

CZU 631.371:234:628.8

## ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ ТЕПЛИЦ

О. И. КЕПКО

Уманский государственный аграрный университет

**Abstract.** The attention is paid to the importance of the energy-saving problem in Ukraine agriculture, especially in greenhouse facilities. For energy losses reduction the closed system of heating and greenhouses ventilation (CSHV) has been offered. The static mathematical model CSHV has been developed. The decision about the equations system of mathematical model has been resulted. Experimental data are compared with the data received as a result of mathematical calculations on temperature's dynamics change. The results of CSHV application are submitted to the company "Slavuta". The economic efficiency of CSHV application in greenhouses has been counted.

**Key words:** Greenhouse, Heat-exchange and gas-exchange processes, Mathematical model, Mushrooms, Ventilation system.

### ВВЕДЕНИЕ

Важной проблемой сельского хозяйства в Украине является уменьшение энергоемкости производства продукции. Особенно остро эта проблема стоит в овощеводстве защищенного грунта (М. Гірченко и др., 1993). Предлагаемая замкнутая система отопления и вентиляции (ЗСОВ) теплиц позволяет улучшить газовый баланс в помещениях, а также уменьшить расходы энергии на отопление и вентиляцию. Публикации по замкнутой системе отопления и вентиляции теплиц относятся к одной группе авторов и объединены исследованиями согласно (Патент №57976А Украина, 2003).

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Предложенная ЗСОВ состоит из трех помещений – грибницы, ночной растительной и дневной растительной теплиц (рис. 1). В дневной теплице выращиваются растения, а грибы в грибном помещении. Между помещениями происходит перекачивание воздуха в светлую пору суток. Дополнительно выращивают растения в ночной теплице со светонепроницаемым покрытием в темную пору суток при искусственном освещении и в это время перекачивают воздух между этим помещением и грибницей, а перекачивание воздуха между дневной теплицей и грибницей прекращают. При этом перекрывают воздух заслонками 4,5, которые поворачивают на ночь вверх, как показано на рис. 1. Тем самым прекращается подача воздуха в дневную теплицу и обеспечивается подача в помещение с искусственным освещением.

Предложенная система решает одновременно вопрос экономии тепловой энергии, поскольку теперь нет необходимости выбрасывать тепло наружу, и газовой взаимоподкормке растений и грибов.

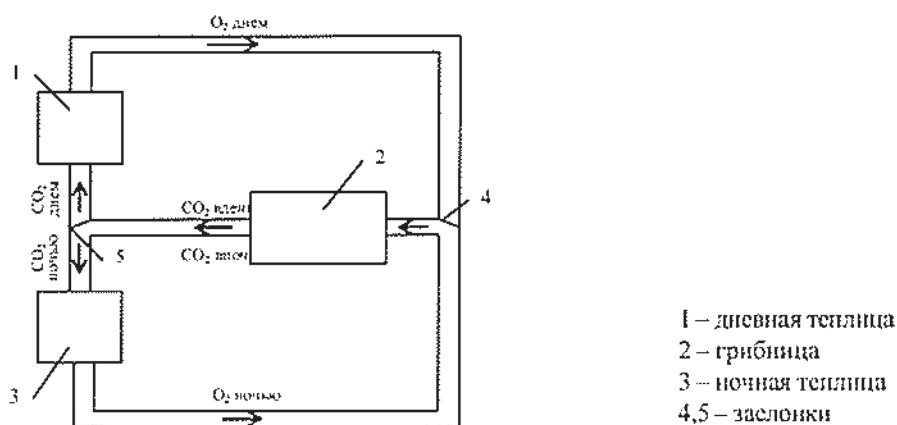


Рис. 1. Функциональная схема замкнутой системы вентиляции

Внедрение ЗСОВ нуждается в исследовании тепломассообменных процессов во всех элементах блока „теплица – грибница” и энергосберегающих свойств ЗСОВ при условиях соответствия параметров газовой среды, в котором выращиваются овощные растения и грибы, их биологическим особенностям. Для этого тепломассообмен удобно исследовать отдельно в виде тепловых балансов и балансов содержания  $\text{CO}_2$  в вентиляционном воздухе. Это касается также динамических характеристик тепло- и массообмена. ЗСОВ должны быть экономически выгодными, а выбросы вредных веществ в окружающую среду – минимальными.

