



КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ЗИМНЕЙ ТЕПЛИЦЫ

В статье рассмотрена комбинированная система отопления зимней теплицы, которая включает в себя два различных источника тепловой энергии: инфракрасный излучатель и воздухонагреватель. За счет первого источника теплоты формируется требуемый тепловой режим почвы, за счет второго – необходимый тепловой режим помещения зимней теплицы, определяемый температурой внутреннего воздуха. При этом особый интерес представляет газовое отопительное оборудование, так как в этом случае возможна утилизация теплоты от продуктов сгорания газообразного топлива и получение углекислого газа (CO_2) для реакции фотосинтеза растений.

Комбинированная система отопления; газовый инфракрасный излучатель; газовый воздухонагреватель; почва; зимняя теплица.

Несмотря на то, что зимние теплицы являются наиболее совершенными сооружениями защищенного грунта, они не лишены недостатков. В первую очередь из-за применения тонких светопрозрачных конструкций (органического стекла, поликарбоната и т.п.), которые обладают низкими теплозащитными свойствами [1, 2]. Это отрицательно сказывается на тепловых потерях помещения, а значит и на тепловой мощности отопительного оборудования. Еще одна важная проблема – вентиляция, которая необходима для удаления избыточной влаги и воздушного питания растений (фотосинтеза). Дело в том, что для организации воздухообмена, как правило, используется наружный воздух, который предварительно требуется нагреть (особенно в зимний период года). Все это сказывается на микроклимате зимней теплицы (температуре внутреннего воздуха и почвы), который, вообще говоря, должен быть постоянным и независимым от переменных факторов окружающей среды [3].

Традиционные системы отопления (водяные, воздушные) морально устаревают в виду их громоздкости, инертности, металлоемкости, необходимости подключения к внешним источникам теплоты (тепловым сетям), поэтому активно развиваются новые энергоэффективные технологии теплоснабжения тепличного хозяйства с применением солнечных коллекторов [4], тепловых насосов [5], геотермальных [6] и пиролизных [7] установок. Сюда также можно отнести использование потолочных инфракрасных излучателей, которые позволяют равномерно обогревать почву и выдерживать требуемый температурный режим для выращивания рассады или овощных культур. Однако, как показали проведенные исследования, применение для отопления зимней теплицы исключительно длинноволновых инфракрасных излучателей не является целесообразным решением, так как пассивные источники теплоты (в данном случае почва и

ограждение теплицы) не могут нагреть воздух помещения до требуемых температур. Особенно это критично в зимний период отопительного сезона, когда температура наружного воздуха может опускаться ниже отметки в $-30\text{ }^\circ\text{C}$. Возможным решением данной проблемы является комбинация отопительных систем, где обогрев почвы осуществляется за счет инфракрасных излучателей (лучистое отопление), а требуемый тепловой режим помещения поддерживается за счет предварительного нагрева наружного воздуха в воздухонагревателе (конвективное отопление). Таким образом, автономная комбинированная система отопления формирует оптимальный микроклимат зимней теплицы в любой период года. В качестве горючих материалов имеет смысл использовать газообразное топливо (природный газ, сжиженный углеводородный газ), так как, во-первых, возможна утилизация теплоты продуктов сгорания, а во-вторых, подача углекислого газа (CO_2) в теплицу для жизнеобеспечения растений в закрытом грунте (осуществление фотосинтетических реакций).

На рисунке 1 представлена расчетная схема комбинированной системы отопления зимней теплицы.

В комбинированной системе отопления зимней теплицы имеют место два источника теплоты: лучистый – газовый инфракрасный излучатель (3) с тепловым потоком $Q_{\text{изл}}$, Вт, и конвективный – газовый воздухонагреватель (4) с тепловым потоком $Q_{\text{вп}}$, Вт, и температурой приточного воздуха $t_{\text{пр.в}}$, $^\circ\text{C}$. Комбинация двух нагревательных элементов позволяет поддерживать заданный тепловлажностный режим зимней теплицы, определяемый температурой $t_{\text{вн.в}}$, $^\circ\text{C}$, и относительной влажностью $\phi_{\text{вн.в}}$, %, внутреннего воздуха, а также температурой поверхности почвы (1) $t_{\text{пов}}$, $^\circ\text{C}$. Часть теплоты величиной $Q_{\text{изл}}$ поглощается

поверхностью почвы (1), а часть (не указана на рис. 1) – отражается в направлении к внутренней поверхности ограждения (2) зимней теплицы, имеющей температуру $t_{огр}$. Кроме того, тепловой поток $Q_{луч}$ передается излучением внутренней поверхности ограждения (2) зимней теплицы от более нагретой поверхности почвы (1). Тепловые потоки на поверхности почвы (1), вызванные конвективным теплообменом $Q_{конв}$ и испарением влаги $Q_{исп}$, направлены в помещение зимней теплицы. Тепловые потери в зимней теплице связаны с теплопередачей $Q_{огр}$ через ограждение (2) в окружающую среду с температурой и относительной влажностью соответственно $t_{н.в}$ и $\Phi_{н.в}$, а также в грунт $Q_{гр}$. Тепловой поток $Q_{вент}$ уходит вместе с воздухом через вытяжной вентиляционный проем (5).

