

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИЙ КОМПЛЕКС

Вступ. Сільське господарство — одна з провідних галузей економіки України. Воно є базовою складовою аграрного сектора України і складається з рослинництва і тваринництва. При цьому вихід кінцевого продукції як рослинництва так і підприємства по вирощуванню худоби будуть в значній мірі залежати від внутрішніх параметрів мікроклімату, які створюють системи інженерного забезпечення будівель [1-6].

У світовій та вітчизняній практиці ведення сільського господарства є приклади одночасного розташування на одній промисловій площадці як тепличних господарств так і ферм для вирощування великої рогатої худоби (ВРХ), [1, 9].

У зв'язку з зазначеним, цікавим, на нашу думку, є поєднання у вигляді блокування в одному сільськогосподарському комплексі, наприклад, будівлі для утримання ВРХ та тепличного господарства з круглорічним циклом по вирощуванню продукції рослинництва.

У відповідності до технології вирощування рослин особливо в холодний період року для інтенсифікації овочівництва слід передбачати підживлення рослин вуглекислим газом, що є вимогою відповідних норм [2]. Згідно п. 8.9 цих норм підживлення вуглекислим газом повинно проводитись 4÷6 годин на добу при відповідній інтенсивності освітлення у приміщенні теплиці [7, 8].

При цьому системи інженерного забезпечення параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні теплиці повинні забезпечувати оптимальну концентрацію вуглекислоти в межах від 0,10 до 0,15 об'ємних відсотків при відсутності провітрювання приміщення, тобто при зачинених фрамугах теплиці. Норми [2] припускають короткочасну максимальну концентрацію CO_2 на рівні 0,33 %.

У відповідності до вимог [1] для тепличних господарств система підживлення

вуглекислим газом може реалізовуватись за наступними способами подачі CO_2 до тепличних модулів (рис. 1): використання CO_2 з балонів або газгольдерів з рідкою вуглекислою, що випускається в культивацийних приміщеннях через перфоровані труби; застосування вуглекислого ангідриду в твердому вигляді (сухий лід), який укладають у невеликі ґратчасті ящики; спалювання природного газу в генераторах, що сприяє утворенню CO_2 з незначними домішками сірчистого ангідриду; підживлення рослин вуглекислим газом за рахунок використання викидів димових газів котельних.

На даний момент ні один з перелічених існуючих способів підживлення рослин двоокисом вуглецю не відповідає сучасним вимогам тому що:

- по-перше, усі зазначені варіанти передбачають безпосереднє використання природного чи зрідженого газу, що потребує наявності систем централізованого чи децентралізованого газопостачання, енергоносієм для яких виступає газ у будь якому вигляді;

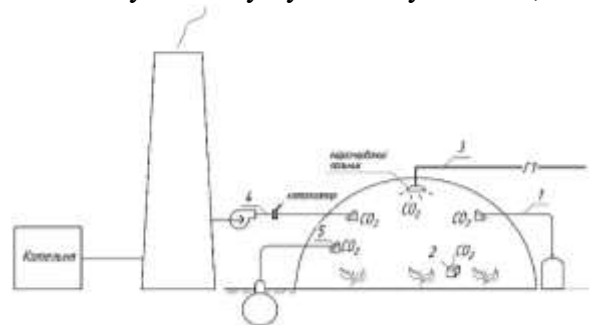


Рис. 1. Варіанти подачі вуглекислоти до теплиці: 1 – від балонів з рідкою вуглекислою; 2 – вуглекислий ангідрид в твердому вигляді; 3 – від спалювання природного газу в інфрачервоних пальниках; 4 – застосування відхідних газів котельної; 5 – від накопичувальної ємності (газгольдера).

