

**КИРСАНОВ ВЛАДИМИР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

E-mail: kirvv2014@mail.ru

**ИГНАТКИН ИВАН ЮРЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент<sup>2</sup>

E-mail: ignatkinivan@gmail.com

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана; ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, Москва, 105005, Российская Федерация

## ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

В период с 14.03.2014 г. по 07.07.2014 г. в секторе откорма № 6 на ферме № 7 ООО «Фирмы «Мортадель» проводились испытания системы поддержания микроклимата с рекуперацией теплоты. Система утилизации теплоты включает в себя три рекуператора и систему автоматического поддержания микроклимата. Рассмотрен характер распространения осесимметричных неизотермических закрученных ограниченных струй приточного воздуха при использовании универсальных теплоутилизационных установок. Проведенные испытания позволили построить профили скоростей в продольном и поперечном сечениях. Дополнительно проведена сравнительная оценка особенностей распределения воздуха из аппарата со свободным выходом и оборудованным воздухораспределительной насадкой – дефлектором. Установлено, что исследуемая система микроклимата с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха обеспечивает поддержание заданных параметров микроклимата равномерно по всей площади помещения. Дальнобойности струи приточного воздуха достаточно для обслуживания наиболее удаленных от приточного вентилятора боксов с животными. Отмечается, что дооснащение рекуператора дефлектором снижает скорость движения воздуха в зоне размещения рекуператора и обеспечивает более равномерное распределение воздуха как по вертикали, так и по горизонтали. При этом средняя скорость струи в наиболее удаленном боксе снижается и составляет 0,18 м/с, что на 0,07 м/с меньше, чем у рекуператора без дефлектора.

**Ключевые слова:** вентиляция, закрученные струи, микроклимат, неизотермические струи, отопление, рекуперация теплоты, свиноводство, система микроклимата, струйные течения, утилизация теплоты.

**Введение.** Микроклимат – существенный фактор реализации генетического потенциала животных [1, 2].

Состояние микроклимата на 20...30% влияет на продуктивность животных, на 15...20% – на продолжительность продуктивного периода жизни у маточного поголовья; сказывается на показателях сохранности молодняка (до 60...95%), на затратах корма на производство единицы продукции [3-6].

Согласно многочисленным исследованиям, результат распределения полей концентрации и температуры зависит от струйных течений. Причем важен не столько сам факт наличия струй, сколько их характеристика и результат взаимодействия [7, 8].

