

УДК 636

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

РЕКУПЕРАТИВНАЯ УСТАНОВКА С СИСТЕМОЙ КОРРЕКТИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕКТОРА ПОТОКА ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

Игнаткин Иван Юрьевич

д.т.н., доцент

SPIN-код: 4391-8002

ID (Scopus): 57222543815

ignatkin@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Архипцев Александр Валерьевич

к.т.н., доцент

SPIN-код: 4480-1641

ID (Scopus): 57360996100

aarchiptsev@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Шевкун Николай Александрович

к.с.-х.н., доцент

SPIN-код: 5852-6284

ID (Scopus): 57222576008

energo-shevkun@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Овсянникова Елена Александровна

старший преподаватель

SPIN-код: 8062-2931

ID (Scopus): 1077344

energo-ovs@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Шевкун Владимир Александрович

к.с.-х.н., доцент

SPIN-код: 3239-1187

vshevkun@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Мельников Олег Михайлович

к.т.н., доцент

SPIN-код: 3684-2856

ID (Scopus): 57209744643

melnikov@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

UDC 636

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

RECUPERATIVE INSTALLATION WITH A SYSTEM FOR CORRECTING THE DIRECTION OF THE SUPPLY AIR FLOW VECTOR

Ignatkin Ivan Yurievich

Dr.Sci.Tech, assistant professor

RSCI SPIN-code: 4391-8002

ID (Scopus): 57222543815

ignatkin@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49

Arkhiptsev Alexander Valerievich

Cand.Tech.Sci., associate professor

RSCI SPIN-code: 4480-1641

ID (Scopus): 57360996100

aarchiptsev@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49

Shevkun Nikolay Aleksandrovich

Cand.Agr.Sci, associate professor

RSCI SPIN-code: 5852-6284

ID (Scopus): 57222576008

energo-shevkun@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49

Ovsyannikova Elena Aleksandrovna

senior lecturer

RSCI SPIN-code: 8062-2931

ID (Scopus): 1077344

energo-ovs@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49

Shevkun Vladimir Aleksandrovich

Cand.Agr.Sci, associate professor

RSCI SPIN-code: 3239-1187

vshevkun@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49

Melnikov Oleg Mikhailovich

Cand.Tech.Sci., associate professor

RSCI SPIN-code: 3684-2856

ID (Scopus): 57209744643

melnikov@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49

ный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

zev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49

Существующие конструкции струйных вентиляций обладают рядом недостатков, которые могут приводить к обмерзанию конденсата в наиболее холодные периоды отопительного сезона и нарушению функционирования системы вентиляции. в целом. В процессе работы системы вентиляции в холодный период возможно снижение дальности зоны истечения струи приточного воздуха вследствие воздействия на струю Архимедовой силы и силы гравитации - плотность холодного приточного воздуха выше плотности воздуха в помещении. Снизить возникающий негативный эффект возможно посредством применения рекуперативных теплообменников, обеспечивающих предварительный подогрев приточного воздуха. С целью увеличения дальности истечения струи приточного воздуха предложено оснастить рекуперативную установку системой корректирования направления вектора потока приточного воздуха. Система корректирования представляет собой насадок в виде блока с параллельными жалюзи. Предложены математические зависимости для определения оптимального угла наклона вектора потока приточного воздуха для обеспечения максимальной дальности истечения приточной струи. Установлено, что оптимальный теоретический диапазон варьирования угла наклона жалюзи составляет $0...34^\circ$

The existing designs of jet vents have a number of disadvantages that can lead to condensation freezing during the coldest periods of the heating season and disruption of the ventilation system as a whole. During the operation of the ventilation system in the cold period, it is possible to reduce the range of the exhaust zone of the supply air jet due to the effect of the Archimedean force and gravity on the jet, the density of the cold supply air is higher than the density of the air in the room. It is possible to reduce the resulting negative effect by using regenerative heat exchangers that provide preheating of the supply air. In order to increase the flow distance of the supply air jet, it is proposed to equip the recuperative installation with a system for correcting the direction of the supply air flow vector. The correction system is a nozzle in the form of a block with parallel blinds. Mathematical dependences are proposed for determining the optimal angle of inclination of the supply air flow vector to ensure the maximum flow distance of the supply jet. It is established that the optimal theoretical range of variation of the angle of inclination of the blinds is $0...34^\circ$

