

Із графіків також видно, що результати розрахунку коефіцієнтів  $\varphi_e$  за вищевикладеною методикою для стрижнів, підсилених елементами із сталей звичайної міцності (параметр  $n = 0$ ), добре узгоджується з даними СНиП 11-23-81 (лінія 4). Розбіжності величин досягають значень до 5 % для стрижнів малих гнучкостей. Авторами складені графіки залежності коефіцієнта  $\varphi_e$  від умовної гнучкості стрижнів  $\lambda$  і для різних значень відносного ексцентриситету прикладення стискаючої сили  $N$ .

Використання вказаних графіків дає можливість виконувати розрахунки стійкості стрижнів за методикою СНиП 11-23-81. При цьому несучу здатність позацентрово-стиснутих підсилених стрижнів визначають за формулою

$$N_{кр} = \varphi_e \sigma_T A . \quad (3)$$

**Висновки.** 1. Розроблена методика критичної сили позацентрово-стиснутих сталевих стрижнів прямокутного поперечного перерізу, посилені елементами із сталей підвищеної міцності дає можливість їх розрахунку згідно з СНиП П-23-81 з використанням коефіцієнта з меншою несучою здатністю, визначеного за формулою (2) і графіків (рис. 2).

2. Для визначення несучої здатності посилені стиснутих сталевих стрижнів інших поперечних перерізів (крім прямокутного) необхідно здійснювати додаткові дослідження.

1. *Потапов В.Н., Егоров М.И. Механика деформирования строительной стали при одноосном растяжении // Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – № 5. – С. 56–60.*  
2. *Котів М.В. Повышение несущей способности внецентренно сжатых стальных стержней при реконструкции: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Львів, 1989. – 25 с.*  
3. *Бельский Г.Е, Гильдензон Л.А. К расчету стальных колон со сложным поперечным сечением // Строительная механика и расчет сооружений. – 1981. – № 6. – С. 68–73.*

УДК 631.22:697.92

**В.Й. Лабай, В.Ю. Ярослав**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання та вентиляції

## ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ПОКРИТТЯ

### З ПОДВІЙНИМ ПОВІТРЯНИМ ПРОШАРКОМ В ТЕПЛУ ПОРУ РОКУ

© Лабай В.Й., Ярослав В.Ю., 2004

Наведена методика інженерного розрахунку теплового режиму покриття з подвійним щільним повітряним прошарком у покритті сільськогосподарського будинку в теплу пору року.

**The paper presents the method of calculation of the thermal regime in the house roof, containing ventilated air space for summer season during the stationary heat transfer. The checking calculations were accomplished for ventilated air space in the house roof of a poultry house.**

**Постановка проблеми.** Мікроклімат приміщень для утримання тварин та птиці визначається цілим комплексом взаємопов'язаних факторів, з яких визначальним є температура навколишнього середовища. Температура повітря в сільськогосподарських приміщеннях значно впливає на теплообмін тварин та птиці. Порушення оптимальних температурних умов спричиняє дисбаланс у виробленні та віддачі тепла організмом тварин і птиці і, як наслідок, призводить до зростання захворювань, зменшення продуктивності. У нормах технологічного проектування сільськогосподарських приміщень зафіксовані вимоги до граничних температурних умов у приміщеннях. У теплу (літню)

пору року температура повітря в тваринницьких та птахівничих будинках не повинна перевищувати більше ніж на 5 °С розрахункову температуру для проектування вентиляції (середньомісячну температуру зовнішнього повітря о 13 год найгарячішого місяця), але при цьому не повинна бути вище 30 °С для свинарників, 28 °С – в приміщеннях для дорослої птиці та 33 °С – для курчат у віці до 10 днів [1, 2]. Допускається короткочасне підвищення температури до 33 °С не більше ніж на 4 год за добу в приміщеннях для утримання дорослої птиці.