В зимней теплице осуществляется равномерный полив поверхности почвы (1). Расход воды на нужды орошения $G_{пол}$, кг/ч, определяется расчетным способом и направлен на поглощение влаги растениями (на рис. 1 условно не показаны) $G_{полл}$ и на испарительные процессы $G_{исп}$, происходящие на поверхности почвы (1). Поддержание заданного баланса влаги на поверхности почвы (1) за счет равенства приходных $G_{полл}$ и расходных $G_{полл}$ и $G_{исп}$ статей позволяет со-

хранять постоянным ее влагосодержание $W_{пов}$, кг/кг. Влажность внутреннего воздуха также остается постоянной, так как влага $G_{исп}$, испарившаяся с поверхности почвы (1), расходом $G_{вент}$ уходит вместе с вытяжным воздухом через вытяжной вентиляционный проем (5).

В таком случае уравнение теплового баланса зимней теплицы при комбинированном отоплении (рис. 1) будет иметь вид:

$$Q_{общ} = Q_{изл} + Q_{вп} = Q_{огр} + Q_{вент} + Q_{гр}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где $Q_{общ}$ – общая (суммарная) тепловая мощность комбинированной системы отопления зимней теплицы, Вт; $Q_{изл}$ – тепловая мощность газового инфракрасного излучателя (3), Вт; $Q_{вп}$ – тепловая мощность газового воздухонагревателя (4), Вт; $Q_{огр}$ – потери теплоты теплопередачей через ограждение (2) зимней теплицы, Вт; $Q_{вент}$ – потери теплоты с вентиляционным воздухом, уходящим из зимней теплицы через вытяжной вентиляционный проем (5), Вт; $Q_{гр}$ – потери теплоты в грунт, Вт.

Рассмотрим на примере промышленной теплицы «Фермер 7.5» (рис. 2) метод расчета комбинированной системы отопления.