Ключевые слова: ВЕНТИЛЯЦИЯ, МИКРОКЛИМАТ, РЕКУПЕРАЦИЯ ТЕПЛА, КОРРЕКТИРОВКА НАПРАВЛЕНИЯ ВЕКТОРА, УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ

Keywords: VENTILATION, MICROCLIMATE, HEAT RECOVERY, VECTOR DIRECTION CORRECTION, HEAT RECOVERY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-183-001>

Статья опубликована в ходе выполнения внутриуниверситетского гранта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на проведение научно-исследовательских проектов в сфере импортозамещения «Продовольственный суверенитет» рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»

Введение. Микроклимат существенно влияет на реализацию генетического потенциала сельскохозяйственных животных. Изменение параметров микроклимата от рекомендуемых значений снижает продуктивность животных, продолжительность периода жизни, приводит к падежу молодняка [1-3].

<http://ej.kubagro.ru/2022/09/pdf/01.pdf>

В животноводческих комплексах наблюдается высокая плотность содержания животных. И обеспечение необходимого микроклимата предполагает высокие кратности воздухообмена. Применение приточно-вытяжных рекуперативных систем позволяет подогревать приточный воздух за счет теплоты вытяжного без смешивания потоков, что снижает расход теплоты на отопление производственных помещений на 70-90% [4-12], обеспечивая необходимые параметры микроклимата. Однако одновременно с обеспечением необходимой кратности воздухообмена необходимо создавать условия по равномерному распределению воздуха в помещении.

Климатические условия большинства предприятий РФ таковы, что наиболее доступным и рациональным решением является применение струйной вентиляции. В качестве альтернативы выступают диффузионные системы вентиляции с подачей приточного воздуха из чердачного пространства через перфорированный потолок. Такое решение предполагает предварительный подогрев воздуха с использованием чердачных пространств в качестве вентиляционных камер. В противном случае в зоне контакта холодного приточного воздуха с теплым и влажным воздухом помещения наблюдается образование конденсата, а в наиболее холодные промежутки отопительного периода конденсат обмерзает, блокируя пути поступления свежего воздуха.

Применение струйной вентиляции не лишено своих особенностей. Приточные струи в зависимости от температуры могут подниматься (подогретая струя), либо опускаться (охлажденная струя), что обусловлено разностью плотностей приточного воздуха и воздуха помещения. Для приточной вентиляции в отопительный период характерны охлажденные тонущие струи. Применение рекуперативных теплообменников позволяет несколько сгладить этот эффект за счет предварительного подогрева приточного воздуха, однако полностью устранить его без принудительного подогрева не удастся. Приточные струи по мере снижения их скорости тонут

(рис. 1), снижая дальность зоны обслуживания тем самым образуя области застойной и избыточной вентиляции.

Цель исследования. Целью работы является разработка рекуперативной установки с системой корректирования направления вектора потока приточного воздуха.

Результаты и обсуждение. Неизотермические струи подвержены влиянию Архимедовой и гравитационной сил, в частности охлажденные струи склонны тонуть, опускаясь по мере удаления от вентилятора. Опускаясь, струя сталкивается с ограждающими конструкциями технологического оборудования или полом (рис. 1 а), что приводит к быстрому ее угасанию. Однако если на начальном этапе направить струю немного вверх, то она преодолит большее расстояние до столкновения с препятствием (рис. 1 б).

