

*be separated from the electric current generation. Electric windmills must be equipped with compressors.*

*The emission of ventilation systems of mines, factories, subways, sewerage systems, and animal farms, the heat of the Earth, Sun, methane hydrate, as well as the energy of surface waves and thunderstorms can be included into the cycle of electric energy production .*

*Renewable energy mains can serve in the capacity of peak power stations and become the fundamental notion in Energetics.*

**Key words:** *Intermediate energy carrier, compressor, new sources*

УДК 631.3:628.8

## КІНЕТИКА КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ ЗА ЕНЕРГООЩАДНОГО СПОСОБУ СТВОРЕННЯ НОРМАТИВНОГО ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Ю.В.Герасимчук, канд. техн. наук  
ННЦ "ІМЕСГ"

---

*Запропоновано методичний підхід щодо визначення кінетики концентрації шкідливих газів за енергоощадного способу створення нормативного повітряного середовища тваринницьких приміщень на базі рекуперативних теплоутилізаторів вентиляційних викидів.*

**Ключові слова:** *повітряне середовище, тваринницькі приміщення, кінетика концентрації шкідливих газів.*

---

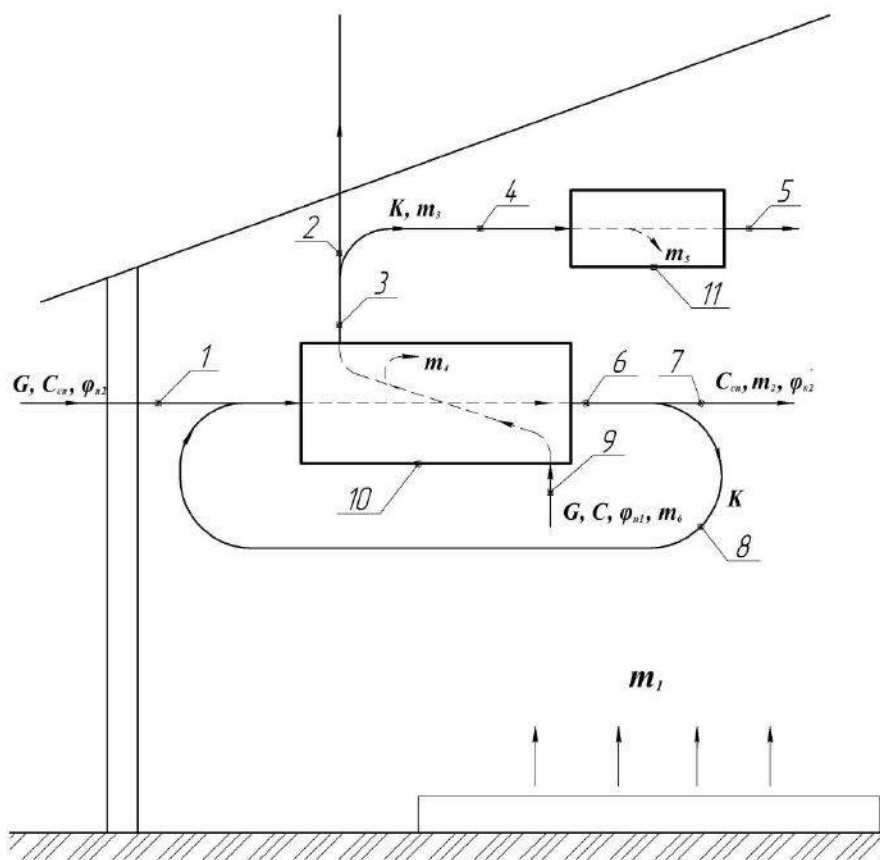
**Проблема.** Переведення на промислові методи виробництва продукції тваринництва і птахівництва зумовило необхідність вирішення двох великих проблем. Одна з них пов'язана з забезпеченням у виробничих приміщеннях нормативного повітряного середовища, що спричиняє в холодний і перехідний пори року збільшення частки енергозатрат ферм до 60%. Друга проблема стосується захисту довкілля від забруднення відходами і викидами із тваринницьких приміщень. Перспективні методи вирішення цих проблем базуються на використанні теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного пові-