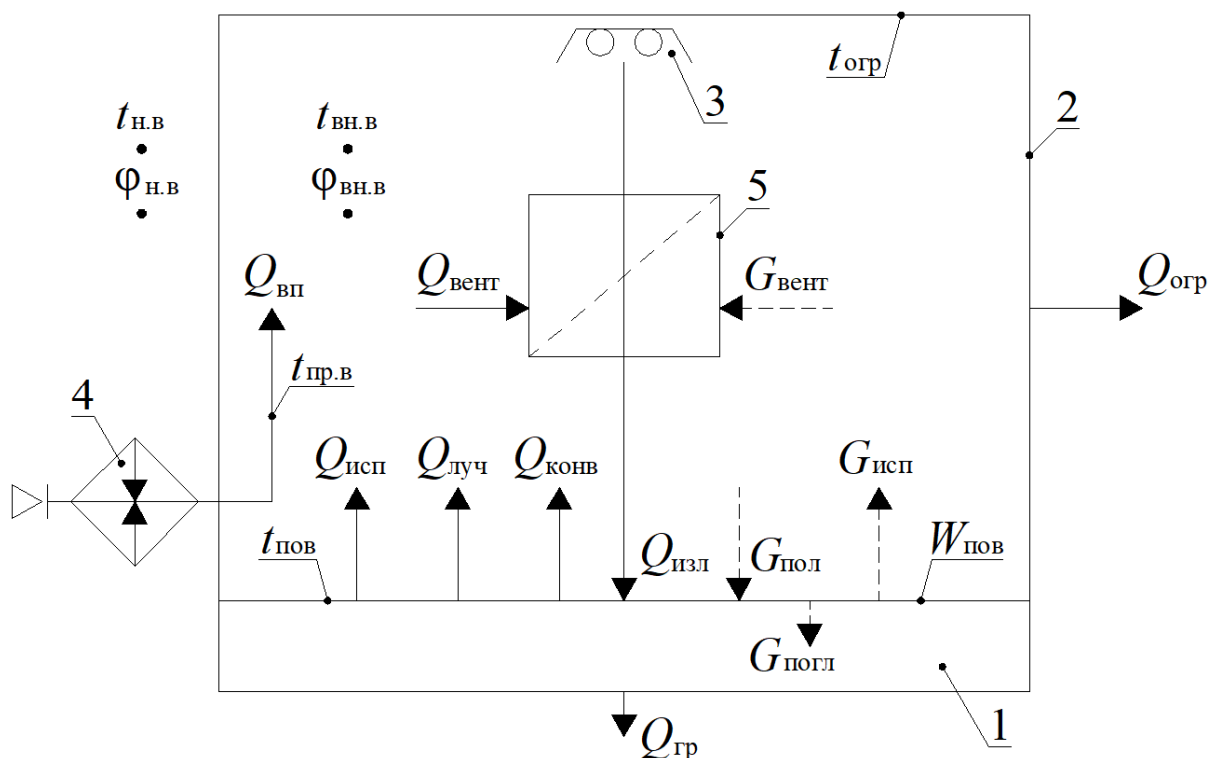


Рис. 1. Комбинированная система отопления зимней теплицы:
1 – почва; 2 – ограждение; 3 – газовый инфракрасный излучатель;
4 – газовый воздухонагреватель; 5 – вытяжной вентиляционный проем

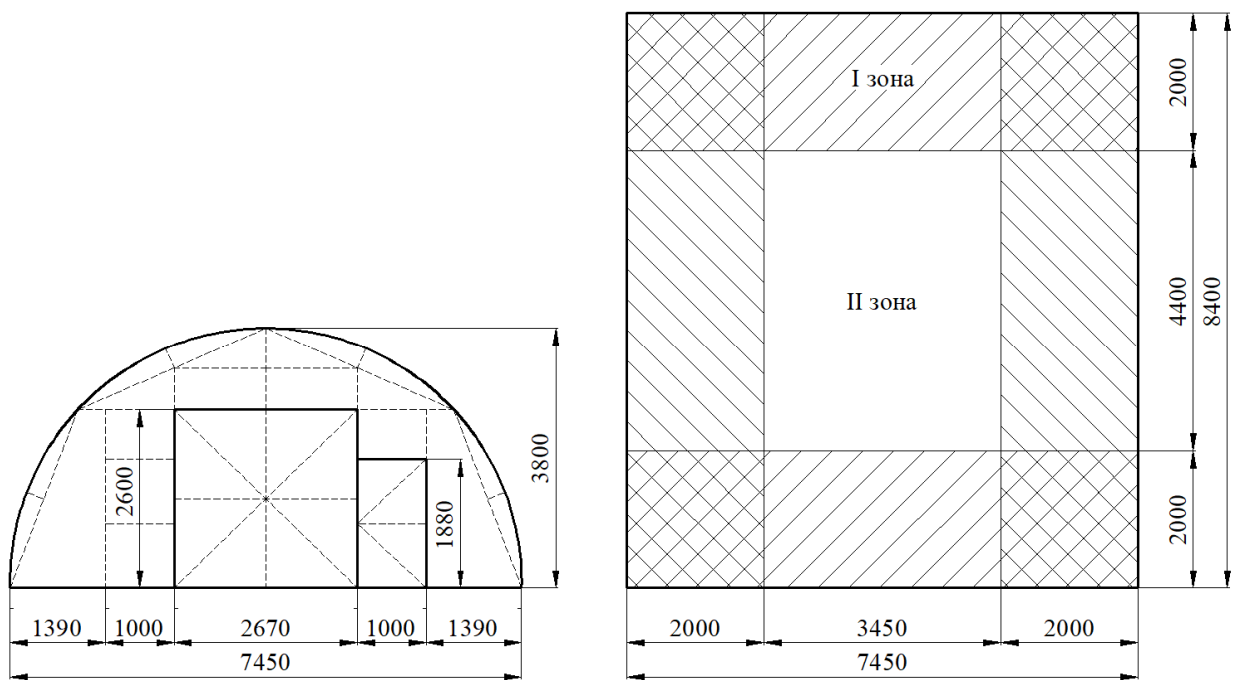


Рис. 2. Промышленная теплица «Фермер 7.5» и схема разбивки грунта на зоны

Исходные данные для выполнения расчета:

1. Размеры (габариты) теплицы: ширина $a = 7,45$ м ; длина $b = 8,40$ м ; высота (в верхней точке помещения) $h = 3,80$ м.

2. Расчетные параметры внутреннего воздуха (РД-АПК 1.10.09.01-14): температура $t_{вн.в} = 22$ °С ; относительная влажность $\phi_{вн.в} = 75$ %.