**Цель исследований** – изучение параметров струй приточного воздуха на выходе из рекуператора.

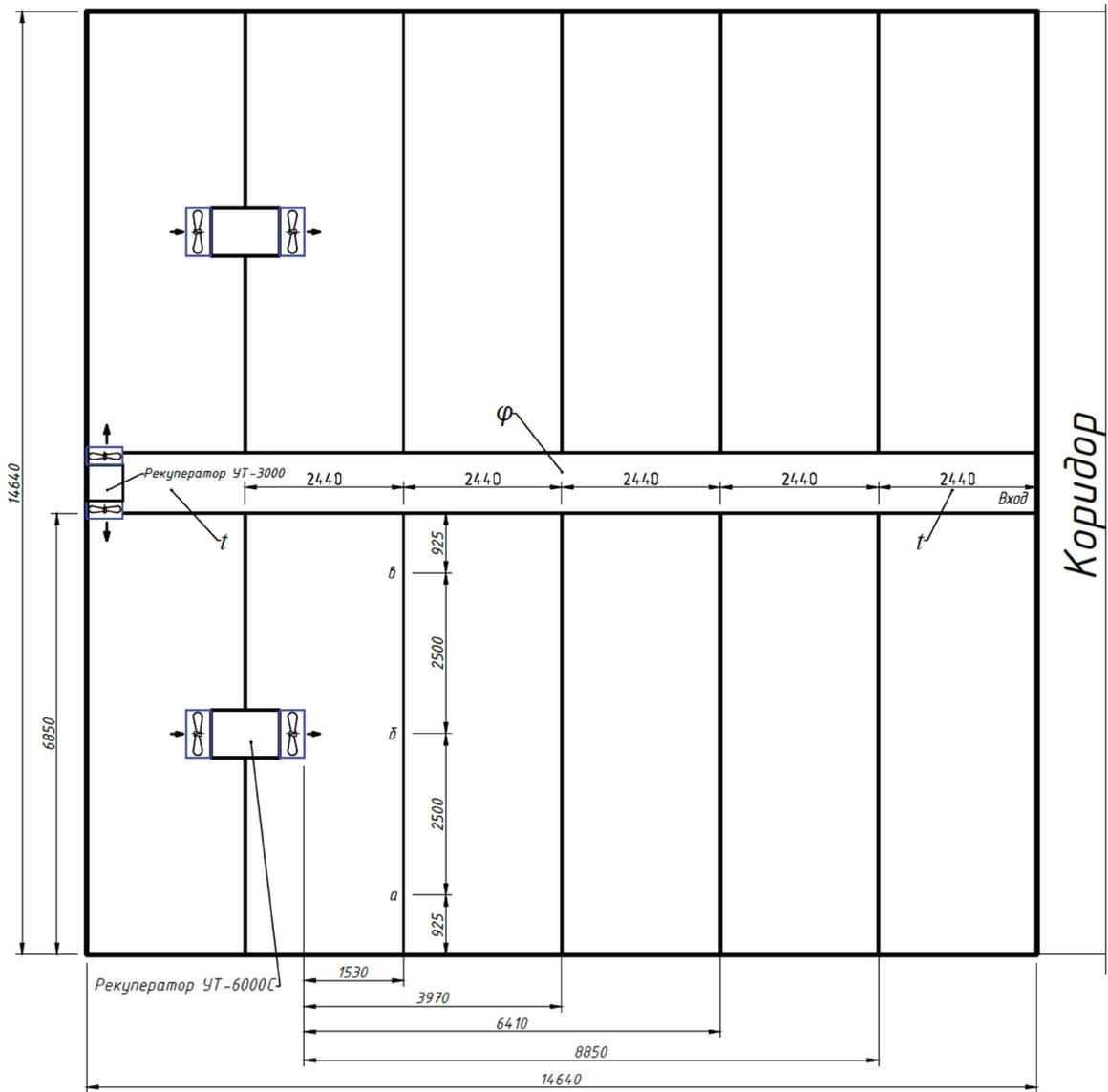
**Материал и методы.** В период с 14.03.2014 г. по 07.07.2014 г. в секторе откорма № 6 на ферме № 7 ООО «Фирмы «Мортадель» проводились испытания

системы поддержания микроклимата с рекуперацией теплоты.

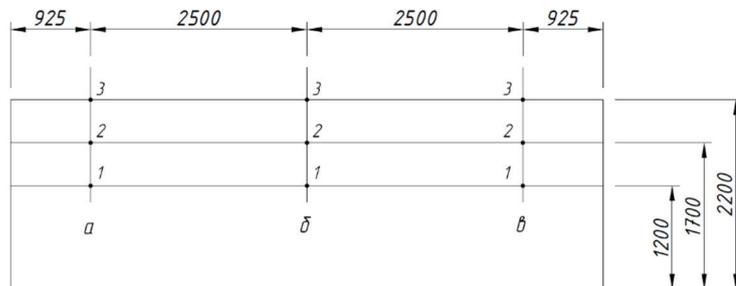
Система утилизации теплоты включает в себя три рекуператора (рис. 1) и систему автоматического поддержания микроклимата. Воздухообмен контролируется по сигналу от датчиков температуры и относительной влажности. Техническая характеристика рекуператоров представлена в таблице [9, 10, 11].

Датчики температуры размещены по краям помещения  $t$ , а относительной влажности – по центру сектора  $\varphi$  (рис. 1). Система летней вентиляции предусматривает возможность применения рекуператоров теплоты в режиме охлаждения.

Оценка параметров приточной струи проводилась в соответствии с СТО АИСТ 31.2-2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Комплекты оборудования для создания микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях. Методы оценки функциональных показателей».



а



б

Рис. 1. План свинарника с указанием точек измерения:  
а – план свинарника; б – схема контрольных точек в поперечном сечении

Техническая характеристика рекуператоров

Наименование	Значение	
	УТ-6000С	УТ-3000
Рабочее обозначение	УТ-6000С	УТ-3000
Производительность по воздуху, м³/ч	6000	3000
Тепловая мощность при (-20°C), кВт	46	23
Установленная электрическая мощность, кВт	1,64	0,82
Тип исполнения	С системой оттаивания	Без системы оттаивания
Примечание	Поддон с уменьшенным осевым габаритом	С двумя приточными вентиляторами

Производительность по воздуху определяется по формуле

$$W = F \cdot \bar{V} \cdot \rho,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения канала, м²;  $\bar{V}$  – средняя скорость потока, м/с;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м³.

