_i , уравнение которой имеет вид

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2. \quad (2)$$

Согласно [4, 10], равномерное распределение животных по площади пола является критерием благоприятности условий содержания. Если животные лезут друг на друга – это признак неблагоприятных условий содержания. Следовательно, в случае, если условия содержания благоприятны, x_i, y_i должны подчиняться следующим ограничениям

$$\begin{aligned} |x_i - x_k| &> r_i + r_k, \quad i \neq k, \\ |y_i - y_k| &> r_i + r_k, \quad i \neq k, \\ x_i &\in [-a + r_i; a - r_i], \\ y_i &\in [-b + r_i; b - r_i]. \end{aligned} \quad (3)$$

Согласно приведенной схеме площадь станка разбита на две зоны кривой $K_1 = \{x^2 + y^2 = R_1^2\}$:

$Z_1 = \{x^2 + y^2 > R_1^2\}$ – площадь вне окружности,

$Z_2 = \{x^2 + y^2 < R_1^2\}$ – площадь внутри окружности.

Следовательно, возможно три случая:

L_i не пересекает K_1 и $Q_i \in Z_1$. Данное обстоятельство говорит о том, что вся площадь с центром Q_i принадлежит $S_{\text{нар}}$, где $S_{\text{нар}}$ – суммарная площадь тел проекций животных вне активной зоны облучения.

L_i пересекает K_1 и $Q_i \in Z_2$. Данное обстоятельство говорит о том, что вся площадь с центром Q_i принадлежит $S_{\text{вн}}$, где $S_{\text{вн}}$ – суммарная площадь тел проекций животных в активной зоне облучения.

L_i пересекает K_1 . Данное обстоятельство говорит о том, что часть площади с центром Q_i принадлежит $S_{\text{нар}}$, а часть $S_{\text{вн}}$. Рассмотрим данный случай подробнее.

Какая часть площади окружности принадлежит $S_{\text{нар}}$, а какая $S_{\text{вн}}$, определяется путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R_1^2, \\ (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2. \end{cases} \quad (4)$$

Если система (4) имеет два действительных решения, то кривая L_i пересекает K_1 . Иначе, пересечения нет, и площадь S_i полностью принадлежит либо Z_1 , либо Z_2 .

Благоприятность условий содержания животных определяется из соотношений между величинами $S_{\text{нар}}$ и $S_{\text{вн}}$, то есть суммарной площадью проекций тел животных в активной зоне $S_{\text{вн}}$ облучения и вне её $S_{\text{нар}}$.

$$S_{\text{вн}} - S_{\text{нар}} = kS_{\Sigma}, \quad (5)$$

где $S_{\Sigma} = S_{\text{нар}} + S_{\text{вн}}$.

Коэффициент k может находиться в трех диапазонах:

$$k < k_{\min}^{\text{opt}},$$

$$k_{\max}^{\text{opt}} > k > k_{\min}^{\text{opt}},$$

$$k > k_{\max}^{\text{opt}}.$$

В первом и третьем случае условия содержания неблагоприятны: в первом случае интенсивность облучения необходимо повысить, в третьем – понизить. Во втором случае, если коэффициент находится в допустимом диапазоне, условия содержания благоприятны.

Сопоставим разработанную модель с параметрами комфорта, определяемыми по поведению животных, с классической тепловой моделью благоприятности условий содержания животных.

Комфорт животного в классической тепловой трактовке определяется через соотношение потерь тепла животным через кондукцию, радиацию, конвекцию и эвапорацию [10–13]. Соотношения данных видов потерь для различных комбинаций температур и относительной влажности воздуха известны. Так для относительной влажности $\approx 50\%$ и температуры воздуха $21,1^\circ\text{C}$ в процентном отношении данные потери составляют соответственно 11, 27, 34, 28.

Поскольку в предложенной модели комфорт животных определяется с использованием коэффициента k в трех диапазонах, можно предположить, что k , находящееся в диапазоне комфортности $k_{\max}^{opt} > k > k_{\min}^{opt}$ есть не что иное, как функция четырех названных видов теплопотерь в процентном отношении.