3. Параметры поверхности почвы (огурцы до плодоношения в зимне-весенний оборот, РД-АПК 1.10.09.01-14): температура $t_{пов} = 20$ °С ; коэффициент поглощения инфракрасного излучения $A = 75$ %.

4. Параметры ограждения: материал – сотовый поликарбонат; термическое сопротивление ограждения $R_{отр} = 0,25$ м² · К/Вт .

5. Расчетные параметры наружного воздуха для условий города Вологды (СП 131.13330.2018): температура $t_{н.в} = -32$ °С ; относительная влажность $\phi_{н.в} = 85$ %.

6. Параметры вентиляции: принудительная вентиляция с механическим пробуждением; кратность воздухообмена $n_v = 1,0$ м³/мин на 1 м² расчетной площади теплицы (минимальная кратность воздухообмена для индивидуальных теплиц круглогодичного использования).

7. Параметры орошения: коэффициент орошения поверхности почвы $k_{ор} = 1$ (орошается вся поверхность почвы в теплице).

8. Параметры газообразного топлива: природный газ; химический состав $CH_4 = 92,3$ % , $C_2H_6 = 0,7$ % , $C_3H_8 = 0,5$ % , $C_4H_{10} = 0,5$ % , $C_5H_{12} = 0,2$ % , $N_2 = 5,3$ % , $H_2O = 0,5$ % ; влагосо-

держание $d_{пр} = 10$ г/м³ ; плотность $\rho_t = 0,769$ кг/м³ ; низшая теплота сгорания $Q_n^p = 34,832$ МДж/м³ ; объем трехатомных газов в продуктах сгорания газообразного топлива $V_{RO_2} = 0,982$ м³/м³ .

9. Параметры газового инфракрасного излучателя: лучистый КПД $\eta_{луч} = 52$ % ; тепловой КПД $\eta_{изл} = 93$ %.

10. Параметры газового воздухонагревателя: тепловой КПД $\eta_{вп} = 91$ %.

Расчет комбинированной системы отопления промышленной теплицы «Фермер 7.5» (рис. 2) выполнен в математическом редакторе «Mathcad». Данный метод расчета основан на решении системы взаимосвязанных уравнений теплового и материального балансов помещения зимней теплицы, ее ограждения и поверхности почвы. К результатам решения относятся температура ограждения $t_{отр}$, °С, и приточного воздуха $t_{пр.в}$, °С, а также все тепловые и массовые потоки (приходные, расходные), представленные на рисунке 1.

На рисунке 3 показана зависимость расчетной тепловой мощности газового инфракрасного излучателя $Q_{изл}$, Вт, и газового воздухонагревателя $Q_{вп}$, Вт, от температуры наружного воздуха $t_{н.в}$, °С, за период отопительного сезона (для условий города Вологды). Дополнительной осью выступил расход углекислого газа V_{CO_2} , м³/ч, который потенциально может подаваться в зимнюю теплицу в случае утилизации продуктов сгорания природного газа.

