

**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

*Павлов М.В. Методики расчета систем лучистого отопления теплиц // Материалы по итогам I-ой Всероссийской научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований: технические науки и физико-математические науки», 20 – 30 мая 2019 г. – 0,3 п. л. – URL: [http://akademnova.ru/publications\\_on\\_the\\_results\\_of\\_the\\_conferences](http://akademnova.ru/publications_on_the_results_of_the_conferences)*

**СЕКЦИЯ: Архитектура и строительство**

**М.В. Павлов**

**ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»**

**г. Вологда, Вологодская область,**

**Российская Федерация**

## **МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СИСТЕМ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ ТЕПЛИЦ**

Тепловой режим зданий и сооружений в зависимости от их назначения может быть постоянным или переменным. Для наибольшего числа строительных объектов, к которым также относятся зимние теплицы, характерен постоянный тепловой режим, требующий круглосуточного поддержания в течение всего отопительного периода года установленных параметров микроклимата (прежде всего, температуры внутреннего воздуха). Данное условие обеспечивается, как правило, за счет работы системы отопления, которая предназначена для компенсации недостающей тепловой энергии в каждом помещении здания. Поэтому при решении вопроса о необходимости устройства системы отопления и определении ее суммарной мощности составляют отдельно для каждого помещения тепловой баланс, представляющий собой сопоставление тепловых потерь и теплопоступлений

при расчетных условиях, т. е. при максимальном дефиците теплоты в режиме функционирования системы отопления [1, с. 47].

Рассмотрим некоторые способы расчета систем отопления теплиц.

В классической литературе, например в учебнике [2, с. 388–389], мощность системы отопления теплицы  $Q_{от}$ , Вт, рассчитывается по уравнению<sup>1</sup>:

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{гр} + Q_{инф}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $Q_{огр}$  – потери теплоты через ограждение теплицы (наружные стены, покрытия (скаты)), Вт. Тепловые потери через скаты задаются заранее для обеспечения таяния выпадающего снега;  $Q_{гр}$  – потери теплоты в грунт, Вт, рассчитываемые по известному способу с разделением его площади на зоны ( $Q_{гр} \approx 0,2Q_{огр}$ );  $Q_{инф}$  – тепловые затраты на нагревание инфильтрующегося воздуха, Вт.

Уравнение теплового баланса теплицы (1) не учитывает возможный воздухообмен в помещении, организованный системой приточно-вытяжной вентиляции. Это, в первую очередь, касается промышленных теплиц для круглогодичного использования. Дело в том, что выращиваемые в теплице растения достаточно быстро поглощают весь доступный в помещении объем углекислого газа ( $CO_2$ ). Во избежание снижения концентрации  $CO_2$  во внутреннем воздухе требуется обеспечить регулярный приток свежего воздуха в помещение. Тепловую мощность системы отопления теплицы следует определять по результатам решения не только уравнения теплового баланса теплицы (1), но и должны быть соотношения, которые бы учитывали

---

<sup>1</sup>Здесь и в остальных уравнениях научной статьи условные обозначения величин, а также пояснения к ним сохранены в оригинальных вариантах

происходящие в ней процессы массопереноса. Теплица является специфическим типом здания, которое нуждается не только в заданном количестве теплоты, но и в требуемом расходе воды на полив почвы и растений. Причем задача усложняется еще тем, что тепловые и массообменные процессы, происходящие в теплицы, взаимосвязаны (например, при нагреве почвы влага на ее поверхности превращается в водяной пар, что в итоге может привести к пересыщению влажного воздуха). Таким образом, выражение (1) не является достаточным для определения требуемой мощности системы отопления теплицы и поэтому может быть использовано только для предварительных расчетов.

