

УДК 628.88: 544.773.432

UDC 628.88: 544.773.432

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

ТЕРМОДИНАМИКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ ПЛАСТИНАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В РЕКУПЕРАТОРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ АБСОРБИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА

THERMODYNAMICS OF ICING OF PLATE HEAT EXCHANGERS IN HEAT EXCHANGERS USING AN ABSORBENT ELEMENT

Корнев Андрей Сергеевич

к.т.н., доцент

РИНЦ SPIN-код: 3969-1468

E-mail: kornev.andr@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Kornev Andrey Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN code: 3969-1468

E-mail: kornev.andr@mail.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

Черномазов Семен Алексеевич

Аспирант

РИНЦ SPIN-код: 3319-5744

E-mail: semencernomazov@gmail.com

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Chernomazov Semyon Alekseevich

Graduate student

RSCI SPIN code: 3319-5744

E-mail: semencernomazov@gmail.com

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

Поддержание оптимального микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях является ключевым фактором повышения продуктивности и снижения заболеваемости животных. В холодный период года это затрудняется из-за возрастающих тепловых потерь через вентиляцию, что особенно критично для курятников и свиноводческих комплексов, к которым предъявляются повышенные требования к воздухообмену и температурным показателям. Одним из эффективных способов снижения тепловых потерь является применение рекуперационных установок, однако их работа в холодный период сопровождается обледенением теплообменников, что приводит к перекрытию вентиляции. С применением методов моделирования, уравнений баланса масс, решения задачи Стефана и уравнения Навье-Стокса произведен расчет процесса обледенения теплообменника в пластинчатом рекуператоре, оснащенный абсорбирующим элементом. Проведена оценка возникновения перепада давления вследствие перекрытия воздушного канала между пластинами теплообменника. Введен коэффициент эффективности сорбции влаги из воздуха абсорбирующим элементом, описывающий долю оставшейся влаги в вытяжном воздухе после контакта с абсорбирующим элементом в рекуперационной установке. На основе приведенных уравнений получено дифференциальное уравнение нестационарного роста слоя инея в канале пластинчатого теплообменника с переменным коэффициентом

Maintaining an optimal microclimate in livestock and poultry facilities is a key factor in increasing productivity and reducing animal morbidity. In the cold season, this is difficult due to increasing heat losses through ventilation, which is especially critical for chicken coops and pig breeding complexes, which have increased demands on air exchange and temperature parameters. One of the most effective ways to reduce heat losses is the use of heat recovery units, but their operation during the cold season is accompanied by icing of the heat exchangers, which leads to a blockage of ventilation. Using modeling methods, mass balance equations, the solution of the Stefan problem and the Navier-Stokes equation, the icing process of a heat exchanger in a plate heat exchanger equipped with an absorbent element was calculated. An assessment of the occurrence of a pressure drop due to the overlap of the air channel between the plates of the heat exchanger has been carried out. The efficiency coefficient of moisture sorption from the air by the absorbent element is introduced, describing the proportion of remaining moisture in the exhaust air after contact with the absorbent element in the recovery unit. Based on the above equations, a differential equation for the unsteady growth of the frost layer in the channel of a plate heat exchanger with a variable sorption efficiency coefficient depending on the saturation time of the absorbent is obtained. A channel with a height of 5 mm with a constant exhaust air temperature of +22°C and a relative humidity of 40% was adopted as the object of the study, while the temperature of the heat exchange walls is -5 °C, which corresponds to

эффективности сорбции, зависящим от времени насыщения абсорбента. В качестве объекта исследования принят канал высотой 5 мм с постоянной температурой вытяжного воздуха +22°C и относительной влажностью 40%, при этом температура теплообменных стенок составляет – 5°C, что соответствует условиям эксплуатации рекуператоров в холодный период года. Анализ полученных данных показывает, что применение абсорбирующих элементов позволяет поддерживать перепад давления в рекуперационной установке на уровне, не превышающем 0,09 кПа. Полученные результаты подтверждают эффективность применения абсорбирующих элементов в качестве метода защиты от образования конденсата и его кристаллизации в вентиляционных системах агропромышленного комплекса

