

УДК 631.3:628.8

## КІНЕТИКА ВОЛОГОВІСТУ І ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ВИКИДІВ

**Ю. В. Герасимчук**, к. т. н., с. н. с., e-mail: ger\_yuri@mail.ru – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН

### РЕЗЮМЕ

**Мета.** Отримати кінетику вологовмісту і відносної вологості повітряного середовища тваринницьких приміщень при застосуванні в холодний і перехідні пори року, теплоутилізаторів вентиляційних викидів для забезпечення нормативного температурного режиму.

**Методи.** Аналіз взаємозв'язків між температурою, вологовмістом і відносною вологістю повітряного середовища в тваринних і птичних приміщеннях, їх синтез у вигляді матеріального балансу водяної пари в цих приміщеннях.

**Результати.** Отримані аналітичні вирази кінетики вологовмісту і відносної вологості повітряного середовища в тваринних і птичних приміщеннях при застосуванні в холодні і перехідні пори року, рекуперативних теплоутилізаторів вентиляційних викидів з захистом від обмерзання теплообмінної поверхні.

**Висновки.** Кінетика вологовмісту і відносної вологості повітря в тваринних і птичних приміщеннях при використанні рекуперативних теплоутилізаторів з захистом від обмерзання теплообмінної поверхні в системах припливної вентиляції має експоненціальний характер, а їх величина може збільшуватись або зменшуватись в залежності від початкового значення вологовмісту і відносної вологості повітря в приміщенні. При температурах зовнішнього повітря, менших за температури обмерзання теплообмінної поверхні рекуперативних теплоутилізаторів, усталене значення вологовмісту і відносної вологості повітря в приміщенні збільшується, що необхідно враховувати при проектуванні систем припливної вентиляції з утилізацією теплоти викидного повітря.

**Ключові слова:** рекуперативні теплоутилізатори, тваринні приміщення, повітряне середовище, відносна вологість, кінетика вологовмісту.

UDC 631.3:628.8

## KINETICS OF MOISTURE CONTENT AND RELATIVE HUMIDITY AIR ENVIRONMENT IN LIVESTOCK BUILDINGS IN USE OF VENTILATION EXHAUSTS HEAT RECOVERY UNITS

**Y. V. GERASYMCHUK**, PhD, Senior Researcher, e-mail: ger\_yuri@mail.ru – National Scientific Center «Institute of Engineering and Electrification of Agriculture» of the NAAS

### SUMMARY

**Purpose.** To get the kinetics of moisture content and relative humidity of the air environment for livestock buildings when used in the cold and transitional seasons ventilation emissions heat recovery units for normative temperature mode.

**Methods.** Analysis of the relationship between temperature, moisture content and relative humidity of the air environment livestock and poultry premises and their synthesis in the form of material balance the water vapor in these areas.

**Results.** Obtained analytical expressions of kinetics of moisture content and relative humidity of the air environment in livestock and poultry premises when used in the cold and transitional seasons recuperative heat recovery units with ventilation exhausts with icing protection of heat exchange surface.

**Conclusions.** Kinetics of moisture content and relative humidity of air in the livestock and poultry premises when using recuperative heat recovery units with protection from heat exchange surface icing systems ventilators has exponential character and their size may increase or decrease depending on the initial value of the moisture content and relative humidity in the room. With outdoor temperatures lower temperature of icing of the heat exchanging surfaces recuperative heat recovery units constant value of moisture content and relative humidity of air indoors increases that must be considered while designing of systems of the tidal ventilation with heat recycling miscarriages air.

**Key words:** recuperative heat utilizers, livestock premises, the air environment, relative humidity, moisture kinetics.

УДК 631.3:628.8

## КИНЕТИКА ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ И ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

**Ю. В. ГЕРАСИМЧУК**, к. т. н., с. н. с., e-mail: ger\_yuri@mail.ru – Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» НААН

### РЕЗЮМЕ

**Цель.** Получить кинетику влагосодержания и относительной влажности воздушной среды животноводческих помещений при применении в холодный и переходный сезоны года, теплоутилизаторов вентиляционных выбросов для обеспечения нормативного температурного режима.

**Методы.** Анализ взаимосвязей между температурой, влагосодержанием и относительной влажностью воздушной среды животноводческих и птицеводческих помещений и их синтез в виде материального баланса водяного пара в этих помещениях.

**Результаты.** Получены аналитические выражения для кинетики влагосодержания и относительной влажности воздушной среды в животноводческих и птицеводческих помещениях при применении в холодный и переходный сезоны года, рекуперативных теплоутилизаторов вентиляционных выбросов с защитой от обмерзания теплообменной поверхности.

**Выводы.** Кинетика влагосодержания и относительной влажности воздуха в животноводческих и птицеводческих помещениях при использовании рекуперативных теплоутилизаторов с защитой от обмерзания теплообменной поверхности в системах приточной вентиляции имеет экспоненциальный характер, а их величина может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от начального значения влагосодержания и относительной влажности воздуха в помещении. При температурах наружного воздуха меньших от температуры обмерзания теплообменной поверхности рекуперативных теплоутилизаторов устоявшееся значение влагосодержания и относительной влажности воздуха в помещении увеличивается, что необходимо учитывать при проектировании систем приточной вентиляции с утилизацией теплоты удаляемого воздуха.

**Ключевые слова:** рекуперативные теплоутилизаторы, животноводческие помещения, воздушная среда, относительная влажность, кинетика влагосодержания.