- по-друге, значно збільшує капітальні та експлуатаційні витрати, пов'язані насамперед з використанням складських приміщень, наявності специфіч-

ного обладнання (наприклад, у варіанті з використанням продуктів горіння котельні виникає необхідність використання недешевих каталізаторів);

- по-третє, обмеження на використання систем протягом року або світлового дня, що зумовлено або присутністю людей, або роботою обладнання в специфічних умовах (наприклад, тільки при відкритих фрамугах, що неможливо в холодний період року);
- в четвертих, людський фактор, адже у відповідності до п. 5.3 СанПиН 5791-91 у випадках використання контактно-газових генераторів, інфрачервоних газових випромінювачів, генераторів вуглекислоти на природному (зрідженому) газі та від котелень, що працюють на газоподібному паливі, необхідно застосовувати найбільш повне згорання палива, так як продукти горіння безпосередньо подаються у приміщення, де знаходяться робітники, що безумовно призводить до здороження вартості застосування такої системи; в п'ятих, необхідність автоматизації роботи як окремих елементів так і в цілому системи газопостачання (підживлення) CO₂, що найменш на 30-ть відсотків збільшить вартість капітальних витрат на систему підживлення вуглекислотою.

З іншого боку цікавою є ідея штучного збагачення повітря приміщень для вирощування городини за рахунок використання вуглекислого газу, що міститься у повітрі витяжних систем вентиляції приміщень для утримання ВРХ, особливо, коли йдеться про блокування або розміщення вказаних будівель на одній виробничій ділянці.

У виробничих сільськогосподарських будівлях шкідливі речовини (і зокрема CO₂) разом з водяними парами потрапляють у повітря приміщень з продуктами дихань тварин, а також в наслідок біохімічних процесів, що відбуваються в навозі [10]. Що стосується саме вуглекислого

газу, то це газ без кольору, який має слабо кислий запах. При температурі 0°C він має щільність 1,98 кг/м³ і, відповідно, важче повітря, що зосереджує його максимальні концентрації в нижній зоні приміщення.

При великій концентрації у повітрі виробничого приміщення вуглекислий газ може спричиняти головну біль та підвищений тиск у робітників, зменшує апетит та продуктивність тварин, підвищує ризик їх захворювань. Норми [3] встановлюють гранично допустиму концентрацію (ГДК) CO₂ на рівні 2 л/м³.

Як зазначав в своїй книзі [4] професор Строй А.Ф. у приміщеннях для утримання ВРХ при організації повітрообміну застосовують схему вентиляції згори-угору та вниз (рис. 2). При цьому припливне повітря подають у верхню зону приміщення, а витяжку розосереджують наступним чином: 30% від припливу видаляють з нижньої зони приміщення (як варіант з каналів для видалення гною), та 70% об'єму від припливу видаляють із верхньої зони приміщення. Для реалізації такої системи, як видно з рис. 2, необхідно застосування систем вентиляції з примусовою циркуляцією повітря.

Мета і завдання. Метою досліджень є зменшення капітальних та експлуатаційних витрат на забезпечення необхідних умов для вирощування рослин у теплицях, що входять до складу енергоефективного комплексу разом з фермою по утриманню ВРХ.

З метою збереження енергетичних ресурсів і зменшення витрат на постачання тепличного комплексу енергоресурсами, як варіант, розглянемо метод подачі CO₂ з повітрям, що видаляється з корівника до теплиці, тобто організація енергобіологічного сільськогосподарського комплексу з використанням як теплоти повітря, що видаляється з корівника, так і вуглекислоти, що міститься в цьому повітрі, з метою інтенсифікації росту рослин (рис. 3).

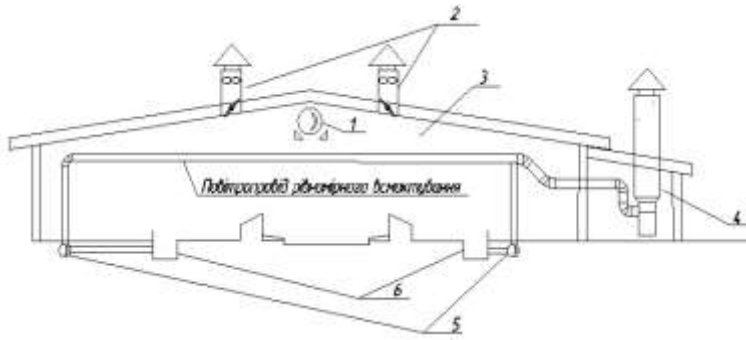


Рис. 2. Принципова схема організації повітрообміну в приміщенні для утримання ВРХ. 1 – приплив повітря; 2 – пристрої для видалення повітря з верхньої зони приміщення; 3 – верхня зона приміщення; 4 – витяжна камера; 5 – повітропроводи рівномірного всмоктування повітря з нижньої зони приміщення; 6 – гнойові канали.