Ключевые слова: РЕКУПЕРАЦИЯ, ОБЛЕДЕНЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, АБСОРБИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ, КОНДЕНСАТ, ПЛАСТИНЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ, ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ, МИКРОКЛИМАТ

the operating conditions of the recuperators during the cold season. Analysis of the data obtained shows that the use of absorbent elements makes it possible to maintain the pressure drop in the recovery unit at a level not exceeding 0.09 kPa. The results obtained confirm the effectiveness of the use of absorbent elements as a method of protection against condensation and its crystallization in ventilation systems of the agro-industrial complex

Keywords: RECOVERY, ICING, VENTILATION, ABSORBENT ELEMENT, CONDENSATE, PLATE HEAT EXCHANGERS, PRESSURE DROP, MICROCLIMATE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-219-034>

Введение. Для обеспечения высоких показателей животноводческой отрасли и тепличных хозяйств необходимо уделять достаточное внимание микроклиматическим параметрам, а именно обеспечению их оптимальных значений. В холодный период года, поддержание регламентированных параметров микроклимата затрудняется из-за возрастающих тепловых потерь через систему вентиляции, что особенно важно для животноводческих помещений, в частности курятников и свиноводческих комплексов, к которым предъявляются особо строгие требования к воздухообмену и температурным показателям [1]. С этой целью, в вентиляционные системы устанавливаются рекуперационные установки, которые в большинстве своем оснащены пластинчатыми теплообменниками. Пластинчатые теплообменники представляют собой множество каналов разделенных тончайшими пластинами, которые и выполняют функцию теплообмена. Теплообмен происходит за счет

движения воздуха или жидкостей различных температур по разделенным каналам.

Негативным аспектом работы воздушного теплообменника является выпадение конденсата на теплой стороне теплообменной пластины и его кристаллизация при работе теплообменника в условиях отрицательных температур. Скопившийся конденсат в вентиляционной системе повышает вероятность распространения вирусных и грибковых колоний в вентилируемом животноводческом помещении. Дальнейшая кристаллизация конденсата, сопровождающаяся его расширением при замерзании, снижает пропускную способность пластинчатого теплообменника, а также вызывает деформацию и образование щелей нарушающих изоляцию приточных и вытяжных воздушных каналов в теплообменнике. Ввиду чего, при монтаже рекуперационной установки, оснащенной пластинчатым теплообменником, в климатической зоне, где возможны низкие температуры, необходимо предусмотреть защиту от выпадения конденсата и его замерзания. По механизму работы подобные системы защиты подразделяются на активные и пассивные. К активным, то есть работающим при достижении определенных условий, относят системы оттаивания, тогда как к пассивным можно отнести применение абсорбирующих элементов, работающих постоянно.

Целью настоящей работы является моделирование процесса образования слоя наледи на пластинах пластинчатого рекуператора с использованием в качестве защиты от образования конденсата и наледи абсорбирующих элементов.

Задачи исследования:

– выполнить моделирование процесса образования слоя наледи, на пластинах пластинчатого рекуператора оснащенного абсорбирующими элементами;

– сравнить полученные данные с данными моделируемой рекуперационной системы, не оснащенной устройствами защиты от обледенения;

– оценить эффективность применения абсорбирующих элементов и их влияние на появление слоя инея и перепада давления в вентиляционной системе.

Методика исследования. В качестве объекта исследования, рассмотрим вытяжной канал пластинчатого теплообменника установленного в рекуперационной установке, оборудованной абсорбирующими элементами. Расстояние между теплообменными пластинами теплообменника примем 5 мм, что является стандартным расстоянием в воздушных теплообменниках. Через рассматриваемый канал поступает вытяжной воздух, имеющий постоянную температуру $+22^{\circ}\text{C}$ и влажность 40%, при этом температура верхней и нижней стенок пластин равна -5°C , в таких условиях точка росы находится на отметке $+8^{\circ}\text{C}$. Подобная разница температур воздушных потоков влечет за собой образование конденсата и наледи в теплообменнике. Применяемые абсорбирующие элементы имеют сухую массу 1кг, а также массогабаритные размеры 25х25х4 см. В качестве абсорбирующего вещества применялся полиакрилат натрия [2].