З метою зниження температури повітря нижче від граничної застосовується охолодження повітря в системі вентиляції, а також певні об'ємно-планувальні заходи, скеровані на вдосконалення зовнішніх огорожувальних конструкцій та архітектурних вирішень цих будинків. Одним з можливих вирішень є використання подвійного вентилязованого повітряного прошарку, розташованого під конструкцією покриття сільськогосподарського будинку в міжбалковому просторі [3]. За розташування паралельно в подвійному вентилязованому повітряному прошарку каналів припливного та витяжного повітря в холодну пору року через загальну теплообмінну стінку утилізується значна частина тепла витяжного повітря і відбувається підігрівання припливного повітря перед роздаванням його в приміщення. Необхідно відзначити, що крім економії теплової енергії також збільшується і термін експлуатації сільськогосподарських будинків без внесення технічної теплоти в системи опалення і вентиляції, покращується мікроклімат приміщень. У той же час у літню пору року відбувається інтенсивне опромінювання покриття сонячною радіацією і, внаслідок цього, перегрівання верхнього каналу подвійного вентилязованого прошарку. Тому в цю пору витяжне повітря з приміщення слід подавати у верхній канал для зменшення перегрівання зовнішньої частини конструкції, а нижній канал перекривати заслінкою. Подача припливного повітря в приміщення в літню пору здійснюється окремою системою повітропроводів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методику розрахунку одинарних щілинних вентилязованих повітряних прошарків розглядали в багатьох роботах [4, 5, 6]. Алгоритм розрахунку подвійного вентилязованого повітряного прошарку в покритті в холодну пору року в умовах стаціонарної теплопередачі наводиться в роботі [7]. Але слід зауважити, що використання громіздких залежностей, наведених в роботі [7], значно ускладнює задачу розрахунку.

Тому метою цієї роботи є розроблення методики простого інженерного розрахунку подвійного щілинного вентилязованого повітряного прошарку в покритті сільськогосподарського будинку в теплу пору року.

**Методика розрахунку.** Переріз конструкції покриття з розташованим під ним, в міжбалковому просторі, подвійним щілинним вентилязованим повітряним прошарком, показаний на рисунку. У верхній канал надходить витяжне повітря з приміщення, а нижній канал в теплу пору року перекривається заслінкою.

Розглянемо стаціонарну теплопередачу для конструкції подвійного вентилязованого повітряного прошарку в покритті, через який безперервно продувається витяжне повітря у верхньому каналі.

Рівняння теплових балансів на одиницю площі покриття можна записати у вигляді

– для каналу витяжного повітря

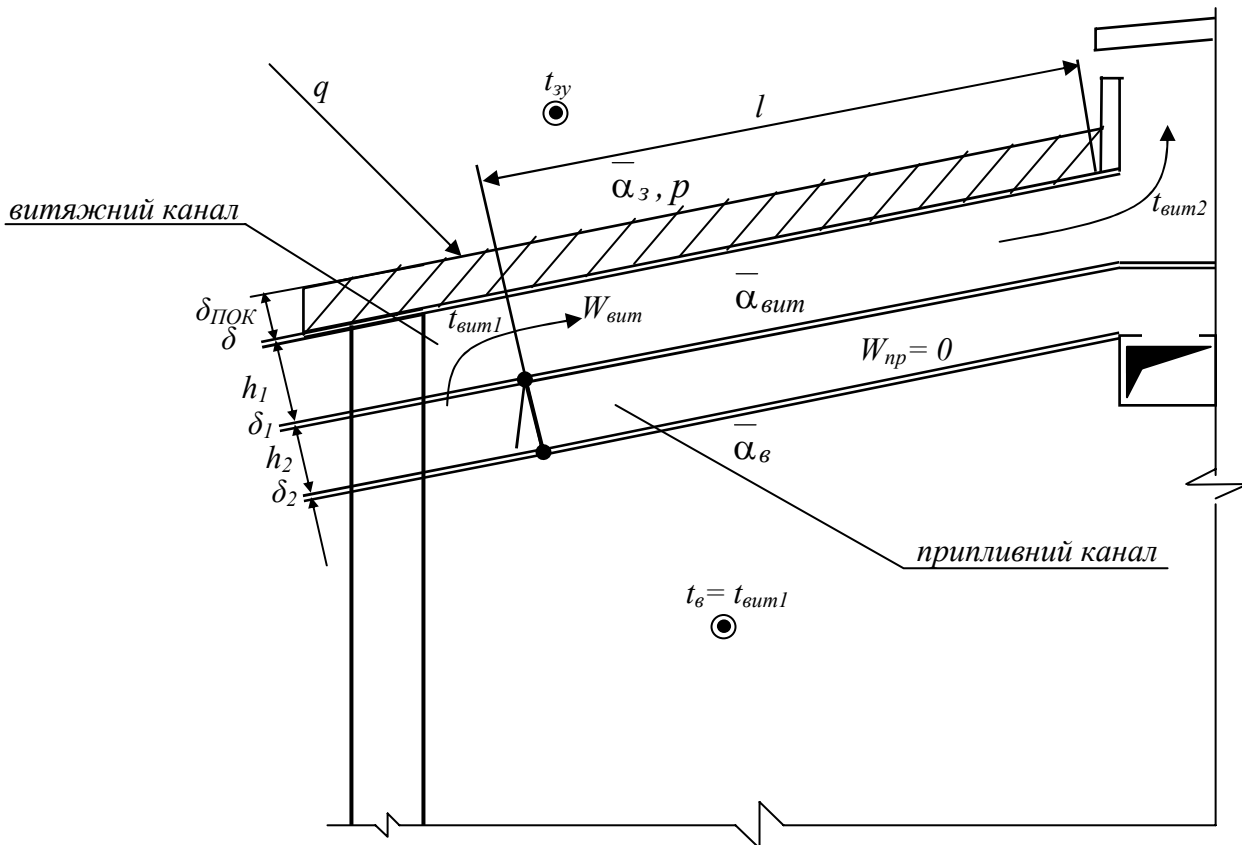
$$\bar{q} = \frac{h_1}{l} \cdot w_{\text{ВИТ}} \cdot \rho_{\text{ПОВ}}^{\text{ВИТ}} \cdot c_{\text{ПОВ}}^{\text{ВИТ}} \cdot (t_{\text{ВИТ}2} - t_{\text{ВИТ}1}) + k_{\text{ПР}} \cdot (\bar{t}_{\text{ВИТ}} - t_{\text{В}}); \quad (1)$$