тря та зменшення його подачі за рахунок видалення шкідливих газів з повітряного середовища приміщень. При цьому кінетика концентрації шкідливих газів у приміщеннях для утримання тварин і птиці необхідна для оцінки досконалості процесу створення нормативного повітряного середовища, та при обґрунтуванні режимів роботи енергоощадних засобів, які використовуються для формування такого середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Усталена концентрація шкідливих газів у тваринницьких приміщеннях визначається з урахуванням повітрообміну приміщення, інтенсивності надходження шкідливих газів від тварин чи птиці та концентрації шкідливих газів у припливному повітрі [1]. Але відсутні методики визначення кінетики концентрації шкідливих газів навіть для енергозберігаючих систем забезпечення мікроклімату тваринницьких приміщень [2-5], які базуються на видаленні таких газів електрофізичними методами та з використанням відповідних хімічних розчинів. Отже, розроблення методичних підходів для визначення кінетики концентрації шкідливих газів при застосуванні енергоощадних способів створення нормативних параметрів повітряного середовища в тваринницьких приміщеннях є задачею важливою і актуальною.

**Мета досліджень** – отримання кінетики концентрації шкідливих газів при застосуванні енергоощадного способу створення нормативних параметрів повітряного середовища в тваринницьких і птахівничих приміщеннях.

**Результати досліджень.** Розроблений енергоощадний спосіб створення мікроклімату тваринницьких приміщень у холодний і перехідний пори року [6] базується на комплексному використанні утилізації теплоти вентиляційних викидів та зменшення подачі припливного повітря в залежності від його температури. При цьому, скорочення енергозатрат досягається як за рахунок використання теплоти вентиляційних викидів, так і за рахунок рециркуляції викидного повітря. Для реалізації способу використовується рекуперативний теплоутилізатор. Захист від обмерзання теплообмінної поверхні 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,



**Рис. 1.** Поток шкідливих газів енергоощадного способу створення нормативного повітряного середовища в тваринницьких приміщеннях: 1 – в припливні канали теплоутилізатора; 2 – з приміщення; 3 – з викидних каналів теплоутилізатора; 4 – на рециркуляцію; 5 – в приміщення після очищення; 6 – з припливних каналів теплоутилізатора; 7 – з припливних каналів, що направляються в приміщення; 8 – з виходу припливних каналів теплоутилізатора, що направляються на вхід припливних каналів; 9 – у викидні канали теплоутилізатора; 10 – рекуперативний теплоутилізатор; 11 – очищувач повітря від шкідливих газів

подача холодного припливного повітря зменшується при зниженні температури зовнішнього повітря, а рекуперативний теплоутилізатор при температурах зовнішнього повітря, менших температури обмерзання теплообмінної поверхні, виконує ще й функції осушувача повітря в приміщенні.

Шкідливі гази, а це аміак, вуглекислий газ, сірководень присутні майже у всіх повітряних потоках. З урахуванням джерел надходження і напрямів цих повітряних потоків розроблена схема руху шкідливих газів, яка приведена на рис. 1. Як випливає з рисунка, шкідливі гази поступають у приміщення від тварин чи птиці,  $m_1$ , з припливним повітрям (крім аміаку і сірководню),  $m_2$ , та з потоком рециркуляційного повітря,  $m_3$ , а видаляються з приміщення через викидні канали теплоутилізатора,  $m_6$ , при конденсації водяної пари на теплообмінній поверхні теплоутилізатора,  $m_4$ , і очищувачем повітря,  $m_5$ . Аналіз надходжень і видалень шкідливих газів при реалізації енергоощадного способу створення нормативного повітряного середовища показує, що їх концентрація в приміщенні залежить від температури припливного повітря, параметрів теплоутилізатора та інтенсивності видалення очищувачем. Тому для отримання кінетики їх концентрації необхідно скласти диференційне рівняння матеріального балансу надходжень і видалень. Для схеми, приведеної на рис. 1, за елементарний проміжок часу  $d\tau$ , год, матеріальний баланс шкідливих газів має такий вигляд:

$$dm = dm_1 + dm_2 + dm_3 - dm_4 - dm_5 - dm_6, \quad (1)$$

де  $dm$  – зміна кількості шкідливого газу у тваринницькому чи птахівницькому приміщенні, кг;  $dm_1$  – зміна кількості шкідливого газу, що надходить у приміщення від тварин чи птиці й інших джерел, кг;  $dm_2$  – зміна кількості шкідливого газу, що надходить у приміщення з припливним повітрям, кг;  $dm_3$  – зміна кількості шкідливого газу, що направляєється у приміщення з потоком рециркуляційного повітря, кг;  $dm_4$  – зміна кількості шкідливого газу, що видаляється за рахунок конденсації водяної пари на теплообмінній поверхні рекуперативного теплоутилізатора, кг;  $dm_5$  – зміна кількості шкідливого газу, що видаляється з потоку рециркуляційного повітря очищувачем, кг;  $dm_6$  – зміна кількості шкідливого газу, що видаляється з приміщення через викидні канали теплоутилізатора, кг.

Зміна кількості шкідливого газу у тваринницькому чи птахівницькому приміщенні визначається за формулою:

$$dm = V \cdot dC, \quad (2)$$

де  $V$  – об'єм приміщення,  $m^3$ ;  $C$  – концентрація шкідливого газу у повітрі приміщення,  $кг/м^3$ .

Зміна кількості шкідливих газів, що надходять від тварин чи птиці та інших джерел, визначається за формулою:

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

де  $\Pi$  – швидкість надходження шкідливих газів у приміщення від тварин чи птиці та інших джерел,  $кг/год$ .

Зміна кількості шкідливого газу, що надходить у приміщення з припливним повітрям, коли його температура менша температури обмерзання теплообмінної поверхні теплоутилізатора, визначається за формулою:

$$dm_2 = \frac{(1 - K) \cdot G_{\text{ПП}} \cdot C_{\text{СП}}}{\rho_{\text{ПП}}} \cdot d\tau, \quad (4)$$

де  $K$  – частка підігрітого припливного повітря, яка поступає для змішування з потоком повітря на вході припливних каналів теплоутилізатора, визначається за формулою, наведеною в [6];  $G_{\text{ПП}}$  – подача повітря через припливні канали теплоутилізатора,  $кг/год$ ;  $C_{\text{СП}}$  – концентрація шкідливого газу в припливному повітрі (аміак, сірководень),  $кг/м^3$ ; (вуглекислий газ),  $л/м^3$ ;  $\rho_{\text{ПП}}$  – питома вага припливного повітря,  $кг/м^3$ .

Зміна кількості шкідливого газу, що направляєється у приміщення з потоком рециркуляційного повітря визначається за формулою:

$$dm_3 = \frac{K \cdot G_{\text{ВД}} \cdot C}{\rho_{\text{ВД}}} \cdot d\tau, \quad (5)$$

де  $G_{\text{ВД}}$  – подача повітря через викидні канали теплоутилізатора,  $кг/год$ ;  $\rho_{\text{ВД}}$  – питома вага викидного повітря,  $кг/м^3$ .

Зміна кількості шкідливого газу, що видаляється за рахунок конденсації водяної пари на теплообмінній поверхні рекуперативного теплоутилізатора, визначається за формулою:

$$dm_4 = \frac{K \cdot (1 - \frac{d_{\text{К1}}}{d_{\text{П1}}}) \cdot \gamma \cdot G_{\text{ВД}} \cdot C}{\rho_{\text{ВД}}} \cdot d\tau, \quad (6)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт зменшення концентрації шкідливого газу у викидному повітрі за рахунок конденсації водяної пари на теплообмінній

поверхні, відн. од.;  $d_{\text{ПР}}, d_{\text{КІ}}$  – вологовміст повітря на вході та виході викидних каналів теплоутилізатора, кг/кг;

Зміна кількості шкідливого газу, що видаляється з потоку рециркуляційного повітря очищувачем, визначається за формулою:

$$dm_5 = \frac{K \cdot \theta \cdot G_{\text{ВД}} \cdot C}{\rho_{\text{ВД}}} \cdot d\tau, \quad (7)$$

де  $\theta$  – коефіцієнт зменшення концентрації шкідливого газу з рециркуляційного потоку очищувачем повітря, відн. од.