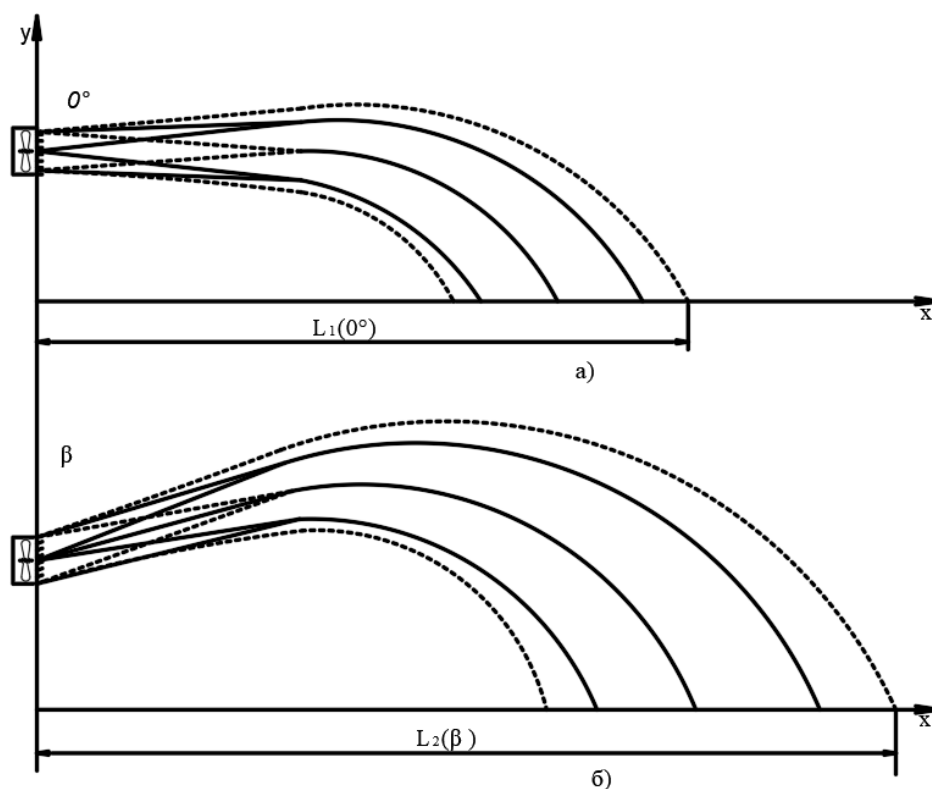


Рисунок 1 – Схема распространения охлажденной струи:

а – горизонтальной; б - скорректированной

Траекторию движения охлажденной струи можно рассчитать с учетом критерия Архимеда, а, зная требуемую дальность распространения (длину зоны обслуживания), внести соответствующую угловую поправку « $\Delta\beta$ » направлению вектора потока приточного воздуха, что в математическом выражении принимает вид:

$$\begin{cases} y_{\min} = H_B - H_{\text{ст}} \\ y_i = f(x, Ar) \\ Ar = f(x, \Delta t, v, m, n), \\ \alpha = \arctg \frac{y}{x} \\ x \prec L_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

где $L_{\max}$ - дальность распространения приточной струи, м; $H_{\text{ст}}$ - высота станка, м; H_B - расстояние от оси выпускного отверстия до пола, м; Ar - критерий Архимеда; x - абсцисса, м; Δt - разность температур, °C; v - скорость струи, м/с; m, n - аэродинамический и тепловой коэффициенты (рис. 2).

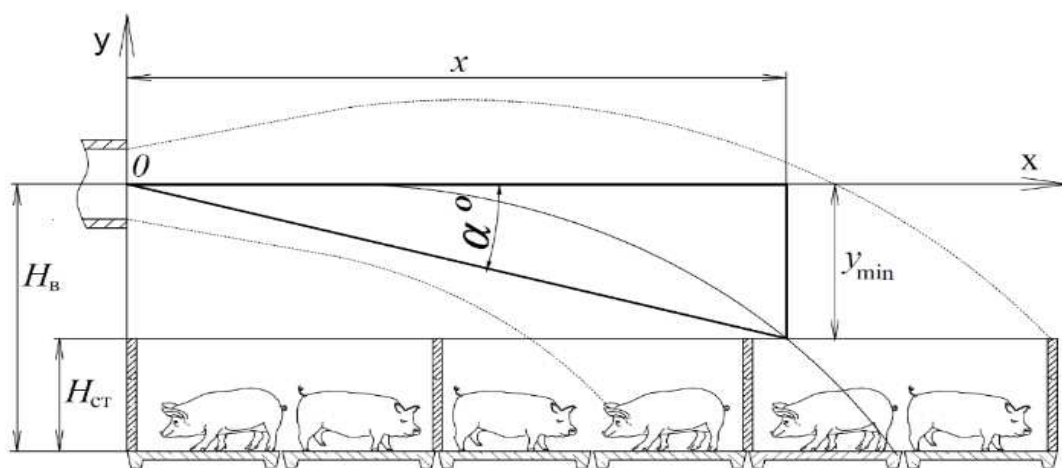


Рисунок 2 - Схема распространения охлажденной струи

Важно отметить, что в процессе работы вентилятора возникает турбулизация подаваемого воздушного потока, это улучшает перемешивание

с воздухом помещения, но снижает дальность истечения. С целью увеличения дальности истечения целесообразно стабилизировать (выровнять) воздушный поток посредством выравнивающих аппаратов, например параллельных жалюзи.