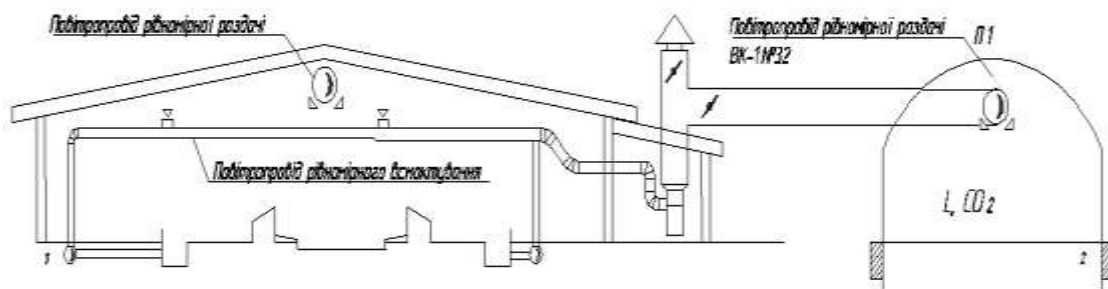


Рис. 3. Принципова схема подачі CO₂ з відпрацьованим повітрям з корівника до приміщення теплиці.

Результати дослідження. В якості предмета досліджень візьмемо тепличний комплекс, що складається із одиничних модулів площею 10×40 м, та ферму для вирощування ВРХ, до складу якої входить корівник (стійлове приміщення для молодняку великої рогатої худоби у кількості 310 голів, молодняк у віці більше року, середня маса тварини 350 кг). Район будівництва – Полтавська область. Середня температура найхолоднішої п'ятиденки -, найхолоднішої доби -. Тривалість опалювального періоду складає Утримання молодняку прив'язне, параметри повітря в стійловому приміщенні $t_b = +10\text{ }^\circ\text{C}$; відносна вологість повітря в приміщенні $\varphi \leq 75\%$.

Спробуємо визначити приблизну площу тепличного господарства з кругло-річним циклом вирощування зелені, томатів та огірків, яка може бути забезпечена підживленням вуглекислотою за рахунок використання повітря, що видаляється системою загальнообмінною витяжною вентиляції з приміщення корівника.

Для корівника мінімальний повітрообмін може бути визначений із умов забезпечення подачі мінімальної кількості припливного повітря із розрахунку 17 м³/год на 100 кг живої маси тварин, м³/год:

$$L_{\text{розр}} = L_{\text{min}} = (17 \cdot n_{\text{тв}} \cdot m_{\text{тв}}) / 100, \quad (1)$$

де $n_{\text{тв}}$ – кількість тварин, що утримуються у приміщенні; $m_{\text{тв}}$ – маса однієї корови, кг.

Тоді для нашого прикладу мінімальний розрахунковий повітрообмін у корівнику становитиме: $L_{\text{розр}} = L_{\text{min}} = (17 \times 310 \times 350) / 100 = 18445\text{ м}^3/\text{год}$.

При такому повітрообміні кількість вуглекислоти, що видаляється з приміщення корівника і, відповідно, може бути використана в системі підживлення рослин, становитиме (при кінцевій концентрації CO₂ на рівні 2 л/м³) відповідно 36890 літрів, тобто 36,9 м³ вуглекислого газу. В той же час норми [2] дають дані по приблизній витраті природного газу для отримання вуглекислоти на 1 га теплиць, яка становить: для багатопрогонових теплиць – від 35 до 50 м³/год; для однопрогонових від 45 до 67 м³/год. Тобто, якщо спалювати в багатопрогоновій теплиці газ з родовища Гоголево – Полтава, вихід CO₂ для якого

становить $0,87 \text{ м}^3/\text{м}^3\text{газу}$, то сумарний вихід вуглекислого газу становитиме, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$L_{CO_2} = V_{газу} \cdot \rho_{CO_2}, \quad (2)$$

де $V_{газу}$ – середня нормативна кількість природного газу, що необхідно спалювати у багатопрогнозових теплицях площею в 1 гектар ($42,5 \text{ м}^3$); ρ_{CO_2} – питомий вихід вуглекислоти, що утворюється при спалюванні природного газу родовища Гоголево – Полтава.