Зміна кількості шкідливого газу, що видаляється з приміщення через викидні канали теплоутилізатора, визначається за формулою:

$$dm_6 = \frac{G_{\text{ВД}} \cdot C}{\rho_{\text{ВД}}} \cdot d\tau \quad (8)$$

Згідно рекомендацій [1] у практичних розрахунках приймається:

$$G_{\text{ПР}} = G_{\text{ВД}} = G_p, \quad (9)$$

де  $G_p$  – розрахунковий повітрообмін, який визначається згідно вимог нормативних документів, кг/год.

З урахуванням формул (2) – (8) і відповідних перетворень диференціальне рівняння (1) матеріального балансу надходжень і видалень шкідливого газу з тваринницького чи птахівничого приміщення має такий вигляд:

$$\frac{dC}{(1-K) \cdot G_p \cdot C_{\text{СН}} + \Pi \cdot \rho_{\text{ПР}} - \frac{C \cdot G_p [1 - K + K \cdot \theta + K \cdot \gamma \cdot (1 - \frac{d_{\text{КІ}}}{d_{\text{НІ}}})]}{V \cdot \rho_{\text{ВД}}}} = d\tau \quad (10)$$

Початкові умови для визначення постійної інтегрування диференційного рівняння (10) приймаються такими: при  $\tau = 0$ ,  $C = C_{\text{П}}$  де  $C_{\text{П}}$  – початкова концентрація шкідливого газу в тваринницькому чи птахівничому приміщенні, кг/м<sup>3</sup>. З урахуванням початкових умов кінетика концентрації шкідливих газів у тваринницькому приміщенні при реалізації енергоощадного способу створення нормативного повітряного середовища, отримана в такому вигляді:

$$C = \left( C_n - \frac{((1-K) \cdot G_p \cdot C_{сп} + \Pi \cdot \rho_{пп}) \cdot \rho_{вд}}{\left(1 - K + K \cdot \theta + K \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{d_{к1}}{d_{п1}}\right)\right) \cdot G_p \cdot \rho_{пп}} \right) \cdot \exp \left( -\tau \cdot \frac{\left(1 - K + K \cdot \theta + K \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{d_{к1}}{d_{п1}}\right)\right) \cdot G_p}{V \cdot \rho_{вд}} \right) + \frac{((1-K) \cdot G_p \cdot C_{сп} + \Pi \cdot \rho_{пп}) \cdot \rho_{вд}}{\left(1 - K + K \cdot \theta + K \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{d_{к1}}{d_{п1}}\right)\right) \cdot G_p \cdot \rho_{пп}} \quad (11)$$

В усталеному режимі, тобто при  $\tau = \infty$ , концентрація шкідливого газу в приміщенні має усталене значення,  $C_y$ , кг/м<sup>3</sup>. Для цього випадку з формули (11) знаходимо:

$$C_y = \frac{((1-K) \cdot G_p \cdot C_{сп} + \Pi \cdot \rho_{пп}) \cdot \rho_{вд}}{\left(1 - K + K \cdot \theta + K \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{d_{к1}}{d_{п1}}\right)\right) \cdot G_p \cdot \rho_{пп}} \quad (12)$$

Залежність (12) є рівнянням балансу шкідливого газу при температурах зовнішнього повітря, менших температури обмерзання теплообмінної поверхні. При температурах зовнішнього повітря, більших температури обмерзання теплообмінної поверхні, тобто при  $K = 0$ , залежність (12) аналогічна рівнянню балансу шкідливого газу з [1]. Отже, отримана залежність (11) є узагальнюючим рівнянням балансу шкідливого газу, тобто його кінетику, яка враховує вплив температури і відносної вологості в приміщенні і зовнішнього середовища, параметри засобів, які використовуються для створення нормативного повітряного середовища та режими їх роботи в тваринницькому приміщенні.