### ПРОБЛЕМА

В розвинутих країнах світу, в тому числі і в Україні, домінує промислове виробництво продукції тваринництва, що зумовлює концентрацію поголів'я худоби і птиці у виробничих приміщеннях. Для попередження захворювання тварин і птиці, забезпечення прояву в повній мірі їх генетичної продуктивності в умовах промислового виробництва, найбільш важливим є підтримання оптимальних параметрів повітряного середовища виробничих приміщень. Витрати на підтримання таких параметрів у приміщеннях для утримання тварин і птиці в перехідний і холодний періоди року, можуть сягати до 60% загальних енергозатрат [1 - 3]. Зважаючи на технологічне відставання галузі тваринництва від рівня розвинених країн, в тому числі і щодо забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища виробничих приміщень, це негативно впливає на енергоефек-

тивність виробництва тваринницької продукції.

За показником енергоемності, валовий внутрішній продукт України, в тому числі і сільськогосподарської продукції, в декілька разів перевищує показники країн Західної і Східної Європи [4, 5]. В переліку заходів, направлених на збільшення енергоефективності, передбачено широке використання вторинних джерел енергії. Вторинна енергія утворюється із первинної в результаті неповного її використання в технологічних процесах. У тваринництві – це теплова енергія, яка видаляється в навколишнє середовище з викидним вентиляційним повітрям, яка витрачається разом з екскрементами і із продуктами горіння палива в системах опалення виробничих приміщень [6]. Досвід використання теплової енергії вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря, яке поступає в тваринницькі приміщення в перехідний і холодний періоди року показав, що при

забезпеченні необхідних параметрів повітряного середовища, згідно вимог нормативних документів [7 - 9], доцільно застосовувати рекуперативні теплоутилізатори з зустрічним рухом повітряних потоків [10, 11]. Але на ефективність їх використання суттєво впливають специфічні умови експлуатації в тваринницьких приміщеннях [12 - 14]. При цьому кінетика вологовмісту і відносної вологості повітряного середовища у приміщеннях для утримання тварин і птиці необхідна для оцінки досконалості процесу створення нормативного повітряного середовища та при обґрунтуванні систем керування режимами роботи рекуперативних теплоутилізаторів і захистом від обмерзання теплообмінної поверхні.

#### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ.

Проектування систем припливної вентиляції тваринних і пташиних приміщень з утилізацією теплоти викидного повітря допускається згідно вимог нормативних документів [7 - 9] за умови обладнання рекуперативних теплоутилізаторів пристроями для захисту від обмерзання теплообмінної поверхні. Для захисту теплообмінної поверхні рекуперативних теплоутилізаторів від обмерзання використовують періодичний режим роботи, байпасний канал для подачі припливного повітря в обхід теплоутилізатора і попередній підігрів припливного повітря [11 - 13]. Такі способи захисту не мають суттєвого впливу на кінетику вологовмісту і відносної вологості повітря у тваринницьких приміщеннях, а їх усталені значення і вплив зміни параметрів стану визначаються з використанням рівняння балансу вологи і J-d діаграми [15, 16]. Разом з тим, на сьогоднішній день перспективним є енергоощадний спосіб створення нормативних параметрів повітряного середовища в тваринницьких і птахових приміщеннях [17, 18], в якому захист від обмерзання теплообмінної поверхні рекуперативного теплоутилізатора відбувається за рахунок теплової енергії вентиляційних викидів при будь якій температурі зовнішнього повітря. При цьому використовується рециркуляція викидного повітря, яка впливає на кінетику вологовмісту і відносної вологості повітря у тваринницькому приміщенні. Тому виникла необхідність отримання аналітичного вигляду кінетики вологовмісту в тваринницькому приміщенні з урахуванням параметрів і режимів

роботи рекуперативного теплоутилізатора для енергоощадного способу створення нормативного повітряного середовища.

**Мета досліджень.** Отримати кінетику вологовмісту і відносної вологості повітряного середовища тваринницьких приміщень при застосуванні в холодний і перехідний пори року теплоутилізаторів вентиляційних викидів для забезпечення нормативного температурного режиму.

**Результати досліджень.** Розроблений енергоощадний спосіб створення нормативного повітряного середовища тваринницьких приміщень у холодний і перехідний пори року [17, 18] базується на комплексному використанні утилізації теплоти вентиляційних викидів та зменшення подачі припливного повітря в залежності від його температури. При цьому, скорочення енерговитрат досягається як за рахунок використання теплоти вентиляційних викидів, так і за рахунок рециркуляції викидного повітря. Захист від обмерзання теплообмінної поверхні рекуперативного теплоутилізатора здійснюється шляхом подачі відповідної частини підігрітого припливного повітря на вхід припливних каналів. Така ж частина викидного повітряного потоку після теплоутилізатора направляється в приміщення. Величина цих частин залежить від температури зовнішнього повітря і теплотехнічних параметрів рекуперативного теплоутилізатора. Тому, при незмінній подачі повітря через припливні і викидні канали теплоутилізатора, подача холодного припливного повітря зменшується при зниженні температури зовнішнього повітря, а потік рециркуляційного повітря з виходу викидних каналів збільшується, що спричиняє зміну вологовмісту і відносної вологості повітря в тваринницькому чи птаховому приміщенні.