Провівши відповідні розрахунки, отримаємо наступне значення об'єму вуглекислоти, що утвориться при спалюванні одного метра кубічного природного газу:

$$L_{CO_2} = V_{газу} \cdot \rho_{CO_2} = 42,5 \cdot 0,87 = 37 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Як бачимо з розрахунків, проведених за формулами (1) та (2), отримані об'єми вуглекислого газу близькі між собою. При цьому економічний ефект від запропонованої системи підживлення CO_2 легко вирахувати, зробивши нескладні розрахунки.

Для тепличного господарства у складі багатопрогнозових теплиць цілорічного вирощування термін використання становить приблизно 11 місяців (один місяць відводиться для проведення технологічних перерв в вирощуванні рослин, проведенні пропарювання, дезінфекції та заміни верхнього шару ґрунту). За умов забезпечення подачі вуглекислоти для тепличного господарства площею 1 га протягом 4÷6 годин [2] кількість природного газу, що буде спалена на протязі року становитиме, $\text{м}^3/\text{рік}$:

$$\Sigma V_{газу} = V_{газу} \cdot n_{роб.дн} \cdot n_{роб.доб}, \quad (3)$$

де $V_{газу}$ – середня нормативна кількість природного газу, що необхідно спалювати у тепличному модулі загальною площею в 1 гектар; $n_{роб.дн}$ – кількість робочих днів на рік; $n_{роб.доб}$ – тривалість роботи системи підживлення вуглекислим газом за добу.

В результаті отримуємо річні витрати газу у кількості:

$$\Sigma V_{газу} = V_{газу} \cdot n_{роб.дн} \cdot n_{роб.доб} = 42,5 \cdot 335 \cdot 5 = 71188 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Вартість природного газу для підприємств, які не є бюджетними установами, у відповідності до прејскуранта цін на природний газ із ресурсів Національної ком-

панії «Нафтогаз України» з першого травня 2017 року складає 7456,80 за 1000 м^3 . Тоді річні витрати господарства на оплату газу, що буде спалюватись для отримання CO_2 для підживлення тепличних модулів становитимуть: 530835 грн./рік.

В той же час, якщо, наприклад, застосувати зріджений газ CO_2 з газобалонних установок, за приблизними розрахунками вартість такого підживлення рослин складатиме близько: 571343 грн./рік.

Якщо на даному етапі розрахунків не враховувати додаткові капітальні витрати, що будуть пов'язані з влаштуванням системи газопостачання приміщень тепличного господарства для отримання вуглекислого газу у «класичному» варіанті або системи вентиляції, що з'єднає приміщення для утримання ВРХ та тепличних модулів, економічний ефект від впровадження запропонованого способу подачі CO_2 у приміщення теплиці можна представити у вигляді гістограми (рис. 4):

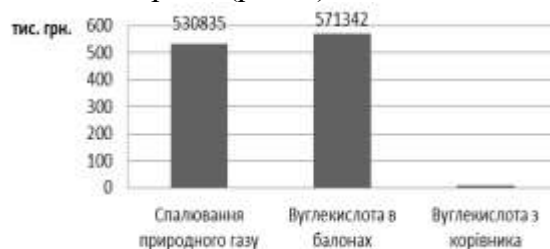


Рис. 4. Порівняння експлуатаційних витрат на забезпечення тепличного господарства площею 1 га двоокисом вуглецю, який входить до складу енергоефективного сільськогосподарського комплексу разом з будівлями для утримання ВРХ, протягом року, грн.