Так как рассматриваемая установка оборудована абсорбирующими элементами, расположенными в камерах подвода приточного и вытяжного воздуха к пластинам теплообменника, для расчета количества образующегося конденсата необходимо выявить зависимость изменения влажности вытяжного воздуха после абсорбирующего элемента. Для этого необходимо учесть массовый расход воды в воздухе, который рассчитывается из скорости потока, площади сечения, плотности воздуха, а также влагосодержания воздуха, по формуле [3]:

$$G = S \times v \times \rho_{\text{возд}} \times d_1$$

(1)

где

G - массовый расход воды в воздухе, кг/с;

S – площадь сечения - 0,0625 м²;

v – скорость потока - 0,4 м/с;

 ρ - плотность воздуха, кг/м³;d₁ - влагосодержание воздуха при 40% влажности и 22°C, кг/кг.

После чего необходимо произвести расчет эффективности влагопоглощения гидрогеля. Для рассматриваемого гидрогеля, на основе полиакрилата натрия, эффективность сорбции рассчитывается по формуле, учитывающей поправку на температуру, время контакта с влажной средой, а также разницу влажности гидрогеля и внешней среды [4]:

$$\eta = \eta_0 \times f_v \times f_t \times f_{\Delta\varphi}$$

(2)

где

 η_0 – максимальная эффективность при идеальных условиях;f_v – поправка на время контакта;f_t – поправка на температуру;f_{Δφ} - поправка на разность влажности.

Получив выше описанные параметры, становится возможным рассчитать значение выходной влажности вытяжного воздуха после сорбции влаги абсорбирующим элементом. Воспользуемся формулой учитывающей разность влажности гидрогеля и внешней среды от времени его работы:

$$\varphi_{\text{вых}}(t) = \varphi_{\text{вх}} \times (1 - \eta \times \Delta\varphi(t)) = \varphi_{\text{мин}} + (\varphi_{\text{вх}} - \varphi_{\text{мин}}) \times \left(\frac{\eta \times G \times t}{m_{\text{max}}}\right)$$

(3)

где

$\varphi_{\text{вх}}$ – влажность потока вытяжного воздуха на входе в рекуператор, кг/кг;

$\Delta\varphi(t)$ – отношение влажности гидрогеля и внешней среды от времени, кг/кг;

t – время, с;

m_{max} – максимальная масса влагонасыщенного гидрогеля до достижения равновесного состояния с внешней средой, кг.

Выявив зависимость влажности вытяжного воздуха после сорбции от выше перечисленных параметров, введем коэффициент эффективности сорбции влаги из воздуха абсорбирующим элементом - $K_{\text{вл}}$, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{вл}}(t) = \frac{\varphi_{\text{вых}}(t)}{\varphi_{\text{вх}}}$$

(4)

Данный коэффициент отражает долю оставшейся влаги в вытяжном воздухе после контакта с абсорбирующим элементом в рекуперационной установке. Из уравнения следует, что наименьшее значение коэффициента соответствует наибольшей осушающей способности абсорбирующего элемента.

Далее произведем расчет количества конденсата на пластинах теплообменника рассматриваемой рекуперационной установки с применением введённого коэффициента. Воспользуемся усовершенствованным уравнением массоотдачи, для этого рассчитаем разность плотностей в воздушном потоке [5]:

$$\Delta\varphi_{вз}(t) = K_{вл}(t) \times p_v - p_s$$

(5)

где

$\Delta\varphi_{вз}(t)$ – разность плотностей пара между потоком после абсорбирующего элемента и поверхностью пластины, кг/м³;

p_v – плотность водяного пара на входе в рекуператор, кг/м³;

p_s – плотность пара на поверхности пластины, кг/м³.

После чего становится возможным рассчитать количество образующегося конденсата [5, 6]:

$$m(t) = \beta \times \Delta\varphi_{вз}(t)$$

(6)

где

$m(t)$ – масса образующегося конденсата, кг;

β – коэффициент массопередачи, м/с.