Математическое моделирование работы такой системы дает возможность оценить эффективность работы отопительно–вентиляционного оборудования и значение технологических параметров микроклимата.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная статическая математическая модель ЗСОВ представляет собой систему трех уравнений тепловых балансов помещений. Для реальных условий эксплуатации, в связи с тем, что часть воздуха должна обновляться, и с тем, что в ЗСОВ помещения работают попарно, система сводится к двум уравнениям и будет иметь вид:

$$\begin{cases} -Q_{ТН.1} - Q_{от.1} + Q_{т.в.1} - c_p [G_{M.1}(t_{в.2} - t_{в.1}) + G_{M.2}(t_{в.1} - t_{в.2})] = 0 \\ -Q_{ТН.2} - Q_{от.2} + Q_{т.в.2} - c_p G_{M.1}(t_{в.1} - t_{в.2}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $Q_{ТН}$  – мощность тепlopоступлений, Вт;  $Q_{от}$  – мощность системы отопления, Вт;  $Q_{т.в.}$  – мощность тепlopотерь через ограждения и с инфильтрационным воздухом, Вт;  $c_p$  – теплоемкость воздуха, Дж/кг °К;  $G_{M.1}$  – воздухообмен между помещениями, кг/с;  $G_{M.2}$  – воздухообмен с внешней средой, кг/с;  $t_{в.1}$ ,  $t_{в.2}$  – температура внутреннего и наружного воздуха, °С; 1,2 – номера помещений (1–грибница, 2–теплица).

Решение системы уравнений приводит к определению температур в грибнице и теплице в зависимости от мощности отопительной системы (рис. 2). Зависимости приводятся для зимнего периода ( $t_{в.н} = -15^\circ\text{C}$ ,  $G_{M.1} = 0,0346$  кг/с,  $G_{M.2} = 0,0194$  кг/с).

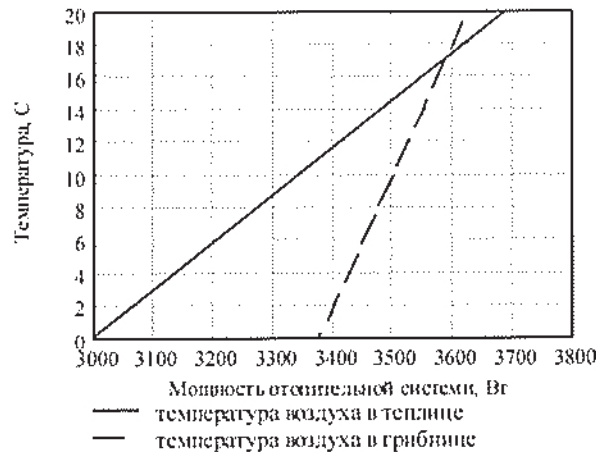


Рис. 2. Зависимость температуры воздуха в грибнице и теплице от мощности отопительной системы

Температуры субстрата и воздуха являются определяющими факторами, которые влияют на процесс выращивания грибов, одновременно температура воздуха является основным фактором и при выращивании овощных культур в теплице. Для определения функциональной зависимости между температурой субстрата и воздуха в грибнице и теплице во времени предложена математическая модель в виде системы трех дифференциальных уравнений [2].

$$\begin{cases} m_{II}^m c_p \frac{dt_a^m}{d\tau} = -k_{Or}^m S_{Or}^m (t_a^m - t_n) + a_{On}^m S_{On}^m (t_{On}^m - t_a^m) + V_{s11} \rho_{II} c_p (t_a^{sp} - t_a^m) + V_{un\phi} \rho_{II} c_p (t_n - t_a^m) \\ m_{II}^{sp} c_p \frac{dt_a^{sp}}{d\tau} = -k_{Or}^{sp} S_{Or}^{sp} (t_a^{sp} - t_n) + a_c S_c (t_c - t_a^{sp}) + a_{On}^{sp} S_{On}^{sp} (t_{On}^{sp} - t_a^{sp}) + V_{s11} \rho_{II} c_p (t_a^m - t_a^{sp}) + \\ + V_{s12} \rho_{II} c_p (t_a^m - t_a^{sp}) + V_{un\phi} \rho_{II} c_p (t_n - t_a^{sp}) \\ m_c c_c \frac{dt_c}{d\tau} = m_c q - a_c S_c (t_c - t_a^{sp}) - r m_{gn} \end{cases} \quad (2)$$