Водяна пара в різній кількості присутня у всіх потоках повітря від рекуперативного теплоутилізатора і до нього. З урахуванням джерел надходження і напрямів цих повітряних потоків розроблена схема руху водяної пари, яка приведена на рис. 1. Як впливає з рисунка, водяна пара поступає у приміщення від тварин чи птиці і змоченої поверхні приміщення,  $m_1$ , з припливним повітрям,  $m_2$ , та з потоком рециркуляційного повітря,  $m_3$ , а видаляється з приміщення через викидні канали теплоутилізатора,  $m_4$ . Аналіз надходжень і видалень водяної пари при реалізації енергоощадного способу створення

нормативного повітряного середовища показує, що її вологовміст в тваринницькому приміщенні залежить від температури і вологовмісту припливного повітря, параметрів теплоутилізатора та інтенсивності надходжень від тварин чи птиці і змоченої поверхні. Тому для отримання кінетики вологовмісту повітря в тваринницькому приміщенні необхідно скласти диференційне рівняння матеріального балансу надходжень і видалень водяної пари. Для схеми, приведеної на рис. 1, за елементарний проміжок часу  $d\tau$ , год, матеріальний баланс водяної пари має такий вигляд:

$$dm_{\Pi} = dm_1 + dm_2 + dm_3 - dm_4, \quad (1)$$

де  $dm_{\Pi}$  – зміна кількості водяної пари у тваринницькому чи птахівничому приміщенні, кг;

$dm_1$  – зміна кількості водяної пари, що надходить у приміщення від тварин чи птиці і інших джерел, кг;

$dm_2$  – зміна кількості водяної пари, що надходить у приміщення з припливним повітрям, кг;

$dm_3$  – зміна кількості водяної пари, що направляється у приміщення з потоком рециркуляційного повітря, кг;

$dm_4$  – зміна кількості водяної пари, що видаляється з приміщення через викидні канали теплоутилізатора, кг.

Зміни кількості водяної пари у тваринницькому чи птахівничому приміщенні, що надходить у приміщення від тварин чи птиці і інших джерел, що надходить у приміщення з припливним повітрям, що направляється у приміщення з потоком рециркуляційного повітря, що видаляється з приміщення через викидні канали теплоутилізатора визначаються за формулами:

$$dm_{\Pi} = V \cdot \rho_{\text{сп}} \cdot dx_{\Pi}, \quad (2)$$

$$dm_1 = \Pi_B \cdot d\tau, \quad (3)$$

$$dm_2 = \frac{(1-K) \cdot G \cdot x_2}{1+x_2} \cdot d\tau \quad (4)$$

$$dm_3 = \frac{K \cdot G \cdot x_1}{1+x_1} \cdot d\tau, \quad (5)$$

$$dm_4 = \frac{G \cdot x_{\Pi}}{1+x_{\Pi}} \cdot d\tau, \quad (6)$$

де  $V$  – об'єм тваринних і пташиних приміщень, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{сп}}$  – густина сухого повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$x_{\Pi}$  – вологовміст повітря в приміщенні, кг<sub>в</sub>/кг<sub>сп</sub>;

$\Pi_B$  – потік водяної пари в приміщення від тварин і інших джерел, кг<sub>в</sub>/год;

$K$  – частка підігрітого потоку припливного повітря яка подається на вхід припливних каналів теплоутилізатора для захисту від обмерзання теплообмінної поверхні. Визначається за формулою приведеною в [17];

$G$  – подача повітря через припливні і викидні канали теплоутилізатора, кг/год;

$x_1$  – вологовміст потоку повітря на виході викидних каналів теплоутилізатора  $K$  та частина якого подається в приміщення, кг<sub>в</sub>/кг<sub>сп</sub>;

$x_2$  – вологовміст потоку повітря на виході припливних каналів теплоутилізатора (вологовміст повітря зовнішнього середовища), кг<sub>в</sub>/кг<sub>сп</sub>;

З урахуванням формул (2) – (6) диференційне рівняння (1) матеріального балансу надходжень і видалень водяної пари з тваринних чи пташиних приміщень, має такий вигляд:

$$V \cdot \rho_{\text{сп}} \cdot dx_{\Pi} = \Pi_B \cdot d\tau + \frac{K \cdot G \cdot x_1}{1+x_1} \cdot d\tau + \frac{(1-K) \cdot G \cdot x_2}{1+x_2} \cdot d\tau - \frac{G \cdot x_{\Pi}}{1+x_{\Pi}} \cdot d\tau \quad (7)$$

Згідно вимог нормативних документів [7 - 9] в холодний і перехідний періоди року температура повітря в приміщеннях для утримання тварин і птиці в залежності від призначення приміщення, може знаходитись в межах від 3 °С до 33 °С, а відносна вологість повітря від 40% до 85%. При цьому вологовміст повітря може приймати значення 0,005 – 0,0343 кг<sub>в</sub>/кг<sub>сп</sub>. Тому, числові значення знаменників в правій частині формули (7) близькі до одиниці і їх можна не враховувати.

Аналіз результатів вимірювання температури і відносної вологості зовнішнього повітря показує, що швидкість зміни цих параметрів, протягом тривалих періодів не значна, тому вологовміст потоку повітря на виході припливних каналів теплоутилізатора в формулі (7) можна вважати постійно величиною і визначати за формулою [19]:

$$x_2 = \frac{0,622 \cdot \varphi_{\Pi 2} \cdot P_0 \cdot \exp\left(\frac{\alpha \cdot t_{\Pi 2}}{\beta + t_{\Pi 2}}\right)}{P_a - \varphi_{\Pi 2} \cdot P_0 \cdot \exp\left(\frac{\alpha \cdot t_{\Pi 2}}{\beta + t_{\Pi 2}}\right)}, \quad (8)$$

де  $\varphi_{п2}$  – відносна вологість повітря на вході припливних каналів теплоутилізатора (відносна вологість зовнішнього повітря), %;

$t_{п2}$  – температура повітря на вході припливних каналів теплоутилізатора (температура зовнішнього повітря), °C;

$P_a$  – атмосферний тиск, Па;

$P_0$ ,  $\alpha$  і  $\beta$  – постійні коефіцієнти, згідно [19]  $P_0 = 6,1121$  гПа,  $\alpha = 17,5045$ ,  $\beta = 241,2$  °C.