Учитывая то, что образующийся конденсат, на поверхности холодной пластины будет постепенно охлаждаться, необходимо произвести расчет интенсивности образования наледи с учетом коэффициента диффузии пара, снижающийся теплопроводности по мере нарастания слоя льда, а также изменение влажности поступающего воздуха со временем, которое описывается коэффициентом эффективности сорбции влаги из воздуха абсорбирующим элементом. Для этого воспользуемся видоизмененным решением задачи Стефана [7, 8]:

$$H(t) = \sqrt{H_i^2 + \frac{2D \times \Delta\varphi_{вз}(t)}{\rho_{лед}} \times t}$$

(7)

где:

$H(t)$ – толщина инея в момент времени t , м;

H_i – начальная толщина инея, м;

D – коэффициент диффузии, m^2/c .

$\rho_{лед}$ – плотность льда, kg/m^3 .

Оставшаяся высота канала определяется как:

$$h_{кан}(t) = H_0 - 2H(t)$$

(8)

где

$h_{кан}(t)$ – оставшаяся высота канала, мм;

H_0 – начальная высота канала, мм.

Одним из негативных факторов, возникающих при нарастающем слое инея, в первую очередь является снижение пропускной способности теплообменных каналов, что вызывает перепад давления в рекуперационной установке, приводящий к существенному снижению ее эффективности, а также стремительному повышению нагрузки на вентиляторы вентиляционной системы [9].

Для оценки возникающего перепада давления, в процессе работы рассматриваемой рекуперационной системы, воспользуемся комплексным уравнением, составленным из задачи Стефана и уравнения Навье-Стокса [10, 11]:

$$\Delta P(t) = \Delta P_0 \times \left[\frac{H_0}{H_0 - 2H(t)} \right]^3$$

(9)

где:

$\Delta P(t)$ – перепад давления в канале в момент времени t , Па;

ΔP_0 – начальный перепад давления, Па;

В случае если абсорбирующий элемент предотвращает рост слоя инея, логично предположить возникновение эффекта сублимации, то есть снижения уже имеющегося слоя наледи. Для расчета величины сублимации воспользуемся уравнением сублимации при нестационарной диффузии пара [12]:

$$L_{\text{субл}}(t) = L_0 \times \exp\left(-\frac{\beta \times |\Delta p_c|_{\text{ср}}}{\rho_{\text{лед}} \times L_0} \times t\right) \quad (10)$$

где

$L_{\text{субл}}(t)$ – толщина льда после сублимации за время t , м;

L_0 – начальная толщина льда перед сублимацией, м;

$\Delta \rho_c$ – средняя абсолютная разность плотностей пара за время сублимации, кг/м³;

На основе приведенных уравнений получено дифференциальное уравнение, описывающее нестационарный рост слоя инея в канале пластинчатого теплообменника с учетом коэффициента эффективности сорбции $K_{\text{вл}}(t)$, зависящего от времени насыщения абсорбирующего элемента:

$$\frac{dH}{dt} = \begin{cases} \frac{D(K_{\text{вл}}(t)p_v - p_s)}{\rho_{\text{лед}} H(t)}, & K_{\text{вл}}(t)p_v > p_s \\ -\frac{\beta |K_{\text{вл}}(t)p_v - p_s|}{\rho_{\text{лед}}}, & K_{\text{вл}}(t)p_v \leq p_s \end{cases} \quad (11)$$

Результаты исследования. На основе представленных формул, произведен теоретический расчет влажности вытяжного воздуха после абсорбирующего элемента для последующего расчета ледообразования в теплообменнике (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет влажности вытяжного воздуха после абсорбирующего элемента

Время, t, ч	Выходная влажность, $\varphi_{\text{вых}}$, %	Коэффициент $K_{\text{вл}}$
0,0	4,0	0,100
0,5	10,4	0,260
1,0	16,8	0,420
1,5	23,1	0,578
2,0	29,5	0,738
2,5	35,9	0,898
3,0	4,0	0,100
3,5	10,4	0,260
4,0	16,8	0,420
4,5	23,1	0,578
5,0	29,5	0,738
5,5	35,9	0,898
6,0	40,0	1,000

Полученные данные демонстрируют необходимость замены абсорбирующего элемента по истечению 3 часов работы рекуперационной установки, ввиду насыщения применяемого абсорбента.