Замеры скорости воздуха производились в точках, указанных на схеме рисунка 2 [14]. Среднее

арифметическое значение принимается за среднюю скорость потока и вычисляется по формуле

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n},$$

где  $V_i$  –  $i$ -е измерение скорости воздуха, м/с;  $n$  – количество измерений.

Температуру воздуха измеряли термометрами с погрешностью  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

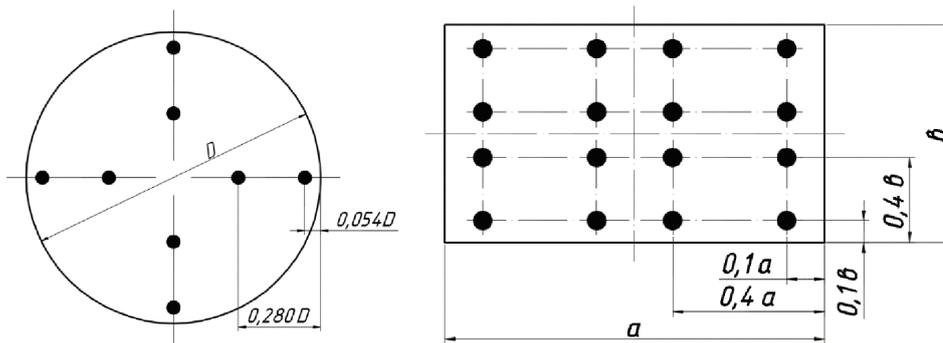


Рис. 2. Координаты точек измерения скорости воздуха в воздуховоде

Плотность воздуха  $\rho$ , кг/м³, рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{ст}}} \left( \frac{273 + t_{\text{ст}}}{273 + t_{\text{воз}}} \right) \rho_{\text{ст}},$$

где  $P_{\text{атм}}$  – фактическое давление воздуха, кПа;  $P_{\text{ст}}$  – стандартное давление воздуха (101,3 кПа);  $t_{\text{воз}}$  – температура измеряемого воздушного потока, °C;  $t_{\text{ст}}$  – стандартная температура воздуха (20°C);  $\rho_{\text{ст}}$  – стандартная плотность воздуха (1,2 кг/м³).

**Результаты и обсуждение.** Характер распределения воздушного потока оценивали вдоль основного направления потока. В поперечном сечении скорость воздуха контролировали в девяти точках, по три оси в вертикальном (а, б, в) и горизонтальном направлениях (1, 2, 3) (рис. 1). Замеры производились в четырех сечениях, обозначенных римскими цифрами I-IV (рис. 3).

Характер истечения струи воздуха из рекуператора оценивали в двух комплектациях приточного вентилятора: с дефлектором и без него. Цель использования дефлектора – снижение скорости воздуха в ближайших к рекуператору боксах. В качестве дефлектора использовали пластины, направленные вверх под углом 45°, как показано на рисунке 3. План точек измерения приведен на рисунке 1.

Распределение скорости воздуха по вертикали приведено на рисунке 4.

Применение дефлектора позволило снизить среднюю скорость воздуха в ближайшем к рекуператору боксе, при этом пик скорости на высоте 1,2 м сместился на расстояние 3970 мм от вентилятора и составил 0,52 м/с. Несмотря на сравнительно высокую скорость, струя стабилизировалась и в зоне обитания животных скорость движения воздуха не превышала допустимых значений.