Згідно з рис.1, як наслідок реалізації захисту від обмерзання теплообмінної поверхні, при температурах зовнішнього повітря менших температури обмерзання теплообмінної поверхні [20], в приміщення поступає К-та частина повітряного потоку викидних каналів теплоутилізатора з відносною вологістю 100%. Вологовміст цього повітряного потоку визначається за формулою:

$$x_1 = \frac{62,2 \cdot P_0 \cdot \exp\left(\frac{\alpha \cdot t_{к1}}{\beta + t_{к1}}\right)}{P_a - 100 \cdot P_0 \cdot \exp\left(\frac{\alpha \cdot t_{к1}}{\beta + t_{к1}}\right)}, \quad (9)$$

де  $t_{к1}$  – температура К-тої частина повітряного потоку з викидних каналів теплоутилізатора, яка поступає в приміщення, °C. Ця температура визначається з використанням рівнянь математичної моделі рекуперативного теплоутилізатора [21] з урахуванням показників його призначення і параметрів повітря в приміщенні і зовнішнього середовища.

Отже, при постійних параметрах зовнішнього повітря і температури в приміщенні та з урахуванням вище викладених міркувань диференціальне рівняння (7) можна подати в такому вигляді:

$$\frac{dx_{п}}{\frac{P_b + K \cdot G \cdot x_1 + (1-K) \cdot G \cdot x_2}{V \cdot \rho_{сп}} - \frac{G}{V \cdot \rho_{сп}} \cdot x_{п}} = d\tau \quad (10)$$

Рішення диференційного рівняння (10), яке отримане при початкових умовах  $\tau = 0$ ,  $x_{п} = x_0$ , є аналітичним виразом кінетики вологовмісту повітря в тваринницькому чи птахівничому приміщенні при використанні рекуперативних теплоутилізаторів з захистом від обмерзання теплообмінної поверхні в системах припливної вентиляції:

$$x_{п} = \frac{P_b}{G} + K \cdot x_1 + (1-K) \cdot x_2 - \left(\frac{P_b}{G} + K \cdot x_1 + (1-K) \cdot x_2 - x_0\right) \cdot \exp\left(-\frac{G \cdot \tau}{V \cdot \rho_{сп}}\right) \quad (11)$$

При  $\tau = \infty$  вологовміст повітря в приміщенні має усталене значення  $x_{п\infty}$ , кг<sub>в</sub>/кг<sub>сп</sub>. Для цього випадку з формули (11) знаходимо:

$$x_{п\infty} = \frac{P_b}{G} + K \cdot x_1 + (1-K) \cdot x_2. \quad (12)$$

При температурах зовнішнього повітря більших температури обмерзання теплообмінної поверхні, тобто при  $K = 0$ , залежність (12) аналогічна рівнянню балансу вологовмісту в повітрі тваринних чи пташиних приміщень з [15]. Цим підтверджується те, що отримана залежність (11) є узагальнюючим рівнянням взаємозв'язку кінетики вологовмісту повітряного середовища тваринницького чи птахівничого приміщення, температури і відносної вологості в приміщенні і зовнішнього середовища, та показників призначення рекуперативного теплоутилізатора з захистом від обмерзання згідно [17] системи припливної вентиляції.

Відносна вологість повітря в приміщенні залежить від вологовмісту повітря, його температури і атмосферного тиску. З урахуванням взаємозв'язку цих параметрів повітряного середовища та кінетики вологовмісту (11) і його усталеного значення (12), аналітичний вираз кінетики відносної вологості повітря в тваринних чи пташиних приміщеннях  $\varphi_{п}$ , %, має вигляд такої залежності:

$$\varphi_{п} = \frac{\left[x_{п\infty} - (x_{п\infty} - x_0) \cdot \exp\left(-\frac{G \cdot \tau}{V \cdot \rho_{сп}}\right)\right] \cdot P_a}{\left[x_{п\infty} - (x_{п\infty} - x_0) \cdot \exp\left(-\frac{G \cdot \tau}{V \cdot \rho_{сп}}\right) + 0,622\right] \cdot P_0 \cdot \exp\left(\frac{\alpha \cdot t_{п1}}{\beta + t_{п1}}\right)}, \quad (13)$$

де  $t_{п1}$  – температура повітря в приміщенні, °C.

Аналіз отриманих залежностей показує, що кінетика вологовмісту і відносної вологості повітря в тваринних і пташиних приміщеннях при використанні рекуперативних теплоутилізаторів з захистом від обмерзання теплообмінної поверхні в системах припливної вентиляції має експоненціальний характер, а їх величина може збільшуватись або зменшуватись в залежності від початкового значення вологовмісту і відносної вологості повітря в приміщенні. При температурах зовнішнього повітря менших температури обмерзання теплообмінної поверхні рекупе-

ративних теплоутилізаторів усталене значення вологовмісту і відносної вологості повітря в приміщенні збільшується, що необхідно враховувати при проектуванні систем припливної вентиляції з утилізацією теплоти викидного повітря.

### ВИСНОВКИ

Методичний підхід щодо аналізу взаємозв'язків між вологовмістом повітряного середовища тваринних і птичних приміщень з параметрами потоків повітря на входах і виходах припливних і викидних каналів рекуперативного теплоутилізатора з захистом від обмерзання теплообмінної поверхні та їх

синтезу в вигляді матеріального балансу водяної пари забезпечили отримання аналітичних залежностей кінетики вологовмісту і відносної вологості повітря в приміщенні. Кінетика вологовмісту і відносної вологості повітря в тваринних і птичних приміщеннях при використанні рекуперативних теплоутилізаторів в системах припливної вентиляції має експоненціальний характер, а їх величина може збільшуватись або зменшуватись в залежності від початкового значення вологовмісту і відносної вологості повітря в приміщенні.