Иная ситуация, связанная с избыточным количеством всевозможных потоков тепловой энергии в теплице, рассмотрена в учебнике [3, с. 458]. В книге приводится расчетная схема теплового баланса теплицы, которая включает в себя не только величины  $Q_{огр}$ ,  $W_t$ ,  $Q_{гр}$  и  $Q_{инф}$ , но и, например, теплоту  $Q_{гр}^+$ , получаемую от грунта, конвективную  $Q_k^п$  и лучистую  $Q_l^п$  составляющие теплообмена на внутренней поверхности ограждения (с учетом конденсации водяных паров  $Q_{конд}^п$ ), теплоту естественных  $Q_{стр}^e$  и искусственных  $Q_{стр}^и$  воздушных струй и мн. др. То же самое относится и к расчетной схеме теплообмена в теплице, представленной в работе [4, с. 7], в которой учитываются: теплоотдача от листьев растений к воздуху теплицы; расход тепловой энергии на испарение влаги с поверхностей листьев растений (транспирацию) и почвы и ее последующее возвращение обратно в теплицу; теплота, которая затрачивается на нагрев тканей и биологические процессы в растениях (например, фотосинтез) и др. Вероятно, что данные варианты уравнений тепловых балансов ближе к действительности, однако, решения

математических моделей, которые бы учитывали все без исключения тепловые процессы в теплице, представляют определенные трудности. Для инженерных расчетов необходим учет только тех тепловых потоков, которые вносят существенный вклад в тепловой баланс теплицы. Кроме того, в обоих случаях также не исследована связь между тепло- и массообменными процессами и не рассчитан требуемый расход воды на полив почвы.

Уравнение теплового баланса теплицы, включающее в себя только основные тепловые потоки и предназначенное для определения тепловой мощности системы отопления  $Q$ , Вт, при заданной температуре внутреннего воздуха, предложено в научной статье [5, с. 48–50]:

$$\sum_{i=1}^n q_{wi} F_{wi} + Q_F = Q, \text{ Вт}, \quad (2)$$

$$q_{wi} = \frac{1}{F_{wi}} (Q_{TW} + Q_{FW} + Q_{AB} + Q_{TH}), \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $q_{wi}$  – удельные тепловые потоки через наружные ограждающие конструкции при их количестве  $n$ , Вт/м<sup>2</sup>;  $F_{wi}$  – площадь наружных стен и покрытия при их общем количестве  $n$ , м<sup>2</sup>;  $Q_F$  – потери теплоты за счет механической или естественной вентиляции, Вт;  $Q_{TW}$  – потери теплоты вследствие разности температур внутреннего и наружного воздуха, Вт;  $Q_{FW}$  – потери теплоты за счет фильтрации воздуха через притворы и по контуру примыкания светопрозрачных покрытий к стене, обусловленные разницей давлений и температур внутри и снаружи теплицы, Вт;  $Q_{AB}$  и  $Q_{TH}$  – теплопоступления в результате солнечной радиации, соответственно поглощаемой ограждающими конструкциями теплицы и непосредственно проникающей в помещение, Вт.

Тем не менее, данной методике расчета системы отопления теплицы присущи те же самые недостатки, о которых упоминалось ранее.

Для расчета системы лучистого отопления теплицы с применением электрических инфракрасных излучателей (ЭИИ) может быть использована следующая система уравнений теплового баланса [6, с. 49]:

$$P = P_{\text{общ.}} - Q_{\text{внутр.}}, \text{ Вт}, \quad (4)$$

$$P_{\text{общ.}} = P_{\text{т}} + P_{\text{в}}, \text{ Вт}, \quad (5)$$

где  $P$  – величина «чистых» тепловых потерь, Вт;  $P_{\text{общ.}}$  – общие тепловые потери в помещении, Вт;  $Q_{\text{внутр.}}$  – мощность внутреннего источника тепловыделения, Вт;  $P_{\text{т}}$  – потери теплоты путем теплопроводности, Вт;  $P_{\text{в}}$  – вентиляционные потери тепловой энергии, Вт.

Уравнение теплового баланса помещения с газовым лучистым отоплением может выглядеть следующим образом [7, с. 63–64]:

$$\sum_{i=1}^n Q_{i-в} + Q_{г-в} + Q_{к.тп} = Q_{п.в} + Q_{в}, \text{ Вт}, \quad (6)$$

где  $Q_{i-в}$  – тепловой поток от  $i$ -ой поверхности ограждения к внутреннему воздуху при их расчетном количестве  $n$ , Вт;  $Q_{г-в}$  – тепловой поток, который инфракрасный излучатель отдает внутреннему воздуху конвективным путем, Вт;  $Q_{к.тп}$  – часть конвективных теплопоступлений от других объектов (кроме газовых инфракрасных излучателей (ГИИ)), Вт;  $Q_{п.в}$  – расход теплоты на нагрев приточного вентиляционного воздуха, Вт;  $Q_{в}$  – теплота вытяжного воздуха, Вт.