При використанні формул (11) і (12) для визначення концентрації конкретного шкідливого газу (вуглекислого газу, аміаку, сірководню) необхідно враховувати, як ці речовини реагують на дію електрофізичних факторів в очищувачах повітря, знешкоджуючих і дезінфікуючих речовин, хімічних засобів очищення, при конденсації водяної пари у викидних каналах теплоутилізатора тощо. Так, відомо, що вуглекислий газ погано розчиняється у воді, а надходження аміаку і сірководню з припливним повітрям незначне і його в більшості випадків можна не враховувати. Тоді, наприклад, залежності для визначення концентрації вуглекислого газу,  $C_{\text{co}_2}$ , л/м<sup>3</sup>, і аміаку,  $C_{\text{a}}$ , кг/м<sup>3</sup>, з урахуванням формули (12) матимуть такий вигляд:

$$C_{\text{вг}} = \frac{\left( (1-K) \cdot G_p \cdot C_{\text{СП}} + \Pi_{\text{вг}} \cdot \rho_{\text{ПР}} \right) \cdot \rho_{\text{ВД}}}{(1-K(1-\theta_{\text{вг}})) \cdot G_p \cdot \rho_{\text{ПР}}}, \quad (13)$$

$$C_a = \frac{\Pi_a \cdot \rho_{\text{ВД}}}{\left( 1-K + K \cdot \theta_a + K \cdot \gamma_a \cdot \left( 1 - \frac{d_{\text{К1}}}{d_{\text{П1}}} \right) \right) \cdot G_p}, \quad (14)$$

де  $\Pi_{\text{вг}}$  – швидкість надходження вуглекислого газу в приміщення від тварин чи птиці та інших джерел, л/год;  $\Pi_a$  – швидкість надходження аміаку в приміщення від тварин чи птиці та інших джерел, кг/год;  $\theta_{\text{вг}}$ ,  $\theta_a$  – коефіцієнти зменшення концентрації вуглекислого газу і аміаку, з рециркуляційного потоку очищувачем повітря, відн. од.;  $\gamma_a$  – коефіцієнти зменшення концентрації аміаку у викидному повітрі за рахунок конденсації водяної пари на теплообмінній поверхні, відн. од.

**Висновок.** Отримано аналітичну залежність для визначення кінетики концентрації шкідливих газів у тваринницьких приміщеннях, яку можна використовувати для оцінки досконалості процесу створення нормативного повітряного середовища енергоощадними засобами на базі рекуперативних теплоутилізаторів вентиляційних викидів та при обґрунтуванні режимів їх роботи.

### БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Рекомендации по расчету и проектированию систем обеспечения микроклимата животноводческих и птицеводческих зданий при новом строительстве и реконструкции с учетом экономии топливно-энергетических ресурсов:* УкрНИИАгропроект. – К., – 1986. – 82 с.
2. Самарин В. А., Макарова В. Г., Фомин В. Н., Самарин Г. Н., Сукиасян С. М. Энергосберегающая система оптимального микроклимата в животноводческих помещениях// *Техника в сельском хозяйстве.* – 2007. – №3. – С. 30,31.
3. *Сторчевой В. Ф.* Электроозонирование и ионизация воздушной среды как метод энергосбережения в птицеводстве// *Труды 4-й Международной научно-технической конференции.* Ч. 2. – М. – 2004. – С.313 – 314.
4. *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.



5. *Иванов Ю. А.* Направления научных исследований по механизации и автоматизации животноводства// Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – №1(9) – С. 10 – 18.
  6. *Патент* України 86504. Спосіб утилізації теплоти вентиляційних викидів тваринницьких приміщень у холодний період року. МПК F24F3/12/Герасимчук Ю.В., Гірченко М. Т., Довбненко О.Ф. Опубл. 27.04.2009.– Бюл. №8.
- 

**КИНЕТИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ГАЗОВ ПРИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА  
СОЗДАНИЯ НОРМАТИВНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В  
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

*Предложен методический подход относительно определения кинетики концентрации вредных газов при использовании энергосберегающего способа создания нормативной воздушной среды животноводческих помещений на базе рекуперативных теплоутилизаторов вентиляционных выбросов.*

**Ключевые слова:** *воздушная среда, животноводческие помещения, кинетика концентрации вредных газов.*

**KINETICS OF CONCENTRATION OF FOUL GASES WHEN USING  
ENERGY SAVING METHOD OF CREATION OF NORMATIVE AIR  
MEDIUM IN LIVESTOCK BUILDINGS**

*Offered is a methodical approach pertaining to the determination of kinetics of concentration of foul gases when using an energy saving method of creation of normative air medium in livestock buildings on the basis of recuperative heat exchangers of ventilation emissions.*

**Key words:** *air medium, livestock buildings, kinetics of concentration of foul gases.*