### Бібліографія

1. Корчемний М. О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. О. Корчемний, В. С. Федорейко, В. П. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
2. Болтянська Н. І. Шляхи енергозбереження при забезпеченні мікроклімату на птичних фермах / Н. І. Болтянська, О. В. Болтянський // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2001. – Вип. 13. Т. 3 – С.18 – 25.
3. Гладка А. Б. Технології як основа підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва / А. Б. Гладка // Птаківництво: Міжвідомч. темат. наук. зб./ ІП УААН. – Харків, 2008. – Вип. 62. 425 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року / Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 № 1071-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // <http://document.ua/energetichna-strategija-ukrayini-na-period-do-2030-r.-doc195024.html>.
5. Адамчук В. В. Наукове забезпечення ефективного застосування електричної енергії в технологічних процесах агропромислового виробництва / В. В. Адамчук, В. Ф. Петриченко, В. Г. Мироненко, Ю. В. Герасимчук // Механізація та електрифікація сільського господарства // Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – Глеваха, 2014. – Вип. 99. Т.1 – С. 14 – 33.
6. Адамовски Р. Использование вторичной теплоты вентиляционного воздуха для обогрева помещений в животноводстве / Р. Адамовски, Д. Адамовски // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – №6. – С.16,17.
7. Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми): ВНТП-АПК-01.05. – К.: Мінагрополітики України, 2005. – 112 с.
8. Відомчі норми технологічного проектування. Свилярські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми): ВНТП-АПК-02.05. – К.: Мінагрополітики України, 2005. – 98 с.
9. Відомчі норми технологічного проекту-

вання. Підприємства птиківництва: ВНТП-АПК-04.05. – К.: Мінагрополітики України, 2005. – 90 с.

10. Мишуров Н.П. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях / Н.П. Мишуров, Т. Н. Кузьмина // Научно -аналитический обзор. – М.: ФГНУ „Росинформагротех“, 2004. – 106 с.
11. Раяк М. Б. Анализ результатов испытаний рекуперативных теплообменников / М. Б. Раяк, В. А. Шмидт, Е. Е. Карпис, В. И. Прохоров, Б. И. Макаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981.–№4. – С.20 – 23.
12. Харитонович М. В. Энергетическая оценка теплообменников в системах вентиляции ферм / М. В. Харитонович // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1980. – №9. – С. 15 – 18.
13. Соколов А. Г. Работоспособность рекуперативных теплообменников при низких наружных температурах / А. Г. Соколов // Исследование машин и оборудования для механизации свиноводства. Сборник научных трудов. / Всероссийский научно – исследовательский и проектно-технологический институт животноводства. Подольск. – 1988. – С.99 – 103.
14. Ходченко Н. К. Утилизация теплоты удаляемого воздуха на фермах / Н. К. Ходченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – №4. – С. 18 – 20.
15. Рекомендации по расчету и проектированию систем обеспечения микроклимата животноводческих и птицеводческих зданий при новом строительстве и реконструкции с учетом экономии топливно-энергетических ресурсов. – К.: УкрНИИагропроект. 1986. – 82 с.
16. Рекомендации по расчету и проектированию систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений с утилизацией теплоты выбросного воздуха [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293845/4293845766.htm>.
17. Патент на винахід 86504 Україна. Спосіб утилізації теплоти вентиляційних викидів тварин-

ницьких приміщень в холодний період року / Герасимчук Ю. В., Гірченко М. Т., Довбненко О. Ф.; Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства». – №200708648, заявл. 27.07.2007, опубл. 27.04.2009, бюл. №8.

18. Герасимчук Ю. В. Енергоощадний спосіб створення нормативного повітряного середовища в тваринницьких і птахівничих приміщеннях / Ю. В. Герасимчук, О. Ф. Довбненко // Механізація та електрифікація сільського господарства // Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – Глеваха, 2009. – Вип. 93 – С. 310-318.

19. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения: ГОСТ 8.524-85. – [Чинний від 1986-07-01]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 34 с.

20. Герасимчук Ю. В. Визначення температури обмерзання теплообмінної поверхні рекуперативних теплоутилізаторів вентиляційних викидів тваринницьких приміщень / Ю. В. Герасимчук // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2015. – Випуск №1 (100)/[ІНЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, С.137 – 145.

21. Герасимчук Ю. В. Математична модель рекуперативного теплоутилізатора вентиляційних викидів тваринницьких приміщень / Ю. В. Герасимчук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК» / Редкол.: Д. О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. – Вип. 194. ч.2 – С. 93. – 100.

## References

1. Korchemny M. O. Enerhozberezhennya v ahropromyslovomu kompleksi / M. O. Korchemny, V. S. Fedoreyko, V. P. Shcherban. – Ternopil': Pidruchnyky i posibnyky, 2001. – 984 s.

2. Boltyanska N. I. Shlyakhy enerhozberezhennya pry zabezpechenni mikroklimatu na ptakhivnychkykh fermakh / N. I. Boltyanska, O. V. Boltyanskyy // Pratsi TDATU. – Melitopo, 2001. – Vyp. 13. T. 3 – S.18 – 25.

3. Hladka A. B. Tekhnolohiyi yak osnova pidvyshchennya efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva / A. B. Hladka // Ptakhivnytstvo: Mizhvidomch. temat. nauk. zb./ IP UAAN. – Kharkiv, 2008. – Vyp. 62.- 425 s.

4. Enerhetychna stratehiya Ukrainy na period do 2030 roku / Shkvalena rozporядzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24 lyunya 2013 № 1071-r. [Elektronnyy resurs].– Rezhym dostupu: // <http://dotsument.ua/energetichna-strategija-ukrayini-na-period-do-2030-r.-dots195024.html>.

5. Adamchuk V. V. Naukove zabezpechennya efektyvnoho zastosuvannya elektrychnoyi enerhiyi v tekhnolohichnykh protsesakh ahropromyslovoho vyrobnytstva / V. V. Adamchuk, V. F. Petrychenko, V.