После чего, был выполнен расчет степени обледенения теплообменника в рекуперационной установке, оснащенной абсорбирующими элементами (таблица 2).

Таблица 2 – Расчетные данные толщины образования слоя инея и образующегося при этом перепада давления

Время, t, ч	Толщина льда с одной стороны, Н(t), мм	Оставшаяся высота канала, $h_{\text{кан}}(t)$, мм	Перепад давления, $\Delta P(t)$, кПа	Отношение $\Delta P(t)/\Delta P_0$
0,0	0,00	5,00	0,050	1,0
0,5	0,00	5,00	0,050	1,0
1,0	0,05	4,90	0,053	1,1
1,5	0,11	4,78	0,059	1,2
2,0	0,16	4,68	0,065	1,3
2,5	0,22	4,56	0,074	1,5
3,0	0,16	4,68	0,065	1,3
3,5	0,12	4,76	0,062	1,2
4,0	0,10	4,80	0,060	1,2
4,5	0,14	4,72	0,064	1,3
5,0	0,19	4,62	0,071	1,4
5,5	0,24	4,52	0,080	1,6
6,0	0,28	4,44	0,088	1,8

Для оценки эффективности применения абсорбирующих элементов приведена таблица зависимости толщины льда и перепада давления от времени с применением абсорбирующего элемента и без него (таблица 3).

Таблица 3 – Зависимость толщины льда и перепада давления от времени с применением абсорбирующего элемента и без него

Время, t, ч	Оставшаяся высота канала, без защиты от обледенения, $h_{\text{кан}}(t)$, мм	Оставшаяся высота канала, с абсорбирующем элементом, $h_{\text{кан}}(t)$, мм	Перепад давления, без защиты от обледенения, $\Delta P(t)$, кПа	Перепад давления, с абсорбирующем элементом, $\Delta P(t)$, кПа
0,0	5,00	5,00	0,050	0,050
0,5	4,46	5,00	0,070	0,050
1,0	4,02	4,90	0,096	0,053
1,5	3,64	4,78	0,130	0,059
2,0	3,44	4,68	0,154	0,065
2,5	3,20	4,56	0,191	0,074
3,0	3,06	4,68	0,218	0,065
3,5	2,94	4,76	0,246	0,062
4,0	2,84	4,80	0,273	0,060
4,5	2,78	4,72	0,291	0,064
5,0	2,70	4,62	0,317	0,071
5,5	2,66	4,52	0,332	0,080
6,0	2,62	4,44	0,348	0,088

На основании полученной сравнительной таблицы построена теоретическая модель процесса намерзания конденсата в теплообменнике рекуперационной установки (Рис.2), а также перепада давления (Рис.3).

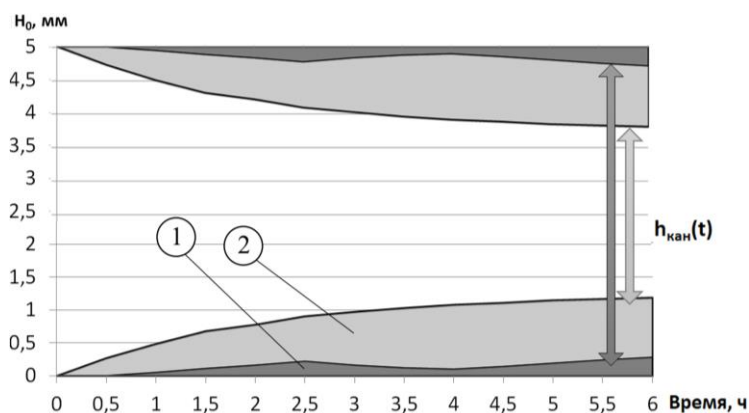


Рисунок 2 – Теоретическая модель процесса намерзания конденсата по высоте канала в теплообменнике рекуперационной установки с течением времени: 1 – с применением абсорбирующего элемента, 2 – без защиты от обледенения