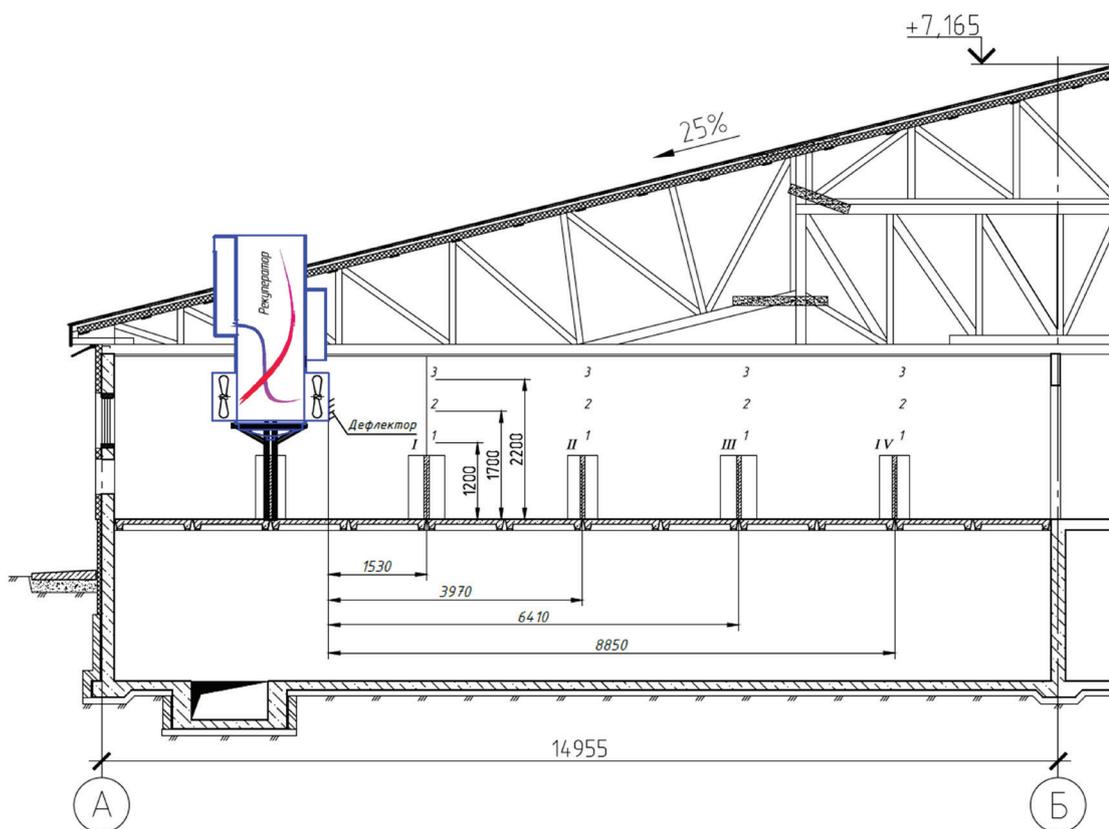


Рис. 3. Разрез свиарника с указанием точек измерения

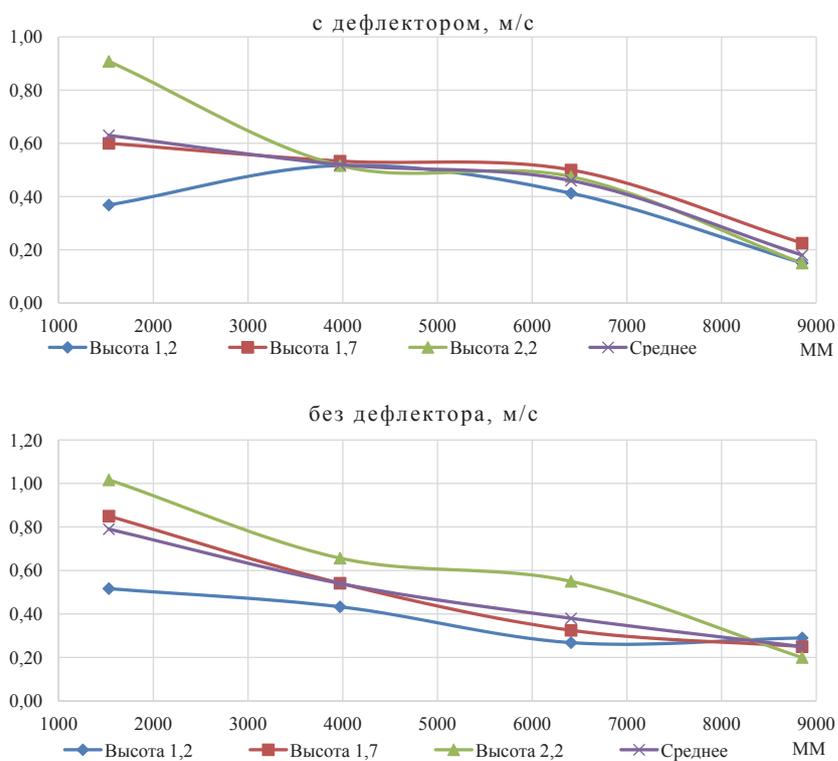
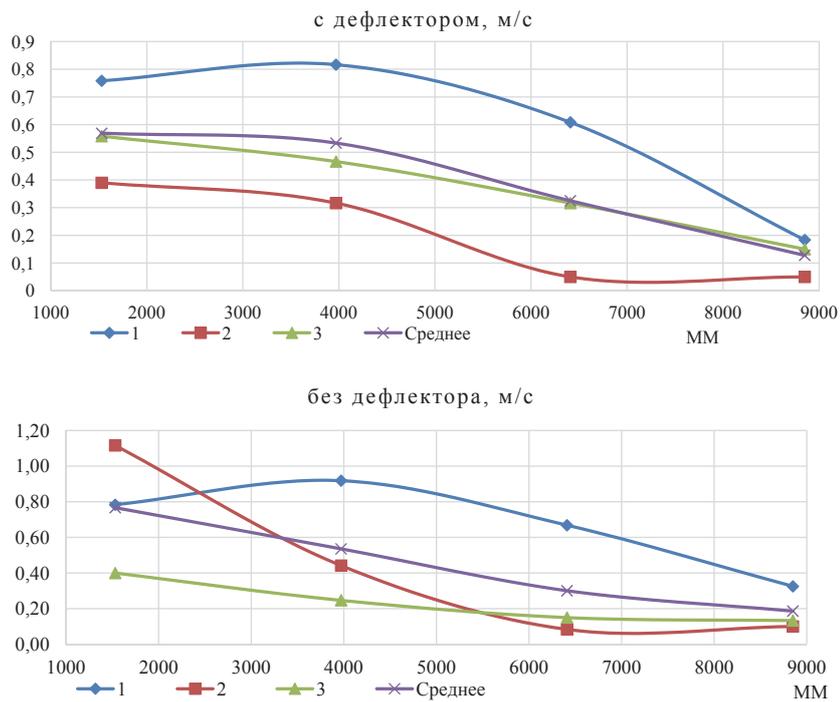


Рис. 4. Изменение средней скорости струн при удалении от вентилятора по вертикали

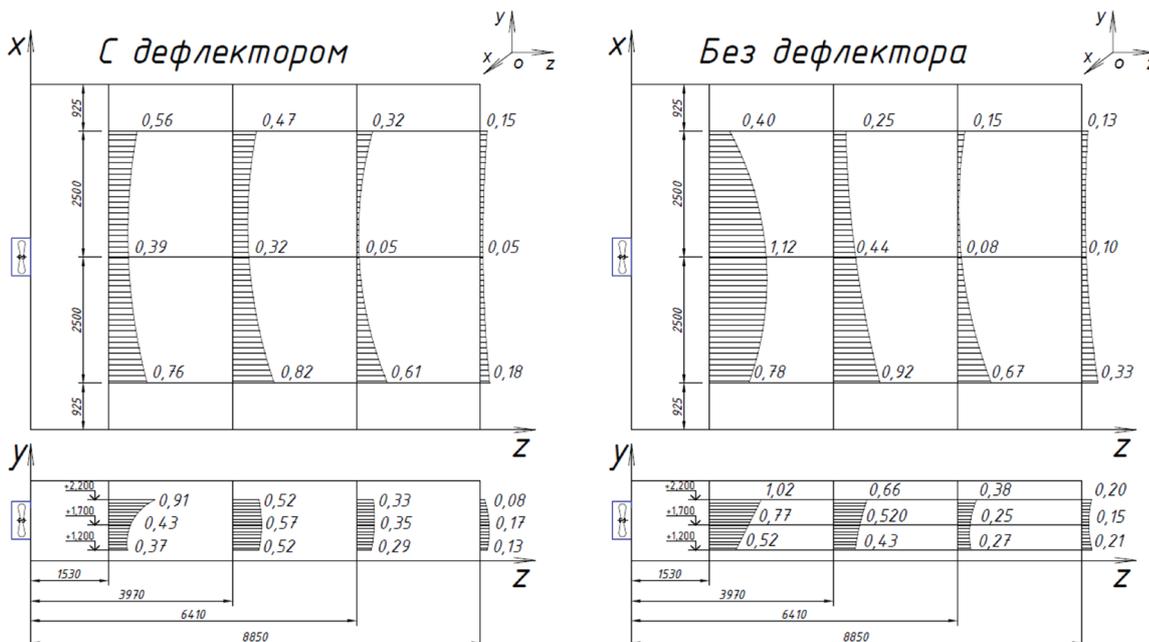


**Рис. 5. Изменение средней скорости струи при удалении от вентилятора по горизонтали**

Применение дефлектора снижает дальнобойность струи. Так, средняя скорость струи на расстоянии 9 м от рекуператора составляет 0,19 м/с, а с дефлектором – 0,13 м/с. В то же время с дефлектором распределение воздуха более равномерно, без дефлектора отмечается ярко выраженный эффект «прилипания» струи к стене, что положительно сказывается