Стоит заметить, что в классическом случае комфортные условия определяются для отдельного животного, в предлагаемом – для группы. Следовательно, при экспериментальном исследовании должна быть учтена поправка в связи с изменением доли радиации в потерях в связи с тем, что лучистый теплообмен также происходит и между животными.

Таким образом, разработана математическая модель БТС-У.

Результаты данного исследования поддерживаются государственными программами Республики Беларусь. Подана заявка на получение патента на изобретение. Результаты исследований внедрены в учебный процесс.

Экспериментальная проверка предполагается на базе НПЦ НАН Беларуси по животноводству,

где уже существует система инфракрасного облучения поросят-отъемышей, оснащенная системой видеонаблюдения.

Заключение

Разработанный принцип интеллектуального управления позволяет оптимально обеспечивать комфортные условия содержания животных в режиме реального времени в связи с тем, что поведенческая функция животного включается обратной связью непосредственно в систему управления. Данный принцип управления основан на анализе прямых, а не косвенных (температура) параметров благоприятности содержания животных.

Данная система позволит более объективно и качественно оценивать благоприятность условий содержания животных и повысить энергоэффективность процесса управления микроклиматом, а также повысить качество работы зоотехнической службы.

Предлагаемый алгоритм управления может быть использован при создании и проектировании современных систем автоматического управления микроклиматом.

Литература

1. **Биотехнические системы.** Теория и проектирование: Учебное пособие / Под ред. В. М. Ахутина. Л.: ЛГУ, 1981. – 220 с.
2. **Башилов А. М.** Система видеонаблюдения поведения животных при стойловом содержании / А. М. Башилов, В. Н. Легеза, В. А. Королев // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем. – Москва, 2012, Ч. 2. – С. 467–475.
3. **Porzig E.** Das Verhalten landwirtschaftlichen Nutztiere. VEB. Deutscher Landwirtschaft Verlag. – Berlin, 1969. – S. 430.
4. **Растимешин, С. А.** Локальный обогрев молодняка животных (теория и технические средства) / С. А. Растимешин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 140с.
5. **Герасимович, Л. С.** Модель интеллектуального управления биотехнической системой ИК-облучения молодняка животных / Л. С. Герасимович, И. П. Шейко, А. Н. Косыко // Зоотехническая наука Беларуси: Сб. науч. трудов / редкол.: И. П. Шейко (пред.) [и др.]. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2016.
6. **Великжанин В. И.** Классификация систем поведения с.-х. животных // Поведение животных в условиях промышленных комплексов. – Колос. -1979. – С. 14–34.
7. **Башилов, А. М.** Проект управления аграрным производством на основе систем видеомониторинга / А. М. Башилов // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 10. – С. 46–48.
8. **Кириенко Ю. И., Башилов А. М.** Выбор и обоснование технологических схем поточных линий и параметров блока дефектации клубней картофеля. // Труды 8-ой Межд. научн.-техн. конф. «Энергооб. и энергосб. в с.-х.»; Вестник ВИЭСХ, 2012. № 3(8).
9. **Башилов, А. М.** Управление аграрным производством на основе электронно-оптических технологий наблюдения, навигации и роботизации / А. М. Башилов // Энергооб. и энергосб. в с.-х.: труды 7-й Межд. научн.-техн. Конф.: в 5-ти частях. – Ч. 5. Нанотехнологии и инфо-коммуникационные технологии. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – С. 107–114.
10. **Этология сельскохозяйственных животных** // Гауптман Я., Чумлиевски Б., Душек. Я. и др.; Изд-во: М.: Колос, 1977 г.
11. **Tembrock G.** Allgemeine Grundloggen des verholten bei Haustieren. Un: Das Verhalten landwirtschaftlichen Nutztiere. Red. Porzig E. VEB. Deutscher Landwirtschaft Verlag. Berlin, 1969.
12. **Effect of microclimate on particulate matter, airborne bacteria, and odorous compounds in swine nursery houses** / Н. Q. Yao, Н. L. Choi 2, J. H. Lee, A. Suresh and K. Zhu, 2009.
13. **Esmay, M. L., and J. E. Dixon.** 1986. Environmental Control for Agricultural Buildings. AVI Publishing Company Inc., Westport, CT.