$$\bar{q} = k_{\text{ПОК}} \cdot (t_{\text{ЗУ}} - \bar{t}_{\text{ВИТ}}), \quad (2)$$

де  $\bar{q}$  – питомий тепловий потік, який надходить до витяжного каналу, Вт/м<sup>2</sup>;  $h_1$  – висота витяжного каналу, м;  $h_2$  – висота припливного каналу, м;  $l$  – довжина подвійного вентилязованого повітряного прошарку в напрямку руху повітря, м;  $w_{\text{ВИТ}}$  – швидкість руху повітря у витяжному каналі, м/с;  $\rho_{\text{ПОВ}}^{\text{ВИТ}}$  – густина повітря в каналі витяжного повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $c_{\text{ПОВ}}^{\text{ВИТ}}$  – теплоємність повітря в каналі витяжного повітря, кДж/(кг·К);  $t_{\text{ВИТ}1}$ ,  $t_{\text{ВИТ}2}$  – температури витяжного повітря на початку та в кінці каналу, °С;  $t_{\text{В}}$  – розрахункова температура внутрішнього повітря в приміщенні будинку, °С;  $\bar{t}_{\text{ВИТ}}$  –

середня температура витяжного повітря в каналі, °С, якщо  $t_{\text{вит1}} = t_{\text{в}}$ , тоді  $\bar{t}_{\text{вит}} = t_{\text{в}} + 0,5\Delta t_{\text{вит}}$ ,  $\Delta t_{\text{вит}} = t_{\text{вит2}} - t_{\text{вит1}}$ , °С;  $t_{\text{зу}}$  – умовна температура зовнішнього повітря, °С, яка враховує вплив сонячної радіації [4];  $k_{\text{пок}}$ ,  $k_{\text{пр}}$  – коефіцієнти теплопередачі, відповідно, верхньої частини покриття між зовнішнім середовищем та витяжним каналом та нижньої частини покриття між витяжним каналом та приміщенням будинку, Вт/(м<sup>2</sup>·К), які визначаються за формулами

$$k_{\text{пок}} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{\alpha}_3} + \frac{\delta_{\text{пок}}}{\lambda_{\text{пок}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\bar{\alpha}_{\text{вит}}}}; \quad (3)$$



Переріз конструкції покриття з подвійним вентиляльованим повітряним прошарком

$$k_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{\alpha}_{\text{вит}}} + \frac{\delta_1}{\lambda} + \frac{h_2}{\lambda_{\text{пов}}} + \frac{\delta_2}{\lambda} + \frac{1}{\bar{\alpha}_{\text{в}}}}, \quad (4)$$

де  $\bar{\alpha}_{\text{вит}}$  – середній коефіцієнт тепловіддачі у витяжному каналі повітряного прошарку, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\bar{\alpha}_3$ ,  $\bar{\alpha}_{\text{в}}$  – середні коефіцієнти тепловіддачі, відповідно, на зовнішній та внутрішній поверхнях конструкції покриття,  $\bar{\alpha}_{\text{в}} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) [6];  $\delta_{\text{пок}}$ ,  $\delta$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – товщини конструктивних шарів у покритті та подвійному вентиляльованому повітряному прошарку, м;  $\lambda_{\text{пок}}$ ,  $\lambda$  – коефіцієнти теплопровідності конструктивних шарів, Вт/(м·К) [8].