где  $t_c$  – температура субстрата, °C;  $m_c$  – масса субстрата в грибнице, кг;  $c_c$  – удельная теплоемкость субстрата, Дж/кг °C;  $q$  – тепловыделения субстрата, Вт/кг;  $a_c$  – коэффициент теплоотдачи от субстрата к воздуху, Вт/м<sup>2</sup> °C;  $S_c$  – площадь поверхности субстрата, которая обдувается воздухом, м<sup>2</sup>;  $t_a^m, t_a^{sp}$  температура внутреннего воздуха соответственно в теплице и грибнице, °C;  $a_{On}^m$  коэффициент теплоотдачи от отопительных приборов к воздуху теплицы, Вт/м<sup>2</sup> °C;  $t_n$  – температура наружного воздуха, °C;  $r$  – удельная теплота испарения воды, Дж/кг;  $m_{gn}$  – интенсивность испарения воды, кг/с;  $\tau$  – время, с;  $m_{II}^m, m_{II}^{sp}$  масса воздуха соответственно в теплице и грибнице, кг;  $c_p$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг °C;  $V_{s11}$  – воздухообмен между помещениями, м<sup>3</sup>/с;  $V_{s12}$  – воздухообмен между грибницей и внешней средой, м<sup>3</sup>/с;  $V_{un\phi}$  – воздухообмен инфильтрации, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_{II}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $S_{Or}^m, S_{Or}^{sp}$  – площадь поверхности ограждений соответственно теплицы и грибницы, м<sup>2</sup>;  $k_{Or}^m, k_{Or}^{sp}$  – значения коэффициента теплопередачи через ограждения соответственно теплицы и грибницы, Вт/м<sup>2</sup> °C;  $S_{On}^m, S_{On}^{sp}$  – площадь поверхности отопительных приборов соответственно теплицы и грибницы, м<sup>2</sup>;  $k_{Or}^m, k_{Or}^{sp}$  – коэффициент теплоотдачи от отопительных приборов к воздуху соответственно теплицы и грибницы, Вт/м<sup>2</sup> °C;  $k_{On}^m, k_{On}^{sp}$  – температура воды в отопительных приборах, °C.

При аналитическом решении которой получены зависимости:

– для температуры субстрата:

$$t_c = C_1 \exp(k_1 \tau) + C_2 \exp(k_2 \tau) + C_3 \exp(k_3 \tau) + t_c^{cm}; \quad (3)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  – постоянные решения дифференциального уравнения;  $k_1, k_2, k_3$  – корни характеристического уравнения вида  $k^3 + ak^2 + bk + c = 0$ ;  $t_c^{cm}$  – установившееся значение температуры субстрата °C.

– для температуры воздуха в грибнице:

$$t_a^{sp} = \left( \frac{k_1}{C} + 1 \right) C_1 \exp(k_1 \tau) + \left( \frac{k_2}{C} + 1 \right) C_2 \exp(k_2 \tau) + \left( \frac{k_3}{C} + 1 \right) C_3 \exp(k_3 \tau) + t_a^{sp,cm}; \quad (4)$$

где  $C = \frac{F_c S_c}{m_c c_c}$ ;  $t_a^{sp,cm}$  – установившееся значение температуры воздуха в грибнице °C.

– для температуры воздуха в теплице:

$$\begin{aligned} t_a^m = & \left( \frac{k_1^2}{Ck_{II}^{sp}} + \frac{C + \lambda}{Ck_{II}^{sp}} k_1 - \frac{E - \lambda}{k_{II}^{sp}} \right) C_1 \exp(k_1 \tau) + \left( \frac{k_2^2}{Ck_{II}^{sp}} + \frac{C + \lambda}{Ck_{II}^{sp}} k_2 - \frac{E - \lambda}{k_{II}^{sp}} \right) \times \\ & \times C_2 \exp(k_2 \tau) + \left( \frac{k_3^2}{Ck_{II}^{sp}} + \frac{C + \lambda}{Ck_{II}^{sp}} k_3 - \frac{E - \lambda}{k_{II}^{sp}} \right) C_3 \exp(k_3 \tau) + t_a^{m,cm} \end{aligned} \quad (5)$$