на дальнобойности аппарата, но увеличивает скорость движения воздуха в зоне обитания животных.

Для оценки характера распределения скоростей в поперечном сечении относительно основного направления движения струи построены эпюры скоростей в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 6).



**Рис. 6. Эпюра распределения скоростей**

### Выводы

1. Установленная система микроклимата с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха обеспечивает поддержание заданных параметров микроклимата равномерно по всей площади помещения.

2. Дальнобойности струи приточного воздуха достаточно для обслуживания наиболее удаленных от приточного вентилятора боксов с животными.

3. Дооснащение рекуператора дефлектором снижает скорость движения воздуха в зоне размещения рекуператора и обеспечивает более равномерное распределение воздуха как по вертикали, так и по горизонтали; при этом средняя скорость струи в наиболее удаленном боксе снижается и составляет 0,18 м/с, что на 0,07 м/с меньше, чем у рекуператора без дефлектора.

### Библиографический список

1. Механизация и технология животноводства / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич, В.В. Шевцов, Р.Ф. Филонов: Учеб. М., 2013. 585 с.

2. Ильин И.В., Игнаткин И.Ю. Теплоутилизационная установка: Патент на изобретение RU 2627199 08.07.16.

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

4. Игнаткин И.Ю. Теплоутилизационная установка с адаптивной рециркуляцией // Вестник НГИ-ЭИ. 2016. № 10 (65). С. 102-110.

5. Гулевский В.А., Шацкий В.П. Моделирование теплообмена в пластинчатых теплообменниках // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 140-143.

6. Игнаткин И.Ю., Казанцев С.П. Рекуператор теплоты для свиноводческого комплекса // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2013. № 4. С. 17-18.

7. Иванов О.П., Мамченко В.О. Аэродинамика и вентиляторы: Учеб. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. 280 с.

8. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. 337 с.

9. Гулевский В.А., Шацкий В.П., Чесноков А.С. Совместное моделирование тепло-массообменных и аэродинамических процессов в водоиспарительных охладителях // Научный вестник ВГАСУ. 2010. № 3 (19). С. 40-45.

10. Игнаткин И.Ю., Бондарев А.М., Курячий М.Г., Путан А.А., Архипцев А.В. Опыт внедрения системы рекуперации тепла вентиляционного воздуха в систему поддержания микроклимата в свиноматочнике ООО «Фирма «Мортадель» // Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 4 (9). С. 256-261.

11. Игнаткин И.Ю. Оценка эффективности рекуперации теплоты в свиноматочнике-откормочнике ООО «Фирма Мортадель» // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2016. № 1 (71). С. 14-20.

Статья поступила 21.09.2017

## ESTIMATING THE DISTRIBUTION PATTERN OF THE SUPPLY AIR IN JET FLOW CONDITIONS

**VLADIMIR V. KIRSANOV, DSc (Eng), Professor<sup>1</sup>**

E-mail: kirvv2014@mail.ru

**IVAN Yu. IGNATKIN, PhD (Eng), Associate Professor<sup>2</sup>**

E-mail: ignatkinivan@gmail.com

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow Bauman State Technical University; 2-ya Baumanskaya Str., 5, bld. 1, Moscow, 105005, Russian Federation