Формула (6) учитывает главную особенность лучистого отопления: тепловой поток, направленный от излучателя к внутренним поверхностям ограждающих конструкций, расходуется на нагрев от контакта с ними

внутреннего воздуха при конвективном теплообмене и на компенсацию тепловых потерь в окружающую среду теплопроводностью через ограждение помещения. Тем не менее, если в помещении имеет место стационарный тепловой режим и предусмотрена сбалансированная вентиляция, то  $Q_{п.в} + Q_{в} = 0$  (расход теплоты, затрачиваемый на нагрев воздухом помещения приточного воздуха, полностью компенсирует потери теплоты с уходящим вентиляционным воздухом). Таким образом, в правой части уравнения теплового баланса помещения (6) не достаёт прочих тепловых потерь (через ограждение, в грунт и т. д.), которые обычно учитываются при расчете тепловой мощности системы отопления.

Примечательно, что, помимо уравнения теплового баланса помещения (6), в данной статье отдельно приводится уравнение теплового баланса ограждения:

$$\sum_{i=1}^{n-1} Q_{1-i} + Q_{1-в} + Q_{в-1} = Q_{г-1} + Q_{в.тп.1}, \text{ Вт}, \quad (7)$$

где  $Q_{1-i}$  – тепловой поток от внутренней поверхности 1 ограждения на  $i$ -ую поверхность, Вт;  $Q_{1-в}$  – конвективный тепловой поток от внутренней поверхности 1 к внутреннему воздуху, Вт;  $Q_{в-1}$  – тепловой поток за счет теплопередачи через ограждающую конструкцию в окружающую среду, Вт;  $Q_{г-1}$  – теплота, которую получает поверхность 1 от инфракрасного излучателя, Вт;  $Q_{в.тп.1}$  – часть лучистых тепlopоступлений от других тел (кроме излучателя), которые достигают поверхности 1 ограждения, Вт.

Для системы отопления с использованием в качестве источников теплоты газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) в работе [8, с. 112–113] предложена несколько иная форма записи уравнения теплового баланса:

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

$$K_3 \sum_{i=0}^n Q_i^{\text{ГИИ}} + Q_T - Q_{\text{огр}} - Q_B - Q_M = 0, \text{ Вт}, \quad (8)$$

где  $K_3$  – коэффициент загруженности ГИИ;  $\sum_{i=0}^n Q_i^{\text{ГИИ}}$  – суммарные тепlopоступления от ГИИ, Вт;  $Q_T$  – тепlopоступления в помещение от технологического оборудования и производственных процессов, освещения, людей и т. п., Вт;  $Q_{\text{огр}}$  – потери теплоты через ограждающие конструкции, Вт;  $Q_B$  – тепловые затраты на нагрев воздуха, поступающего в помещение за счет инфильтрации и вентиляции, Вт;  $Q_M$  – потери теплоты на нагрев изделий, оборудования, транспортных средств и т. п., поступающих в помещение с улицы, Вт.

В стандарте организации [9, с. 8–12] расчетная тепловая нагрузка на систему лучистого отопления находится по уравнению:

$$Q_{\text{сло}} = \sum_{i=1}^3 Q_i^- - \sum_{i=1}^5 Q_i^+, \text{ Вт}, \quad (9)$$

где  $Q_1^-$  – потери теплоты через ограждение помещения (наружные стены, светопрозрачные конструкции, потолочное перекрытие, пол на грунте или на лагах), Вт;  $Q_2^-$  – потери теплоты за счет инфильтрации наружного воздуха, Вт;  $Q_3^-$  – потери теплоты на нагревание материалов, оборудования и транспортных средств, Вт;  $Q_1^+$  – тепlopоступления по данным технологической части, Вт;  $Q_2^+$  – тепlopоступления от солнечного излучения через светопрозрачные конструкции, Вт;  $Q_3^+$  – тепlopоступления от находящихся в помещении людей, Вт;  $Q_4^+$  – тепlopоступления от

искусственного освещения, Вт;  $Q_5^+$  – тепlopоступления от работающих электродвигателей, Вт.