Для решения указанной задачи и достижения заявленного технического результата предлагается применение насадок жалюзийного типа с электроприводом, выравнивающих закрученную вентилятором струю и изменяющих направление вектора скорости потока в зависимости от температуры подаваемого воздуха (рис.2)

Дальность истечения струи приточного воздуха определяется по формуле М.З. Печатникова [13]:

$$L_{\max} = 4,6\sqrt{H_{\min} \cdot B}, \quad (2)$$

где $H_{\min}$ – минимальное расстояние между высотой ограждений (боксов) и потолком, м; B – ширина помещения, обслуживаемая одной струей, м.

Проведенные исследования позволили установить зависимости длины зоны обслуживания рекуперативной установки, от наружной температуры и угла наклона вектора потока, а также теоретический диапазон изменения угла наклона вектора потока.

По данным [14] следует, что теоретический диапазон изменения угла наклона жалюзи составляет $0...34^\circ$. Максимальную дальность истечения воздушной струи установки можно обеспечить путем изменения направления вектора потока на заданный угол. Значение угла наклона определяется эмпирической зависимостью [14]:

$$\alpha = -0,65t_{\text{н}} + 14,9 \quad (3)$$

где t_n – наружная температура воздуха, °C.

Учитывая снижение дальности охлажденных струй и регулирование вектора потока формулу (2) следует дополнить:

$$\begin{cases} L_{\max} = 4,6\sqrt{H_{\min} \cdot B} \\ \alpha = -0,65t_n + 14,9 \end{cases} \quad (4)$$

В результате теплообмена, приточный воздух подогревается, оставаясь при этом охлажденным, по отношению к воздуху помещения и склонен тонуть.

Изменение угла наклона жалюзи осуществляется сервоприводом по сигналу от датчика наружной температуры, обеспечивая максимальную дальность истечения струи в текущих условиях.

Реализация предлагаемых технических решений решается путем дополнения рекуперативной установки системой корректирования направления вектора потока приточного воздуха.

Предлагаемое устройство состоит из полимерного рекуперативного теплообменника с системой воздуховодов, вытяжного вентилятора и приточного вентиляторов. Приточный вентилятор оснащен блоком параллельных жалюзи, угол установки которых регулируется параллелограммным механизмом посредством электропривода. Положение жалюзи изменяется сервоприводом по сигналу от датчика наружной температуры. Конденсат, образующийся в процессе теплообмена, собирается в поддоне и отводится в канализацию (рис. 3).

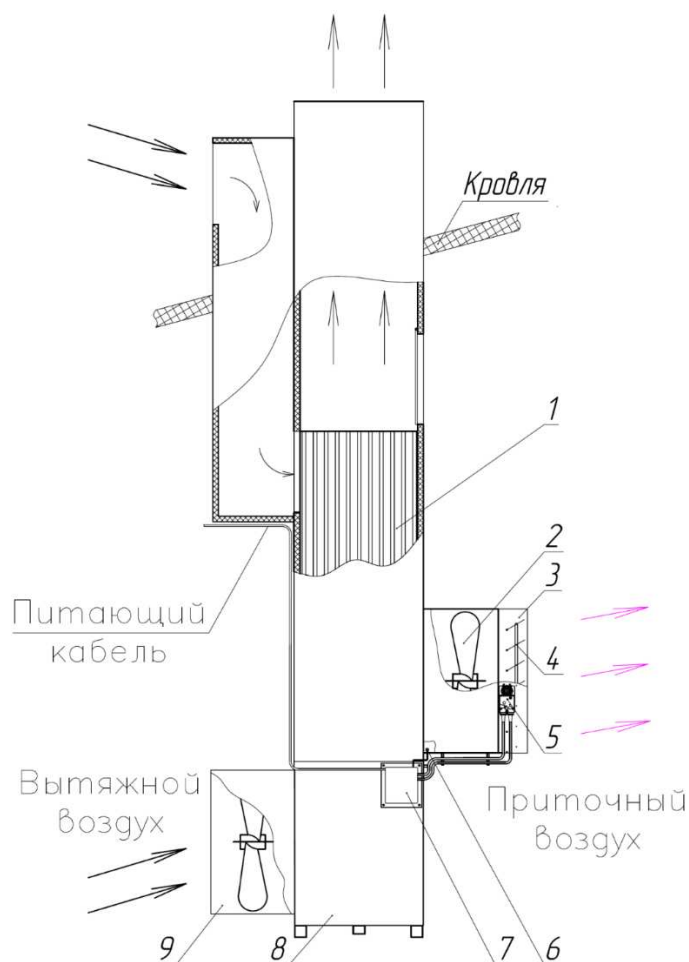


Рисунок 3 - Общий вид рекуперативной установки с системой корректировки направления вектора потока приточного воздуха: 1 - рекуперативный теплообменник, 2 - приточный вентилятор, 3 – блок параллельных жалюзи, 4 – параллелограммный механизм, 5 – электрический привод жалюзи, 6 - датчик наружной температуры, 7 – контроллер, 8 - поддон, 9 – вытяжной вентилятор.