The paper reports on the tests of microclimate control with heat recovery conducted in the period from 14.03.2014 to 07.07.2014 in Fattening sector No. 6 on Farm enterprise No. 7 of LLC "Firma Mortadel". The heat recovery system includes three recuperative heat exchangers and an automatic microclimate control system. The distribution pattern of axisymmetric non-isothermal swirling limited jets of fresh air is considered when using universal heat recovery facilities. The performed tests made it possible to construct velocity patterns in the longitudinal and cross sections. In addition, the authors have carried out a comparative assessment of air distribution from the device with a free outlet and equipped with an air distributor nozzle, i.e. a deflector. It has been established that the considered microclimate system with heat recovery of exhaust air ensures that the specified microclimate parameters

are maintained uniformly throughout the entire room area. The supply air jet distances are sufficient for servicing the boxes with animals that are located far from the supply fan. It has been noted that equipping the recuperative heat exchanger with a deflector reduces the air flow speed in the heat exchange area and provides a more even air distribution, both vertically and horizontally. At the same time, the average speed of the jet in the outermost box decreases and accounts for 0.18 m/s, which is 0.07 m/s less than that of the recuperative heat exchanger without a deflector.

**Key words:** ventilation, swirling jets, microclimate, non-isothermal jets, heating, heat recovery, hog breeding, microclimate control system, jet streams, heat utilization.

### References

1. Kirsanov V.V., Murusidze D.N., Nekrashevich V.F., Shevtsov V.V., Filonov R.F. Mekhanizatsiya i tekhnologiya zhivotnovodstva [Mechanization and technology of livestock breeding]: Study manual. Moscow, 2013. 585 p. (In Rus.)
2. Il'in I.V., Ignatkin I.Yu. Teploutilizatsionnaya ustanovka [Heat recovery unit]: Patent for invention RUS 2627199 08.07.16. (In Rus.)
3. Gulevskiy V.A., Shatskiy V.P., Spirina N.G. Primeeniye teploobmennikov (rekuperatorov) dlya normalizatsii mikroklimate zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy [Application of heat exchangers (recuperators) for microclimate normalization in cattle-breeding premises]. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo*. 2013. No. 9. Pp. 64-68. (In Rus.)
4. Ignatkin I.Yu. Teploutilizatsionnaya ustanovka s adaptivnoy retsirkulyatsiyey [Heat recovery unit with adaptive recirculation]. *Vestnik NGIEI*. 2016. No. 10 (65). Pp. 102-110. (In Rus.)
5. Gulevskiy V.A., Shatskiy V.P. Modelirovaniye teploobmena v plastinchatykh teploobmennikakh [Modeling of heat exchange in plate heat exchangers]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012. No. 2. Pp. 140-143. (In Rus.)
6. Ignatkin I. Yu., Kazantsev S.P. Rekuperator teploty dlya svinovodcheskogo kompleksa [Heat recuperator for the hog breeding facilities]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2013. No. 4. Pp. 17-18. (In Rus.)
7. Ivanov O.P., Mamchenko V.O. Aerodinamika i ventilyatory [Aerodynamics and fans]: Study manual. Leningrad, Mashinostroyeniye, Leningr. otd-niye, 1986. 280 p. (In Rus.)
8. Grititlin M.I. Raspredeleniye vozdukh v pomeshcheniyakh [Indoor air distribution]. Sankt-Peterburg, AVOK Severo-Zapad, 2004. 337 p. (In Rus.)
9. Gulevskiy V.A., Shatskiy V.P., Chesnokov A.S. Sovmestnoye modelirovaniye teplo-massoperenosnykh i aerodinamicheskikh protsessov v vodoisparitel'nykh okhladitelyakh [Joint modeling of heat-mass transfer and aerodynamic processes in water evaporators]. *Nauchnyy vestnik VGASU*. 2010. No. 3 (19). Pp. 40-45. (In Rus.)
10. Ignatkin I. Yu., Bondarev A.M., Kuryachiy M.G., Putan A.A., Arkhiptsev A.V. Opyt vnedreniya sistemy rekuperatsii tepla ventilyatsionnogo vozdukh v sistemu podderzhaniya mikroklimate v svinarnike OOO "Firma "Mortadel"" [Experience of introducing the system of heat recovery of ventilation air into the microclimate control system in the pigsty of LLC "Firma Mortadel"]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2014. No. 4 (9). Pp. 256-261. (In Rus.)
11. Ignatkin I.Yu. Otsenka effektivnosti rekuperatsii teploty v svinarnike-otkormochnike OOO "Firma Mortadel"" [Evaluation of heat recovery efficiency on the pig-breeding farm of LLC "Firma Mortadel"]. *Vestnik FGOU VPO "MGAU imeni V.P. Goryachkina"*. 2016. No. 1 (71). Pp. 14-20. (In Rus.)

*The paper was received on January 12, 2018*