В даній схемі блокування є ще два аспекти, про які необхідно сказати. По-перше, це екологічна складова такого комбінування. Адже за рахунок використання «відпрацьованого» повітря з приміщення корівника на потреби рослинництва ми маємо можливість зменшувати кількості CO_2 , що потрапляє у навколишнє середовище. По-друге, з урахуванням вимог норм [1-3] при застосуванні системи вентиляції тепличних модулів, особливо в холодний період року, для раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів буде доцільним використання теплового потоку, який можна бути отримати за рахунок використання тепла, що містить в

собі повітря, що видаляється з приміщення для утримання ВРХ, для потреб опалення теплиць.

Для наведеного вище прикладу з використанням викидного повітря з приміщення для утримання ВРХ в кількості $L_{\text{норм}} = 18445 \text{ м}^3/\text{год}$ та середнім значенням температури витяжного повітря на рівні плюс $10 \text{ }^\circ\text{C}$, визначимо середнє значення кількості теплоти, яку можна буде використати в роботі системи комбінованого опалення теплиці протягом всього опалювального сезону, кВт:

$$Q_{\text{оп}} = c_{\text{нов}} \cdot G_{\text{нов}} \cdot t_{\text{нов}}, \quad (4)$$

де $c_{\text{нов}}$ – питома масова теплоємність повітря, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$; $G_{\text{нов}}$ – секундна масова витрата витяжного повітря, $\text{кг}/\text{с}$; $t_{\text{нов}}$ – середнє значення температури витяжного повітря, $^\circ\text{C}$.

В результаті отримаємо значення: $Q_{\text{оп}} = 1,005 \cdot 7,2 \cdot 10 = 72,4 \text{ кВт}$.

В сучасних ґрунтових теплицях в холодний період року обігрів приміщення здійснюється за рахунок обігріву ґрунту та шатра теплиці. При цьому питома витрата тепла на обігрів 1 м^2 теплиць за різними даними становить $190 \div 240 \text{ Вт}/\text{м}^2$. При забезпеченні обігріву шатрової частини теплиць рекомендують [4] до 60% опалювальних приладів встановлювати в нижній частині будівлі, а 40% у верхній частині виробничого приміщення. Крім того частину теплового навантаження обігріву верхньої частини шатра покладають на повітряний обігрів зі встановленням «розгінних» вентиляторів. Якщо при питомих витратах теплоти у $200 \text{ Вт}/\text{м}^2$ до 20% від розрахункового навантаження покласти на систему повітряного обігріву верхньої частини тепличних модулів загальною площею 10000 м^2 (1 га), зблокованих з приміщенням для утримання ВРХ, розрахункове значення теплоти, що може бути отримана в результаті використання «відпрацьованого» повітря з корівників, становитиме 400 кВт.

Загальну кількість теплоти, що може бути заощаджена протягом всього опалювального періоду на обігрів для тепличного господарства площею 1 га за рахунок

використання теплового потенціалу повітря, що видаляється з приміщення корівника та подається у приміщення теплиць, можна вираховувати, побудувавши графік витрат теплоти (рис. 5):

Враховуючи вартість теплової енергії і природного газу в сучасних умовах, навіть без проведення розрахунків по додатковим капітальним витратам, що будуть пов'язані з влаштуванням об'єднаної системи вентиляції (з одного боку витяжної для приміщення для утримання КРС, а з другого боку припливної для тепличного модуля), маємо переконливий важіль для влаштування системи підживлення рослин за рахунок використання повітря, що видаляється з приміщення для утримання КРС.

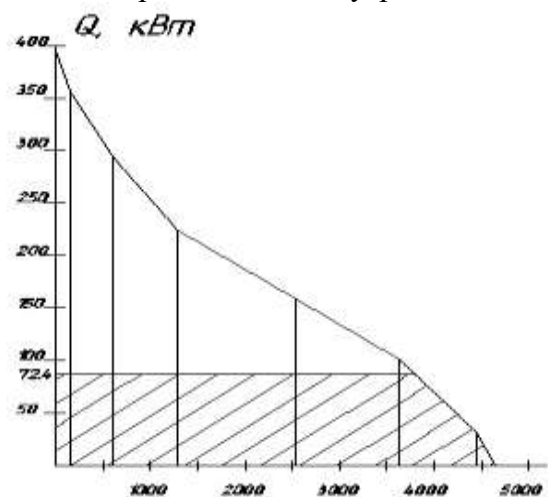


Рис. 5. Визначення економії теплоти енергії на опалення теплиць з урахуванням подачі «відпрацьованого» повітря з корівника.