H. Myronenko, Yu. V. Herasymchuk // Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya silskoho hospodarstva // Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk. – Hlevakha, 2014. – Vyp. 99. T.1 – S. 14 – 33.

6. Adamovsky R. Yspolzovanye vtorychnoy teploty ventilyatsyonnoho vozdukha dlya obohreva pomeshcheny v zhyvotnovodstve / R. Adamovsky, D. Adamovsky // Mekhanyzatsyya y elektryfikatsyya sel'skoho khozyaystva. – 2004. – №6. – S. 16-17.

7. Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannya. Skotarski pidpryyemstva (kompleksy, fermy, mali fermy): VNTP-APK-01.05. – K.: Minahropolityky Ukrainy, 2005. – 112 s.

8. Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannya. Svyinarski pidpryyemstva (kompleksy, fermy, mali fermy): VNTP-APK-02.05. – K.: Minahropolityky Ukrainy, 2005. – 98 s.

9. Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannya. Pidpryyemstva ptakhivnytstva: VNTP-APK-04.05. – K.: Minahropolityky Ukrainy, 2005. – 90 s.

10. Myshurov N.P. Enerhosberehayushchee oborudovanye dlya obespechenyya mykroklymata v zhyvotnovodcheskykh pomeshchenyakh / N.P. Myshurov, T. N. Kuz'myna // Nauchno -analytycheskyy obzor. – M.: FHNU „Rosynformahrotekh“, 2004. – 106 s.

11. Rayak M. B. Analiz rezultatov yspytany rekuperatyvnykh teploobmennykov / M. B. Rayak, V. A. Shmydt, E. E. Karpys, V. Y. Prokhorov, B. Y. Makarov // Mekhanyzatsyya y elektryfikatsyya sel'skoho khozyaystva. – 1981.– №4. – S.20 – 23.

12. Kharytonovych M. V. Enerhetycheskaya otsenka teploobmennykov v systemakh ventilyatsyy ferm / M. V. Kharytonovych // Mekhanyzatsyya y elektryfikatsyya sel'skoho khozyaystva. – 1980. – №9. – S. 15 – 18.

13. Sokolov A. H. Rabotosposobnost rekuperatyvnykh teploobmennykov pry nyzkykh naruzhnykh temperaturakh / A. H. Sokolov // Yssledovanye mashyn y oborudovannya dlya mekhanyzatsyy svynovodstva. Sbornyk nauchnykh trudov. / Vserossyyskyy nauchno – yssledovatel'skyy y proektno-tekhnolohicheskyy ynstytut zhyvotnovodstva. Podolsk. – 1988. – S.99 – 103.

14. Khodchenko N. K. Utylyzatsyya teplotu udalyaemoho vozdukha na fermakh / N. K. Khodchenko // Mekhanyzatsyya y elektryfikatsyya sel'skoho khozyaystva. – 1981. – №4. – S. 18 – 20.

15. Rekomendatsyy po raschetu y proektyrovanyu system obespechenyya mykroklymata zhyvotnovodcheskykh y pytsevodcheskykh zdanyy pry novom stroytel'stve y rekonstruktsyy s uchedom ekonomyy toplyvno-enerhetycheskykh resursov. – K.: UkrNYAhroproekt. 1986. – 82 s.

16. Rekomendatsyy po raschetu y proektyrovanyu system obespechenyya mykroklymata zhyvotnovodcheskykh pomeshcheny s utylyzatsyyey teploty vybrosoho vozdukha [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: // <http://www.gostrf.tsom/normadata/1/4293845/4293845766.htm>.

17. Patent na vynakhid 86504 Ukrayina. Spisib utylizatsiyi teploty ventilyatsiynykh vykydiv tvarynnytskykh prymishchen v kholodnyy period roku/ Herasymchuk Yu. V., Hirchenko M. T., Dovbnenko O. F.; Natsionalnyy naukovyy tsentr «Instytut mekhanizatsiyi ta elektryfikatsiyi silskoho hospodarstva». - №200708648, zayavl. 27.07.2007, opubl. 27.04.2009, byul. №8.

18. Herasymchuk Yu. V. Enerhooschadnyy spisib stvorenniya normatyvnoho povitryanoho seredovyscha v tvarynnytskykh i ptakhivnychkykh prymishchennyakh / Yu. V. Herasymchuk, O. F. Dovbnenko // Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya silskoho hospodarstva // Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk. - Hlevakha, 2009. - Vyp. 93 - S. 310-318.

19. Tablytsy psikhrometrycheskye. Postroyeniye, sodержanye, raschetnye sootnosheniya: HOST 8.524-85. - [Chynnyy vid 1986-07-01]. - M.: Hosudarstvennyy komitet SSSR po standartam, 1985. - 34 s.

20. Herasymchuk Yu. V. Vyznachenniya temperatury obmerzannya teploobminnoyi poverkhnii rekuperatyvnykh teploutylizatoriv ventilyatsiynykh vykydiv tvarynnytskykh prymishchen / Yu. V. Herasymchuk // Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya silskoho hospodarstva: [zahalnodierzhavnyy zbirnyk]. - 2015. - Vypusk №1 (100)/[NNT «IMESH»]. - Hlevakha, - S.137 - 145.

21. Herasymchuk Yu. V. Matematychna model rekuperatyvnoho teploutylizatora ventilyatsiynykh vykydiv tvarynnytskykh prymishchen / Yu. V. Herasymchuk // Naukovyy visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannyaUkrayiny. Seriya «Tekhnika ta enerhetyka APK» / Redkol.: D. O. Melnychuk (vidp. red.) ta in. - K.: VTs NUBiP Ukrayiny, 2014. - Vyp. 194. Ch.2 - S. 93. - 100.

## References

1. Korchemnyy M.O. Energy conservation in agriculture / MO Korchemnyy, VS Fedoreyko, VP Shcherban. - Ternopil: Textbooks and manuals, 2001. - 984 p.