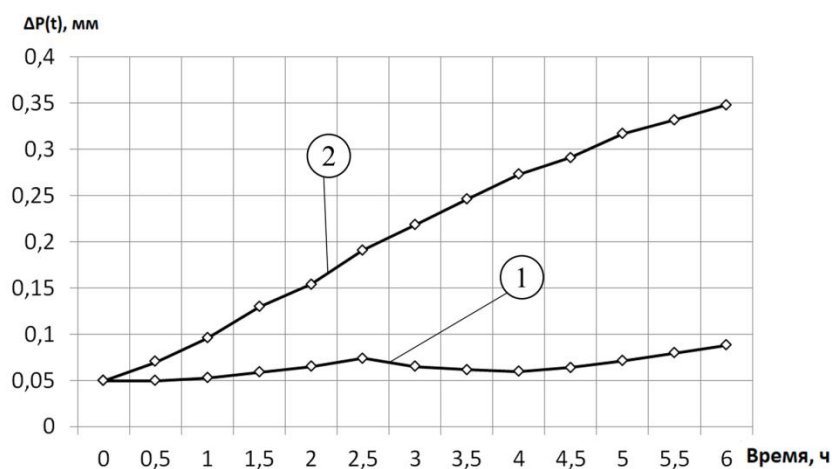


Рисунок 3 – График повышения давления в теплообменнике при его обмерзании от времени: 1 – с применением абсорбирующего элемента, 2 – без защиты от обледенения

Анализ полученных данных показывает наличие зависимости процессов образования слоя инея и его последующей сублимации при замене абсорбирующего элемента. В интервале от 0 до 1 часа работы рекуперационной установки коэффициент эффективности сорбции абсорбирующих элементов $K_{вл}$ повысился с 0,100 до 0,420, при этом на

всем протяжении рассматриваемого временного отрезка, разность плотностей водяного пара $\Delta\rho_{вз}$ оставалась отрицательной, что говорит об отсутствии процесса конденсации влаги на поверхностях пластин теплообменника, и вследствие чего, сохраняющийся его полной пропускной способности.

Начало процессов конденсации и кристаллизации образующейся влаги, зафиксировано после 1 часа работы моделируемой рекуперационной установки (0,1мм толщина льда), что обусловлено возникновением положительной разности плотностей пара, ввиду постепенного насыщения абсорбента. При этом толщина инея в системе без предусмотренной защиты от обледенения, к этому же времени, уже равнялась 0,98 мм.

Спустя 2 часа работы моделируемого процесса, с предусмотренной защитой, фиксируется повышение толщины льда до 0,32 мм, что оставляет 4,68 мм эффективной пропускной площади между пластинами теплообменника, что является причиной повышения перепада давления от 0,050 кПа до 0,065 кПа, также наблюдается снижение эффективности осушения воздуха ввиду постепенного влагонасыщения абсорбента и повышения $K_{вл}$ до 0,738. В системе без предусмотренной защиты от обледенения к этому же времени толщина слоя льда достигла 1,56 мм, а перепад давления 0,154 кПа.

Наибольшее значение коэффициента эффективности сорбции абсорбирующего элемента было достигнуто спустя 3 часа работы, ввиду чего была произведена замена. Следовательно, на данном временном этапе образование слоя льда было остановлено, ввиду вновь возникшей отрицательной разности плотностей водяного пара. При этом происходит возникновение процесса интенсивной сублимации накопленного слоя инея. Данный процесс протекает наиболее активно в первый час работы абсорбирующего элемента (снижение толщины льда на 0,06 мм), ввиду его малой влагонасыщенности. Снижение эффекта сублимации происходит на

4 час работы рекуперационной установки, при этом толщина льда снижается до 0,2 мм, оставляя тем самым 4,8 мм эффективной высоты между пластинами теплообменника, за счет чего перепад давления также понижается с 0,074 кПа до 0,060 кПа.

Сравнивая данные, на этапе в 4 часа, система без защиты от обледенения имела 56% эффективной пропускной площади между пластинами теплообменника, тогда как система с защитой в виде абсорбирующего элемента 96%, что составляет разницу в 40%.