References

1. **Biotechnical** systems. Theory and Design: A Tutorial / V. M. Ahutin, 1981.
2. **System** of video surveillance of behavior of animals with stall contents / A. M. Bashilov, V. N. Legeza, V. A. Korolev, 2012.
3. **The** behavior of farm animals / Porzig E., Berlin, 1969.
4. **Local** heating of young animals (theory and technology) / Rastimeshin, S. A., 1991.
5. **Model** of intelligent control of biotechnical system of infrared irradiation of young animals / L. S. Gerasimovich, I. P. Shejko, A. N. Kos'ko, 2016.
6. **Classification** of agricultural behavior systems. animals // Behavior of animals in industrial complexes / Velikzhanin V. I., 1979.
7. **Project** of management of agrarian production on the basis of video monitoring systems / Bashilov, A. M., 2010.
8. **Selection** and justification of technological schemes of production lines and parameters of the potato tuber defect block / Kirienko Yu. I., Bashilov A. M., 2012.
9. **Control** of agrarian production on the basis of electron-optical technologies of observation, navigation and robotization / A. M. Bashilov, 2010.
10. **Ethology** of farm animals / Hauptman J., Chumliivski B., Dushek. I., 1977.
11. **General** principles of the pet. The behavior of farm animals / Tembrock G, 1969.
12. **Effect** of microclimate on particulate matter, airborne bacteria, and odorous compounds in swine nursery houses / H. Q. Yao, H. L. Choi 2, J. H. Lee, A. Suresh and K. Zhu, 2009.
13. **Esmay, M. L., and J. E. Dixon.** 1986. Environmental Control for Agricultural Buildings. AVI Publishing Company Inc., Westport, CT.

Поступила
27.06.2017

После доработки
07.09.2017

Принята к печати
10.09.2017

Gerasimovich L. S., Kosko A. N., Sinenkii A. V.

MATHEMATICAL MODEL OF THE BIOTECHNIC SYSTEM CONTROLLED BY THE SYSTEM OF ANIMAL SYSTEM ON THE EXAMPLE OF INFRARED IRRADIATION OF PIG-REMOVAL

This article proposes a model biotechnical system and exposure control algorithm on the behavior of piglets using machine vision technology. The effective temperature of the indoor air is an indirect indicator of the favourable conditions for keeping animals. In this article, a hypothesis has been put forward: the management of the microclimate in the cattle-breeding premises should be based on direct indicators of the favourableness of the content. This indicator is appropriate to consider the behaviour of animals. Structurally functional schemes for the functioning of the biotechnical system of the cattle-breeding complex have been developed in the IDEF0 notation. An algorithm for controlling the irradiation of piglets and weaners based on the ethological character of the location of animals across the floor area is presented. This problem was not solved before. Algorithms for automatic control of electro technological processes in agriculture have not been encountered in the literature before. The developed principle of intelligent control allows optimal provision of comfortable conditions for keeping animals in real time. The results can be used to create and design of modern automatic climate control systems in livestock.

Keywords: biotechnical system, mathematical model, ethology, infrared radiation, piglets



Leonid S. Gerasimovich received the Ph. D. degree from the Department of Electrical Engineering of Belarusian State Agrarian Technical University in 1971. His research interests include electrotechnology in agriculture, renewable energy.

E-mail: leonger@tut.by



Andrei N. Kosko graduated from Electrical Engineering of Belarusian State Agrarian Technical University in 2014. In 2015, he entered the postgraduate course of the Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus. His research interests include electrotechnology in agriculture.

E-mail: kasko.andrej@gmail.com



Alexander V. Sinenkii graduated from Electrical Engineering of Belarusian National Technical University in 2010. Since 2014, he is studying at the post-graduate course of the Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus. His research interests include renewable energy.

E-mail: carboforce@mail.ru

Исследование выполнено при поддержке БРФФИ по теме «Разработать научно-методические основы снижения энергоемкости продукции животноводства на базе управления этологическими признаками» по договору №Т15М-051 от 04.05.2015г.