2. Boltyanska N.I. Ways energy savings while ensuring the microclimate in poultry farms / N.I. Boltyanska, A.V. Boltyanskyy // Proceedings Livestock State Agrotechnology University. - Melitopol, 2001. - Vol. 13. T. 3 - P.18 - 25.

3. Smooth Technology A.B. as a basis for improving the efficiency of agricultural production / A.B. Smooth // Poultry, interagency. temat. Science. Coll. / IP UAAS. - Kharkiv, 2008. - Vol. 62. - 425 p.

4. Energy Strategy of Ukraine until 2030 / Approved by Cabinet Ministers of Ukraine dated July 24, 2013 № 1071-p. [Electronic resource] .- Access: // <http://document.ua/energetichna-strategija-ukrayini-na-period-do-2030-r.-doc195024.html>.

5. V. Adamchuk Scientific ensure efficient use of electricity in manufacturing processes agroindustrial production / V.V. Adamchuk, Petrychenko V.F., V.G. Mironenko, Yu. Gerasymchuk // Mechanization and electrification of agriculture // Interdepartmental thematic

scientific collection. - Glevakha, 2014. - Vol. 99. Vol.1 - P. 14 - 33.

6. Adamovskaya R. Using a secondary heat ventilation air for heating in animal / P. Adamova, D. Adamovskaya // Mechanization and electrification of agriculture. - 2004. - №6. - P.16-17.

7. Departmental rules technological design. Ranching enterprise (buildings, farms, small farms): VNTP-AIC-01.05. - K.: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 2005. - 112 p.

8. Ddepartmental rules technological design. Pig-breeding enterprises (buildings, farms, small farms): VNTP-AIC-02.05. - K.: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 2005. - 98 p.

9. Departmental rules technological design. Poultry Enterprises: VNTP-AIC-04.05.

- K.: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 2005. - 90 p.

10. Mishurov N.P. Energy-saving equipment to provide the microclimate in livestock buildings / N.P. Tinsel, T.N. Kuzmin // Scientific an analytic review. - M.: Federal State "Rosinformagroteh", 2004. - 106 p.

10. Mishurov N.P. Energy-saving equipment to provide the microclimate in livestock buildings / N.P. Tinsel, T.N. Kuzmin // Scientific an analytic review. - M.: Federal State "Rosinformagroteh", 2004. - 106 p.

11. Rayak M.B. Analysis of test results recuperative heat exchanger / M.B. Rayak, V.A. Schmidt, E.E. Karpis, Prokhorov V.I., B.I. Makarov // Mechanization and electrification of agriculture. - 1981. - №4. - P.20 - 23.

12. Kharitonovich M.V. Power estimation of heat exchangers in the ventilation systems of farms / MV Kharitonovich // Mechanization and electrification of agriculture. - 1980. - №9. - P. 15 - 18.

13. Sokolov A.G. Efficiency recuperative heat exchanger at low outdoor temperatures / A.G. Sokolov // Study of machines and equipment for mechanization of pig. Collection of scientific papers. / All - Russian Scientific Research and Design and Technology Institute of Animal Husbandry. Podolsk. - 1988. - P.99 - 103.

14. Khodchenko N.K. Heat recovery exhaust air in the Farms / N.K. Khodchenko // Mechanization and electrification of agriculture. - 1981. - №4. - P. 18 - 20.

15. Recommendations for the calculation and design of software systems microclimate of livestock and poultry buildings in new construction and renovation, taking into account the saving of fuel and energy resources. - K.: UkrNIlagroproekt. 1986. - 82 p.

16. Guidelines for calculation and design software microclimate of livestock buildings with heat recovery exhaust air systems [Electron resource]. - Access mode: // <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293845/4293845766.html>

17. A patent for invention 86504 Ukraine. The method of recycling heat ventilation exhausts livestock buildings in the cold season / Gerasymchuk Yu, Hirchenko M.T., Dovbnenko A. F.; National Scientific Center "Institute of mechanization and electrification of



agriculture." - №200708648, appl. 27.07.2007, publ. 27.04.2009, Bull. №8.

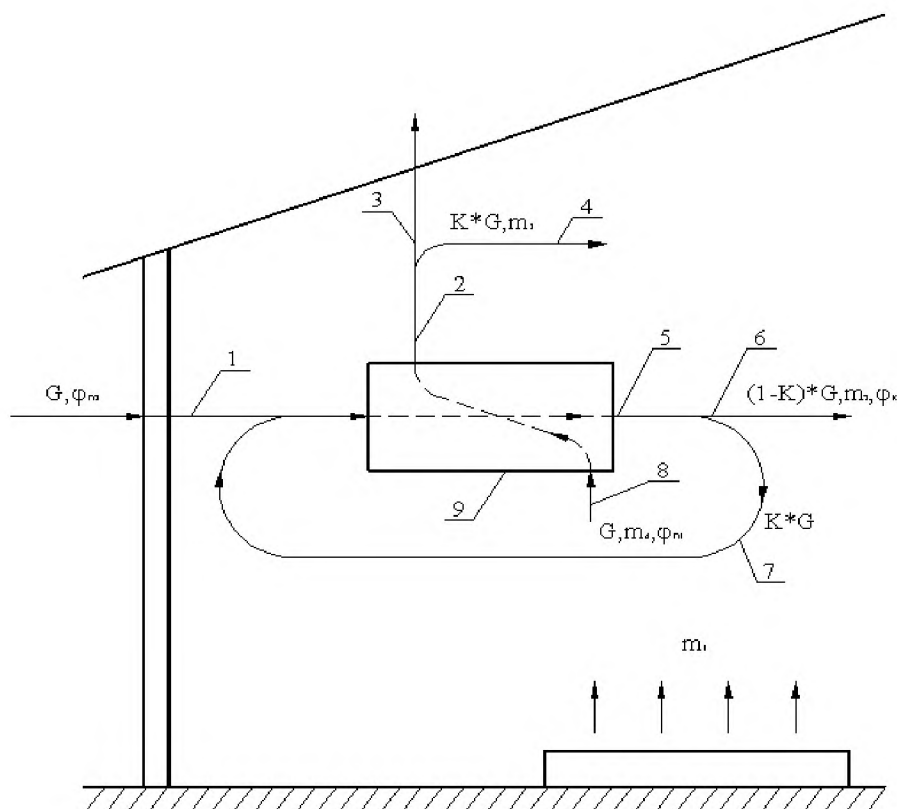
18. Gerasymchuk Yu. Energy-saving way to create a regulatory environment air in livestock and poultry premises / V. Gerasymchuk, A.F. Dovbnenko // Mechanization and electrification of agriculture // Interdepartmental thematic scientific collection. - Glevakha, 2009. - Vol. 93 - P. 310-318.