Для визначення величин  $\bar{\alpha}_{\text{вит}}$  за перехідного режиму течії повітря в каналах вентиляльованого прошарку ( $2300 < Re < 10000$ ) скористаємося залежністю [9]

$$\bar{Nu} = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}, \quad (5)$$

де  $Re$  – число Рейнольдса,  $Re = \frac{w \cdot d_e}{\nu}$ ,  $w$  – швидкість повітря в каналах вентилязованого прошарку;

$d_e$  – еквівалентний діаметр поперечного перерізу каналу, м,  $d_e = \frac{2hb}{h+b}$ , де  $h$ ,  $b$  – розміри поперечного перерізу каналу, м;  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м<sup>2</sup>/с, за емпіричною формулою  $\nu_{\text{пов}} = (13,59 + 0,088 \cdot t_{\text{пов}}) \cdot 10^{-6}$ ;  $Pr$  – число Прандтля, для повітря  $Pr = 0,72$ .

Значення  $\bar{\alpha}_{\text{виг}}$  можна визначити з формули

$$\bar{Nu} = \frac{\bar{\alpha} \cdot d_e}{\lambda_{\text{пов}}}, \quad (6)$$

де  $\lambda_{\text{пов}}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, за емпіричною формулою

$$\lambda_{\text{пов}} = (2,43 + 0,0078 \cdot t_{\text{пов}}) \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Відповідно

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{Nu} \cdot \lambda_{\text{пов}}}{d_e}. \quad (7)$$

Середнє значення умовної температури зовнішнього повітря, °С, визначається за формулою [4]

$$t_{3y} = t_3 + \Delta t_{\text{с.р}} = t_3 + \frac{p \cdot q}{\bar{\alpha}_3}, \quad (8)$$

де  $t_3$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування системи вентиляції в теплу пору року, наприклад, середньомісячна температура зовнішнього повітря в 13 год найгарячішого місяця (категорія А), °С;  $\Delta t_{\text{с.р}}$  – температурна добавка, яка еквівалентна дії сонячної радіації, °С;  $p$  – коефіцієнт поглинання тепла сонячної радіації поверхнею огороження, визначається за даними [4];  $q$  – середньодобова інтенсивність сумарної сонячної радіації, Вт/м<sup>2</sup>, визначається згідно з кліматичними даними.

Розрахункову температуру повітря  $t_B$  в приміщеннях з незначними надлишками тепла можна встановити на 3°С вище від розрахункової температури зовнішнього повітря  $t_3$ .

Розрахункові перепади температур у формулах (1, 2) тепер можна подати як

$$\bar{t}_{\text{виг}} - t_B = t_B + 0,5\Delta t_{\text{виг}} - t_B = 0,5\Delta t_{\text{виг}} \text{ } ^\circ\text{С}; \quad (9)$$

$$t_{3y} - \bar{t}_{\text{виг}} = t_{3y} + \Delta t_{\text{с.р}} - t_3 - 3 - 0,5\Delta t_{\text{виг}} = \Delta t_{\text{с.р}} - 3 - 0,5\Delta t_{\text{виг}} \text{ } ^\circ\text{С}. \quad (10)$$

Позначимо у формулах (1, 2) через  $A$  комплекс

$$A = \frac{h_1}{l} \cdot w_{\text{виг}} \cdot \rho_{\text{пов}}^{\text{виг}} \cdot c_{\text{пов}}^{\text{виг}} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}; \quad (11)$$

Тепер формули (1,2) можна подати у вигляді

$$\bar{q} = A \cdot \Delta t_{\text{виг}} + k_{\text{пр}} \cdot 0,5\Delta t_{\text{виг}} \text{ Вт/м}^2; \quad (12)$$

$$\bar{q} = k_{\text{пок}} \cdot (\Delta t_{\text{с.р}} - 3 - 0,5\Delta t_{\text{виг}}) \text{ Вт/м}^2. \quad (13)$$

Сумісно розв'язавши рівняння (12, 13) відносно  $\Delta t_{\text{виг}}$ , отримаємо такий вираз:

$$\Delta t_{\text{виг}} = \frac{k_{\text{пок}} \cdot (\Delta t_{\text{с.р}} - 3)}{A + 0,5 \cdot k_{\text{пок}} + 0,5k_{\text{пр}}} \text{ } ^\circ\text{С}. \quad (14)$$