В процессе регулирования положения жалюзи устанавливается связь между температурой наружного воздуха « t », углом наклона жалюзи к горизонту « β » с коэффициентом пропорциональности « X ». Контроллер, получив сигнал от датчика температуры, отдает управляющие сигналы электроприводу жалюзи. При температуре притока равной температуре помещения угол наклона жалюзи равен 0° . В случае снижения температуры

притока контроллер будет подавать сигнал на привод для увеличения угла наклона, максимальное значение которого составляет 34° . Значение оптимальной величины угла наклона жалюзи зависит от температуры приточного воздуха и задается функционально или в виде настроечной таблицы.

Заключение. Полученная математическая модель позволяет определить оптимальный угол наклона вектора потока приточного воздуха, обеспечивающий максимальную дальность истечения приточной струи в зависимости от наружной температуры.

Предложена конструкция рекуперативной установки с системой корректирования направления вектора потока приточного воздуха представляющей собой насадок в виде блока с параллельными жалюзи.

Предлагаемая конструкция жалюзийного насадка обеспечивает выравнивание закрученной струи и изменение направления вектора скорости по сигналу от датчика температуры наружного воздуха с целью увеличения дальности истечения струи приточного воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров А.В., Маркелова Е.К., Тихомиров Д.А. Основные направления по совершенствованию систем и средств энергообеспечения сельхозобъектов / Агротехника и энергообеспечение. –2017. –№ 3 (16).– С. 34-42.
2. Курячий М.Г. Технологические решения, обеспечивающие снижение потерь кормов и повышение сохранности поголовья /Игнаткин И.Ю., Путан А.А., Бондарев А.М., Архипцев А.В. // Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 5 (10). С. 124-128.
3. Тихомиров Д.А. Методика теплоэнергетического расчета энергосберегающей вентиляционно-отопительной установки для животноводческих ферм / Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. –2013. –№ 2 (119). –С. 125-131.
4. Гулевский, В.А. Моделирование теплообмена в пластинчатых теплообменниках / В.А. Гулевский, В.П. Шацкий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. Научный журнал. Воронеж, 2012. - С. 140 – 144.
5. Игнаткин И.Ю. Оптимизация эффективности утилизации теплоты воздуховоздушного рекуператора / Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2018. № 1 (83). С. 34-39.
6. Игнаткин И.Ю. Технологии проектирования и строительства свиноводческих комплексов в различных климатических условиях / Игнаткин И.Ю., Курячий М.Г.,

Бондарев А.М. Путан А.А. // Инновации в сельском хозяйстве, 2015. №4 (14). С. 237-245.

7. Тихомиров Д.А. Вентиляционно-отопительная установка модульного типа / Сельский механизатор. –2012.– № 9. –С. 32-33

8. Ильин И.В. Ресурсосберегающая система отопления и вентиляции / Ильин И.В., Игнаткин И.Ю., Курячий М.Г. // Эффективное животноводство. 2011. № 9. С. 42-44.

9. Расстригин В.Н., Тихомиров А.В., Тихомиров Д.А., Першин А.Ф. Система микроклимата с теплоутилизатором и озонатором воздуха / Техника в сельском хозяйстве.– 2005.– № 4. –С. 7-10.

10. Гулевский В.А. Применение теплообменников (рекуператоров) для нормализации микроклимата животноводческих помещений / В.А. Гулевский, В.П. Шацкий, Н.Г. Спирина// Известия ВУЗов. Строительство - №9. Новосибирск, 2013. С. 64-68.

11. Игнаткин И.Ю., Кирсанов В.В. Универсальная установка обеспечения микроклимата / Вестник НГИЭИ. 2016. № 8 (63). С. 110-116.

12. Игнаткин И.Ю. Анализ эффективности применения рекуператоров теплоты УТ-6000С, УТ-3000 в системе микроклимата секции откорма на 300 голов свиного комплекса "Фирма Мортадель" / Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015. № 1 (17). С. 107-111.