Необходимую тепловую производительность системы лучистого отопления также можно определить по формуле [10, с. 10]:

$$Q_{от} = c(Q_{тп} + Q_{и} + Q_{вн}), \text{ Вт}, \quad (10)$$

где  $c$  – поправочный коэффициент, характеризующий снижение расхода теплоты на обогрев помещения при лучистом отоплении. Определяется по графику в зависимости от расчетных показателей, которые учитывают геометрические размеры отапливаемого помещения, теплотехнические параметры ограждения, кратность воздухообмена и температурный напор между внутренним и наружным воздухом;  $Q_{тп}$  – тепловые потери помещения, Вт;  $Q_{и}$  – расход теплоты на нагрев инфильтрующегося и приточного воздуха, Вт;  $Q_{вн}$  – тепловыделения в помещении от дежурного отопления, технологического оборудования и людей, Вт.

Как видно, каждая из проанализированных методик расчета системы лучистого отопления имеет свои достоинства и недостатки. Однако можно сделать вывод, что ни одна из них не рассматривает массообменные процессы, происходящие в теплице, не говоря уже о взаимосвязанных («перекрестных») тепломассообменных процессах. Необходимо разработать расчетный метод, который бы мог учитывать влияние как тепловых, так и массообменных процессов на тепловлажностный режим помещения теплицы. Вероятнее всего, он должен представлять собой систему взаимосвязанных уравнений тепломассопереноса, куда будут входить не только тепловые потоки, но и потоки массы вещества (влаги).



**Список использованной литературы:**

1. Свистунов, В.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: учебник для вузов / В.М. Свистунов, Н.К. Пушняков. – СПб.: Политехника, 2008. – 428 с.
2. Сканави, А.Н. Отопление: учебник для техникумов / А.Н. Сканави. – М.: Стройиздат, 1988. – 416 с.
3. Отопление и вентиляция: учебник для вузов: в 2 ч. Ч. 1: Отопление / П.Н. Каменев, А.Н. Сканави, В.Н. Богословский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1975. – 483 с.
4. Пенджиев, А.М. Физическая, математическая модель для описания термического режима в комбинированных культивационных сооружениях / А.М. Пенджиев, Д.А. Пенжиева // Проблемы современной науки и инновации. – 2017. – №3. – С. 4–18.
5. Волков, И.О. Математическая модель теплопередачи через оболочку культивационного сооружения / И.О. Волков, В.М. Каравайков // Механика и технологии. – 2013. – №4(42). – С. 47–51.
6. Болотских, Н.Н. Инфракрасный обогрев теплиц с помощью электрических длинноволновых нагревательных панелей / Н.Н. Болотских // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – №9 (140). – С. 43–52.
7. Дыскин, Л.М. Тепловой баланс помещения с газовым лучистым отоплением / Л.М. Дыскин, В.В. Шиванов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – №8. – С. 62–65.
8. Голяк, С.А. Особенности теплового баланса помещений с системами отопления на основе газовых инфракрасных излучателей / С.А. Голяк, В.В. Пятачков // Молодой ученый. – 2010. – №1-2(13). – Т. I. – С. 111–113.
9. СТО Газпром 2-1.9-440-2010. Стандарт организации. Методика расчета систем лучистого отопления: утв. ОАО «Газпром» от 04.03.2010 №43. – Введ. 30.12.2010. – М., 2010. – 52 с.
10. СТО НП АВОК 4.1.5-2006. Стандарт организации. Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями: утв. приказом Президента НП «АВОК». – Введ. 30.11.2006. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 12 с.

**Опубликовано: 20.05.2019 г.**

**© Академия педагогических идей «Новация», 2019**

**© Павлов М.В., 2019**