В дальнейшем, через 5 часов работы, вновь возникает процесс образования конденсата, ввиду постепенно повышающейся влажности вытяжного воздуха после абсорбента, вследствие чего возобновляется рост слоя льда.

В конце моделируемого процесса, толщина слоя инея равнялась 0,56 мм, что говорит об 89% оставшейся эффективной площади теплообменника, тогда как в системе без предусмотренной защиты этот показатель снизился до 52%.

Перепад давления при применении абсорбирующих элементов, по итогу 6 часов работы установки, не превысил 0,088 кПа, тогда как в установке без применения систем защиты от обледенения этот показатель составил 0,348 кПа, что составляет разницу в 4 раза.

Заключение. Полученные результаты подтверждают эффективность применения абсорбирующих элементов в качестве защиты рекуперационных установок от выпадения конденсата и его обледенения, позволяя тем самым поддерживать нормируемые показатели воздухообмена в холодный период года в животноводческих помещениях, в частности курятниках и свиноводческих комплексах. Что в свою очередь способствует сохранению оптимального микроклимата, снижению риска респираторных заболеваний животных и птиц, а также повышению их продуктивности. Возникающие при сорбции и десорбции термические

эффекты, требуют отдельного рассмотрения, что не снижает доказанной эффективности предложенного метода.

Список литературы

1. Влияние параметров микроклимата на продуктивность сельскохозяйственных животных / С. В. Корнев, А. С. Корнев, С. А. Черномазов, И. А. Негриенко // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 29 января 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2026. – С. 62-67.

2. Патент на полезную модель № 236858 U1 Российская Федерация, МПК F24F 12/00, F24F 3/14. Устройство рекуперации тепла промышленных микроклиматических систем для работы в условиях низких температур окружающего воздуха : заявл. 18.06.2025 : опубл. 26.08.2025 / А. С. Корнев, С. А. Черномазов, С. В. Корнев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I.

3. Бирюков, В. В. Теплообменные конденсационные системы вентиляции животноводческих помещений : специальность 05.23.03 "Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бирюков Владимир Викторович. – Ростов-на-Дону, 2005. – 26 с.

4. Адамова, Л. В. Сорбция паров воды гидрогелями на основе полиакриламида / Л. В. Адамова, А. В. Ключкина, А. П. Сафронов // Физико-химия полимеров: синтез, свойства и применение. – 2015. – № 21. – С. 178-182.

5. Богомолов, Д. А. О влиянии эксплуатационных параметров работы рекуператора на интенсивность инееобразования / Д. А. Богомолов, А. И. Грошев, А. А. Орешонков // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 16(138). – С. 84-86.

6. Расчет воздушных теплоутилизаторов, установленных в приточно-вытяжных устройствах систем вентиляции воздуха / Б. С. Сажин, О. С. Кочетов, М. В. Чунаев [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. 21, № 4(72). – С. 88-92.

7. A review of heat recovery technologies and their frost control for residential building ventilation in cold climate regions / H. Y. Bai, M. Justo Alonso, H. M. Mathisen, P. Liu // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 162. – P. 112417. – DOI 10.1016/j.rser.2022.112417.

8. Корнев, А. С. Термодинамика обледенения пластинчатых рекуператоров / А. С. Корнев, С. А. Черномазов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2026. – № 216. – С. 414-425. – DOI 10.21515/1990-4665-216-037.

9. Berquist, Ju. Comparison of Heat Recovery Ventilator Frost Control Techniques in the Canadian Arctic: Preheat and Recirculation / Ju. Berquist, C. Banister, M. Pellissier // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 246. – P. 11010. – DOI 10.1051/e3sconf/202124611010.

10. Каткова, Е. Ю. Влияние противообледенительных покрытий на эффективность вентиляции / Е. Ю. Каткова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : тезисы докладов двадцать седьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 11–12 марта 2021 года. – Москва: Общество с

ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг " РАДУГА", 2021. – С. 701.

11. Пуган, А. А. Установка утилизации тепла с системой оттаивания / А. А. Пуган, О. П. Андреев // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 2. – С. 76-85. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-71-2-76-85.