Виконаємо тепловий розрахунок подвійного вентилязованого повітряного прошарку в покритті в теплу пору року за таких вихідних даних:  $t_3 = 26,4$  °С;  $t_B = 29,4$  °С;  $t_{3y} = t_3 + \Delta t_{\text{с.р}} = 26,4 + 30 = 56,4$  °С;  $l = 9$  м;  $h_1 = h_2 = 0,1$  м;  $\delta = \delta_1 = \delta_2 = 0,001$  м; ширина прошарку  $b = 2,8$  м;  $\lambda = 0,3$  Вт/(м·К) (для поліетиленової плівки);  $w_{\text{виг}} = 0,5$  м/с;  $\frac{\delta_{\text{пок}}}{\lambda_{\text{пок}}} = 0,5$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт. Значення швидкості повітря в

каналах подвійного вентилязованого повітряного прошарку залежить від величини повітрообміну в будинку. З попередніх обчислень  $\bar{\alpha}_{\text{ВІТ}} = 2,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\bar{\alpha}_3 = 1,163 \cdot (5 + 10\sqrt{w_3}) = 1,163 \cdot (5 + 10\sqrt{1}) = 17,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $k_{\text{ПОК}} = 1,02 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $k_{\text{ПР}} = 0,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Після підстановки отримали  $\Delta t_{\text{ВІТ}} = 3,9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Після перевірки маємо такі значення:  $\bar{q} = 6,535 \cdot \Delta t_{\text{ВІТ}} = 25,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;  $\bar{q} = 27,54 - 0,51 \cdot \Delta t_{\text{ВІТ}} = 25,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

**Висновки.** У роботі наведено методику простого інженерного розрахунку теплового режиму подвійного щільного вентилязованого повітряного прошарку в покритті сільськогосподарського будинку в теплу пору року. За цією методикою з достатньою точністю визначаються перепади температур у каналах вентилязованого повітряного прошарку та теплові потоки в конструкції.

1. Прыгунов Ю.М., Новак В.А., Серый Г.П. Микроклимат животноводческих и птицеводческих зданий. – К., 1986. – 80 с. 2. Данилова А.К., Найденский М.С. и др. Гигиена промышленного производства яиц. – М., 1987. – 279 с. 3. А. с. 576798 СССР. Система вентиляции одноэтажной постройки / Ю.Я. Кувишинов, В.Ю. Ярослав // Открытия. Изобрет. – 1990. – № 25. 4. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М., 1982. – 415 с. 5. Табуничиков Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений. – М., 1986. – 380 с. 6. Могилат А.Н., Кривобок Э.Н. Проектирование теплозащиты покрытий гражданских зданий. – К., 1982. – 104 с. 7. Ярослав В.Ю. Про розрахунок повітряних прошарків у покритті // Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 1997. – № 318. – С. 88–90. 8. СНиП II-3-79\*\* Строительная теплотехника // Госстрой СССР. – М., 1986. – 32 с. 9. Лабай В.Й. Тепломасообмін. – Львів, 1998. – 260 с.

УДК 624.012

Р.Я. Лівша, С.І. Томецька\*

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів,  
\*кафедра вищої математики

## ВПЛИВ ВИПАРОВУВАННЯ ВОДИ З ОКРЕМИХ ДІЛЯНОК ПОВЕРХНІ ПРИЗМАТИЧНИХ ЗРАЗКІВ ІЗ ЦПР НА ЇХ МІЦНІСТЬ ТА СХЕМУ РУЙНУВАННЯ

© Лівша Р.Я., Томецька С.І., 2004

**Описані результати дослідження випаровування, усадки і міцнісних характеристик зразків з відкритими під час твердіння характерними ділянками на їх поверхні: біля ребер, біля кутів і посередині граней.**

**The results of samples evaporation, shrinkage and durabilities with open during time of hardened characteristic sites of their surface: near edges, in the middle of sides and in corners were described**

На поверхні призматичних зразків є характерні ділянки з різною інтенсивністю випаровування: біля ребер, біля кутів і посередині граней. У кутах призматичних зразків сходяться три грані, біля ребер – дві, а посередині граней знаходиться рівна поверхня для випаровування. Відповідно відношення площ поверхні вказаних ділянок до частин об'ємів призми, які вони покривають і з яких випаровується вода, будуть різними.

Для таких висновків аналогом слугував “коефіцієнт масивності” – відношення поверхні конструкції, відкритої для випаровування, до її об'єму (СНиП II-B, 1-62).