19. Psychrometric tables. Construction, maintenance, design relations: to GOST 8.524-85. - [Chinny od 07.01.1986]. - M.: USSR State Committee on Standards, 1985. - 34 p.

20. Gerasymchuk V. Definition icing heat transfer

surface temperature recuperative heat recovery units ventilation exhausts livestock buildings / V. Gerasymchuk // Mechanization and electrification of agriculture [nationwide collection]. - 2015. - Issue №1 (100) / [NSC "IAEE"]. - P.137 - 145.

21. Gerasymchuk V. Mathematical model of regenerative heat utilizers ventilation exhausts livestock buildings / Gerasymchuk V. // Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. A series of "Technology and Energy APC" / Redkol.: D.A. Melnychuk (ed. Ed.) And others. - K.: CC NUBiP Ukraine, 2014. - Vol. 194. Part 2 - S. 93 - 100.



**Рис.1.** Потоки повітря і водяних парів в тваринницькому приміщенні при застосуванні рекуперативних теплоутилізаторів вентиляційних викидів з захистом від обмерзання теплообмінної поверх:

1 – в припливні канали теплоутилізатора; 2 – з викидних каналів теплоутилізатора; 3 – з викидних каналів в зовнішнє середовище; 4 – з викидних каналів на рециркуляцію; 5 – з припливних каналів; 6 – з припливних каналів в приміщення; 7 – з виходу припливних каналів для підігріву припливного повітря; 8 – з приміщення у викидні канали; 9 – рекуперативний теплоутилізатор

**Fig. 1.** The flows of air and water vapor in the livestock buildings when using recuperative heat recovery units with ventilation exhausts heat exchange with protection from icing heat exchange floor:

1 - in tidal channels of the heat utilizers; 2 - with exhaust heat utilizers channels; 3 - from exhaust channels into the environment; 4 - with the exhaust channels for recycling; 5 - with tidal channels; 6 - with tidal channels in the room; 7 - from output of tidal channels for heating the supply air; 8 - with room in miscarriages channels; 9 - recuperative heat recovery units

## ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ, ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 631.3:528.8:681.518

### СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЛОКАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА

**В. Г. Мироненко**, д.т.н., проф. E-mail: [mironenko1952@ukr.net](mailto:mironenko1952@ukr.net) тел: +380973344198

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України

**О. О. Броварець**, к.т.н. - Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Мета.** Технічне забезпечення локально-стрічкового диференційованого внесення мінеральних добрив на основі оперативного моніторингу варіабельності параметрів сільськогосподарського поля.

**Методи.** Аналіз сучасних методів моніторингу стану ґрунту. Синтез технічних засобів для оперативного моніторингу ґрунту на основі даних реєстрації електропровідних властивостей ґрунту сенсор-електродами. Математичне моделювання процесу аналого-цифрового перетворення сигналу сенсор-електродів щодо електропровідних властивостей ґрунту.

**Результати.** Модель технічної системи оперативного моніторингу електропровідних влас-

тивостей ґрунтового середовища. Класифікація аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів інформації.

**Висновки.** Технічні засоби диференційного внесення мінеральних добрив на основі даних моніторингу фізико-механічного та агробіологічного стану ґрунтового та рослинного середовища дозволяють зекономити 10-25% технологічного матеріалу за умови підвищення урожайності сільськогосподарських культур.

**Ключові слова:** агротехнології, диференційне внесення добрив, оперативний моніторинг, перетворювачі сигналів, технічні системи.

UDC 631.3:528.8:681.518

### STRUCTURAL-FUNCTIONAL SCHEME OF THE MONITORING SYSTEM OF ELECTRO- TECHNICAL PROPERTIES OF THE LOCAL SOIL ENVIRONMENT

**V. G. Mironenko**, Doc. tech. Sciences, Prof. E-mail: [mironenko1952@ukr.net](mailto:mironenko1952@ukr.net)

tel: +380973344198

NSC «IAEE» of NAAS of Ukraine

**O. O. Brovarec**, PhD. tech. Sciences - National University of Life and Environmental sciences of Ukraine

#### SUMMARY

**The purpose.** Technical support of locally-belt differentiated fertilization based on on-line monitoring parameters variability of an agricultural field.

**Methods.** Analysis of modern methods of monitoring the condition of the soil. The synthesis of technical means for operational monitoring of soils based on soil properties of conducting the registration

sensor-electrodes. Mathematical modeling of the process of analog-to-digital conversion of the signal sensor electrodes for electro-soil properties.

**Results.** Model of technical system for operational monitoring of electrically conductive properties of the soil environment. Classification of analog-to-digital and digital-to-analog converters.

**Conclusions.** Technical means of differentiated fertilization based on the monitoring data of