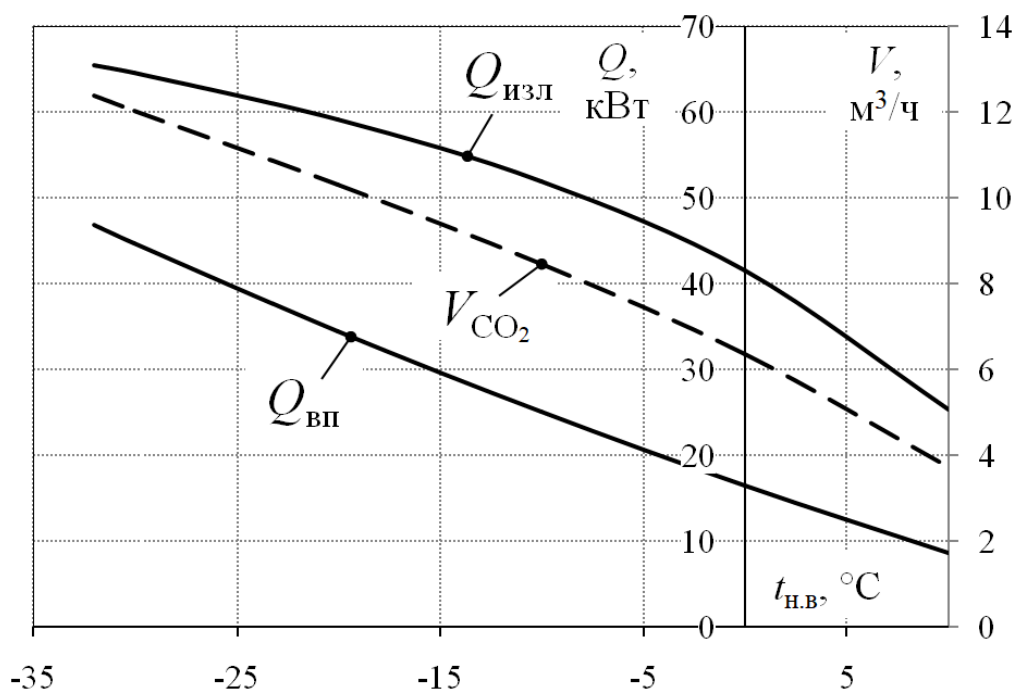


Рис. 3. Тепловая мощность комбинированной системы отопления зимней теплицы и подача углекислого газа (CO_2)

Согласно рисунку 3, с ростом температуры наружного воздуха $t_{н.в}$, °C, закономерно будут снижаться требуемая тепловая мощность газового инфракрасного излучателя $Q_{изл}$, Вт, и необходимый расход теплоты на нагрев приточного воздуха $Q_{вп}$, Вт, так как в соответствии с уравнением (1) тепловые потери через ограждение теплицы на нужды вентиляции и в грунт начнут уменьшаться. Снижение тепловой мощности комбинированной системы отопления зимней теплицы $Q_{общ}$ неизбежно приведет к уменьшению объема продуктов сгорания природного газа, а значит и к сокращению углекислого газа (CO_2), получаемого в единицу времени. В целом, корреляционная зависимость имеет вид:

$$V_{CO_2} = 0,11Q_{общ} - 0,025, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где $Q_{общ}$ имеет размерность [кВт].

Утилизация продуктов сгорания газообразного топлива в случае совместного применения двух различных газовых источников тепловой энергии для отопления зимней теплицы позволяет одновременно получать как дополнительную тепловую энергию, так и углекислый газ (CO_2). В первом случае это позволит уменьшить требуемую тепловую мощность газового инфракрасного излучателя и газового воздухонагревателя (расчеты показали, что теплота от продуктов сгорания газообразного топлива может составлять более 20 % суммарной тепловой мощности комбинированной системы отопления). Во втором случае – приток углекислого газа (CO_2) в качестве неотъемлемого химического соединения для осуществления фотоавтотрофной функции растений

окажет благоприятное влияние на их рост, развитие и плодоношение.

Литература

1. Баишева, Л. М. Микроклимат фермерской теплицы в условиях Крайнего Севера / Л. М. Баишева, Л. А. Львова // Перспективы науки. – 2019. – № 11 (122). – С. 22–25.
2. Мухачев, А. Д. Применение поликарбонатов в качестве энергоэффективной светопрозрачной конструкции / А. Д. Мухачев // Образование, наука, производство. – 2015. – С. 1326–1329.
3. Иванов, С. А. Использование модели Хольта для прогнозирования изменения температурного режима в закрытом грунте / С. А. Иванов, И. Ю. Квятковская // Вестник СГТУ. – 2016. – Т. 1. – № 1 (82). – С. 18–22.
4. Мазаев, Л. Р. Оптимизация режимов работы аккумуляторов тепла с разными материалами в солнечной теплице / Л. Р. Мазаев // Вестник ИрГСХА. – 2011. – № 46. – С. 92–98.
5. Кожухов, В. А. Разработка системы аккумулирования тепловой энергии в теплице с использованием тепловых насосов / В. А. Кожухов, А. Ф. Семенов // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 3. – С. 293–297.
6. Олейниченко, В. Г. Воздушная система отопления и кондиционирования теплиц с использованием геотермального источника энергии / В. Г. Олейниченко, В. В. Величко // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 7 (111). – С. 84–87.
7. Узаков, Г. Н. Обоснование эффективности применения пиролизной установки для отопления теплиц / Г. Н. Узаков, Х. А. Давланов, Ю. Г. Узакова // Молодой ученый. – 2015. – № 19 (99). – С. 219–223.

M.V. Pavlov, D.F. Karpov
Vologda State University

WINTER GREENHOUSE COMBINED HEATING SYSTEM

The article considers the combined heating system of the winter greenhouse, which includes two different sources of thermal energy: an infrared emitter and an air heater. The first heat source forms the required thermal conditions of the soil while the second creates the necessary conditions of the winter greenhouse inside, determined by the internal air temperature. Gas heating equipment is of particular interest, as in this case it is possible to recycle heat from combustion products of gaseous fuel and to obtain carbon dioxide (CO₂) for the plants photosynthesis reaction.

Combined heating system; gas infrared emitter; gas air heater; soil; winter greenhouse.