12. Сосновский, А. В. Влияние диффузии водяного пара на теплоперенос в снежном покрове / А. В. Сосновский, Н. И. Осокин // География и природные ресурсы. – 2019. – № 1. – С. 187-193. – DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(187-193).

References

1. Vlijanie parametrov mikroklimata na produktivnost' sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh / S. V. Kornev, A. S. Kornev, S. A. Chernomazov, I. A. Negrienko // Tendencii razvitiya tehniceskikh sredstv i tehnologij v APK : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Voronezh, 29 janvarja 2026 goda. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2026. – S. 62-67.

2. Patent na poleznuju model' № 236858 U1 Rossijskaja Federacija, MPK F24F 12/00, F24F 3/14. Ustrojstvo rekuperacii tepla promyshlennyh mikroklimaticheskikh sistem dlja raboty v uslovijah nizkih temperatur okruzhajushhego vozduha : zjavl. 18.06.2025 : opubl. 26.08.2025 / A. S. Kornev, S. A. Chernomazov, S. V. Kornev ; zjavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I.

3. Birjukov, V. V. Teploobmennye kondensacionnye sistemy ventiljacii zhivotnovodcheskich pomeshhenij : special'nost' 05.23.03 "Teplosnabzhenie, ventiljacija, kondicionirovanie vozduha, gazosnabzhenie i osveshhenie" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk / Birjukov Vladimir Viktorovich. – Rostov-na-Donu, 2005. – 26 s.

4. Adamova, L. V. Sorbcija parov vody gidrogeljami na osnove poliakrilamida / L. V. Adamova, A. V. Kljukina, A. P. Safronov // Fiziko-himija polimerov: sintez, svojstva i primenenie. – 2015. – № 21. – S. 178-182.

5. Bogomolov, D. A. O vlijanii jekspluacionnyh parametrov raboty rekuperatora na intensivnost' ineeobrazovanija / D. A. Bogomolov, A. I. Groshev, A. A. Oreshonkov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Al'ternativnaja jenergetika i jekologija. – 2013. – № 16(138). – S. 84-86.

6. Raschet vozdushnyh teploutilizatorov, ustanovlennyh v pritochno-vytjazhnyh ustrojstvah sistem ventiljacii vozduha / B. S. Sazhin, O. S. Kochetov, M. V. Chunaev [i dr.] // Uspehi v himii i himicheskoj tehnologii. – 2007. – T. 21, № 4(72). – S. 88-92.

7. A review of heat recovery technologies and their frost control for residential building ventilation in cold climate regions / H. Y. Bai, M. Justo Alonso, H. M. Mathisen, P. Liu // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 162. – P. 112417. – DOI 10.1016/j.rser.2022.112417.

8. Kornev, A. S. Termodinamika obledeneniya plastinchatyh rekuperatorov / A. S. Kornev, S. A. Chernomazov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2026. – № 216. – S. 414-425. – DOI 10.21515/1990-4665-216-037.

9. Berquist, Ju. Comparison of Heat Recovery Ventilator Frost Control Techniques in the Canadian Arctic: Preheat and Recirculation / Ju. Berquist, C. Banister, M. Pellissier // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 246. – P. 11010. – DOI 10.1051/e3sconf/202124611010.

10. Katkova, E. Ju. Vlijanie protivooledenitel'nyh pokrytij na jeffektivnost' ventiljacii / E. Ju. Katkova // Radioelektronika, jelektrotehnika i jenergetika : tezisy dokladov dvadcat'

sed'moj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov i aspirantov, Moskva, 11–12 marta 2021 goda. – Moskva: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Centr poligraficheskikh uslug "RADUGA", 2021. – S. 701.

11. Putan, A. A. Ustanovka utilizacii tepla s sistemoj ottaivaniya / A. A. Putan, O. P. Andreev // Mezhdunarodnyj tehniko-jekonomicheskij zhurnal. – 2020. – № 2. – S. 76-85. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-71-2-76-85.

12. Sosnovskij, A. V. Vlijanie diffuzii vodjanogo para na teploperenos v sneznom pokrove / A. V. Sosnovskij, N. I. Osokin // Geografija i prirodnye resursy. – 2019. – № 1. – S. 187-193. – DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(187-193).