Висновки. З втіленням даного способу подачі вуглекислого газу до тепличного комплексу підприємство отримує ряд переваг, а саме:

- забезпечує необхідний рівень концентрації CO_2 у повітрі теплиці, що позитивно позначається на врожайності вирощуваних культур;
- використовує теплоту повітря, що видаляється з корівника на опалення тепличних модулів в холодний період року;
- заощаджує паливно-енергетичні ресурси при створенні індустриальних сільськогосподарських комплексів.

Наведені результати теоретичних досліджень і аналітичних розрахунків свідчать про можливість ефективного викори-

стання в тепличних господарствах в опалювальний період потенціалу повітря, що видалється з приміщення для утримання ВРХ, без застосування традиційних способів забезпечення живлення рослин вуглекислим газом. Таке рішення дає можливість суттєво зменшувати протягом опалювального періоду витрату теплової енергії і зменшує забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ДБН В2.2.-2-95 Будинки і споруди (теплиці та парники). Державний комітет України у справах містобудування і архітектури. – К., 1995.
2. ВНТП-АПК-10.07 Тепличні і оранжерейні підприємства, споруди захищеного ґрунту.
3. ВНТП-АПК-01.05 Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). – К.: Мінагрополітики України, 2005. – 111 с.
4. Строй А.Ф. Теплоснабжение и вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 215 с.
5. Строй А.Ф., Гузик Д.В. Формування локального мікроклімату в свинарських приміщеннях Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Наук.-техн. зб. - К.: КНУБА. - Вип. 3, 2001. - С.28-34.
6. Строй А.Ф., Гузик Д.В. Система локального мікроклімату у виробничих сільськогосподарських приміщеннях // «Нова тема», журнал асоціації інженерів енергоефективних технологій України, КНУБА, 2008. – Вип. 2. – С. 24-26.
7. Веліт І.А., Гузик Д.В. Використання натрієвих ламп з різним складом амальгами розрядної трубки для вирощування томатів у закритому ґрунті. // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник, № 20 - 2016.
8. Веліт І.А., Гузик Д.В. Натрієві лампи високого тиску з добавками цезію для світло культури рослин. Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 8. Відповідальний редактор П.М.Куліков. – К.: КНУБА, 2016. - С. 60-64.
9. Федяй Б.М., Гузик О.Д., Гузик Д.В. Моделювання теплового режиму будівель при кооперованому утриманні тварин. // Науковий вісник будівництва, № 70. - 2012.
10. Fediai B., Guzyk D. Calculation of air exchange to reduce CO2 by periodic ventilation of cattle buildings. // Ventilyaciya, osvtilennya ta teplogazopostachannya, № 20 - 2016.

Рецензент: д-р техн. наук С.Л. Фомін

УДК 624.014

Виноградов В.В.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

К ВОПРОСУ ЗАМЕНЫ РЕШЕТЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ МОДЕЛЮ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МАЧТОВЫМ СИСТЕМАМ

Введение. Для расчета жесткости, устойчивости и колебаний мачт на оттяжках различного функционального назначения широко используются стержневые модели [1-3]. Подобные модели могут быть эффективно применены при рассмотрении задач оптимизации применительно к мачтам мобильной связи, имеющими относительно небольшую высоту, когда варьируемыми являются законы изменения геометрических характеристик сечений по

высоте мачты [4]. Их эффективность определяется тем, что стержневые модели позволяют использовать математический аппарат теории оптимизации, хорошо апробированный для систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Это позволяет существенно сократить объем вычислений.

Вопросам построения жесткостных характеристик стержневых моделей исходя из свойств решетчатых конструкций