13. Кирсанов В.В. Струйная модель притока вентиляционного воздуха из теплоутилизационной установки / В.В. Кирсанов, И.Ю. Игнаткин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 2(84). – С. 34-39.

14. Игнаткин И.Ю. Методы эффективного построения и функционирования комбинированной системы обеспечения параметров микроклимата в свиноводстве: дисс. д-ра техн. наук. Российский государственный аграрный университет-Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Москва, 2018

References

1. Tihomirov A.V., Markelova E.K., Tihomirov D.A. Osnovnye napravlenija po sovershenstvovaniju sistem i sredstv jenergoobespechenija sel'hozob#ektov / Agrotehnika i jenergoobespechenie. –2017. –№ 3 (16).– S. 34-42.

2. Kurjachij M.G. Tehnologicheskie reshenija, obespechivajushhie snizhenie poter' kormov i povysenie sohrannosti pogolov'ja /Ignatkin I.Ju., Putan A.A., Bondarev A.M., Arhipcev A.V. // Innovacii v sel'skom hozjajstve. 2014. № 5 (10). S. 124-128.

3. Tihomirov D.A. Metodika teplojenergeticheskogo rascheta jenergosberegajushhej ventiljacionno-otopitel'noj ustanovki dlja zhivotnovodcheskih ferm / Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Al'ternativnaja jenergetika i jekologija. –2013. –№ 2 (119). –S. 125-131.

4. Gulevskij, V.A. Modelirovanie teploobmena v plastinchatyh teploobmennikah / V.A. Gulevskij, V.P. Shackij // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Nauchnyj zhurnal. Voronezh, 2012. - S. 140 – 144.

5. Ignatkin I.Ju. Optimizacija jeffektivnosti utilizacii teploty vozduho-vozdushnogo rekuperatora / Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Gorjachkina". 2018. № 1 (83). S. 34-39.

6. Ignatkin I.Ju. Tehnologii proektirovanija i stroitel'stva svinovodcheskih kompleksov v razlichnyh klimaticheskikh uslovijah / Ignatkin I.Ju., Kurjachij M.G., Bondarev A.M. Putan A.A. // Innovacii v sel'skom hozjajstve, 2015. №4 (14). S. 237-245.

7. Tihomirov D.A. Ventiljacionno-otopitel'naja ustanovka modul'nogo tipa / Sel'skij mehanizator. –2012.– № 9. –S. 32-33
8. Il'in I.V. Resursosberegajushhaja sistema otopenija i ventiljacii / Il'in I.V., Ignatkin I.Ju., Kurjachij M.G. // Jefferktivnoe zhivotnovodstvo. 2011. № 9. S. 42-44.
9. Rasstrigin V.N., Tihomirov A.V., Tihomirov D.A., Pershin A.F. Sistema mikroklimata s teploutilizatorom i ozonatorom vozduha / Tehnika v sel'skom hozjajstve.– 2005.– № 4. – S. 7-10.
10. Gulevskij V.A. Primenenie teploobmennikov (rekuperatorov) dlja normalizacii mikrolimata zhivotnovodcheskih pomeshhenij / V.A. Gulevskij, V.P. Shackij, N.G. Spirina// Izvestija VUZov. Stroitel'stvo - №9. Novosibirsk, 2013. S. 64-68.
11. Ignatkin I.Ju., Kirsanov V.V. Universal'naja ustanovka obespechenija mikroklimata / Vestnik NGIJeI. 2016. № 8 (63). S. 110-116.
12. Ignatkin I.Ju. Analiz jefferktivnosti primenenija rekuperatorov teploty UT-6000S, UT-3000 v sisteme mikroklimata sekcii otkorma na 300 golov svinokompleksa "Firma Mortadel'" / Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mehanizacii zhivotnovodstva. 2015. № 1 (17). S. 107-111.
13. Kirsanov V.V. Strujnaja model' pritoka ventiljacionnogo vozduha iz teploutilizacionnoj ustanovki / V.V. Kirsanov, I.Ju. Ignatkin // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'no obrazovanija «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Gorjachkina». – 2018. – № 2(84). – S. 34-39.
14. Ignatkin I.Ju. Metody jefferktivnogo postroenija i funkcionirovanija kombinirovanoj sistemy obespechenija parametrov mikroklimata v svinovodstve: diss. d-ra tehn. nauk. Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet-Moskovskaja sel'skohozjajstvennaja akademija im. K.A. Timirjazeva. Moskva, 2018