где  $k_{II}^p$  – коэффициент воздухообмена между помещениями,  $c^{-1}$ ;  $\lambda = D^p + E + F_1 + k_{II}^p$ ;

$$D^p = D_1 + k_{II} + k_{n,инф}^p; \quad D_1 = \frac{k_{OF}^m S_{OF}^m}{m_{II}^m c_p}; \quad E = \frac{\Gamma_c S_c}{m_{II}^p c_p}; \quad F_1 = \frac{\alpha_{от}^m S_{от}^m}{m_{II}^m c_p}; \quad k_{n,инф}^p - \text{коэффициент}$$

воздухообмена инфильтрации грибницы,  $c^{-1}$ ;  $t_n^{m,ст}$  – установившееся значение температуры воздуха в теплице,  $^{\circ}C$ ;

Аналогично (2) предложена модель газообмена, которая решена аналитически.

Методика экспериментальных исследований предусматривала проведение работ в условиях опытной теплицы кафедры садово-паркового хозяйства УГАУ.

Производственные исследования были проведены в ООО „Славута” Белоцерковского района Киевской области с целью проверки работоспособности системы, где в цехе по выращиванию грибов культивировалась культура гриба вешенки обыкновенной (штамм НК 35). Экономическая эффективность ЗСОВ определялась по грибному помещению следующим образом: одни сутки система вентиляции работала в замкнутом режиме, а следующие в разомкнутом режиме, на третьи сутки опять в замкнутом режиме и так далее. Данные по замкнутой и разомкнутой системе были статистически обработаны и сгруппированы по температурам внешнего воздуха. Экономия тепловой энергии за период проверки (30 дней) составила 1980 кВт $\cdot$ ч тепловой энергии, что позволило уменьшить расходы на отопление и вентиляцию на 10,7%. При использовании ЗСОВ экономия тепловой энергии составляет 4032 кВт $\cdot$ ч при годовом экономическом эффекте 5927 и сроке окупаемости 0,64 года.

Технико-экономические расчеты эффективности ЗСОВ, проведенные на базе трех многопролетных грунтовых теплиц площадью 0,5 га для подсобных хозяйств промышленных предприятий показывают, что применение ЗСОВ позволяет получить экономии эксплуатационных расходов за цикл (90 дней) при работе отопительной системы на мазуте – 18,8%, при работе на угле – 17,5% и при работе на газе – 4,6% при сроке окупаемости эксплуатационных расходов, соответственно, – 0,19; 0,22; 1,5 года.

## ВЫВОДЫ

Аналитически получены и экспериментально подтверждены характеристики тепломассообменных процессов по температуре и концентрации  $CO_2$  в ЗСОВ – статические в виде балансов теплоты и содержания  $CO_2$ , а также динамические в виде разгонных кривых по температуре и содержанию  $CO_2$ .

Для замкнутой системы отопления и вентиляции теплиц получены регрессионные уравнения нестационарных режимов по каналам температуры и концентрации  $CO_2$ .

Создана инженерная методика расчета ЗСОВ с разработкой программного обеспечения. Для ЗСОВ теплиц предложены технологические основы автоматизации тепло- и газообменных процессов.

ЗСОВ позволяет уменьшить расходы тепловой энергии на 12-20% по сравнению с разомкнутой системой.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Гірченко М.Т., Жоров В.І., Шаповалов Л.В. et al. Енергозбереження в приміщеннях закритого ґрунту для вирощування овочевої та вітамінної продукції. // Тези доповідей науково-технічної конференції „Енергозберігаючі технології та технічні засоби для виробництва сільськогосподарської продукції”. – Глеваха. ІМЕСГ УААН, – 1993. – С.87-89.
2. Голуб Г.А., Кепко О.І. Динамічні характеристики грибного приміщення в замкнутій системі вентиляції. // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. - № 4(9). - 2004. – С. 51-57.
3. Патент № 57956 А Україна, МКВ А01G9/24. Спосіб вентиляції споруд закритого ґрунту / Гірченко М.Т., Голуб Г.А., Жоров В.І., Вдовенко С.А., Кепко О.І., Шаповалов Л.В. (Україна), – №2002021688; Опубл. 15.07.2003. Бюл. № 7.

Data prezentării articolului - 27.11.2006