7. Дорощук О.Н., Дорощук А.И. Влияние сезонного колебания цен на финансовое состояние аграрных предприятий // Российский экономический интернет-журнал АТиСО / Акад. труда и социал. отношений. – М.: АТиСО, 2009. – С. 1-12.

8. Дорощук А.И., Гужвина Н.С. Методические и прикладные аспекты анализа влияния случайных производственных факторов на риски в растениеводстве // Современные научные исследования: проблемы и перспективы: сб. мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Киров: МЦИТО, 2022. – С. 115-124.

9. Дорощук А.И. Экономико-статистическое моделирование производственных рисков в растениеводстве // Организационно-экономические и финансовые аспекты Развития АПК: мат. национ. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГАУ, 2021. – С. 89-101.

10. Глава Минсельхоза сообщил о выделении ₽558 млрд. на поддержку отрасли АПК. РБК Отрасли. 09.02.2024. – URL: https://www.rbc.ru/industries/news/65c616299a79473b147af091.

Ежов Сергей Александрович
студент магистратуры Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
e.s.a.76@mail.ru

Рукин Вячеслав Александрович
студент магистратуры Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
rukin_va@magnit.ru

Токарева Анна Николаевна
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроэнергетика и теплоэнергетика»
Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
tanna_ing@mail.ru

Панченко Сергей Викторович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика и теплоэнергетика»
Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
panchenkosergey@mail.ru

Особенности методики расчета тепловых нагрузок в теплице при использовании энергосберегающих систем отопления

Аннотация. В статье представлены уточненные методики расчета для системы лучистого и системы лучисто-конвективного отопления теплицы. Представлены графические изменения дополнительно введенных коэффициентов от термического сопротивления ограждения, температуры воздуха, коэффициента орошения и поглощательной способности почвы. Представлено уравнение теплового баланса, учитывающее тепловые и массообменные процессы, происходящие на поверхности почвы. Данные методики позволяют определить технические мероприятия, на основе которых можно повысить энергоэффективность здания теплицы.

Ключевые слова: теплица, отопление, поправочный коэффициент, тепловой поток.

Yezhov Sergey A.
Rukin Vyacheslav A.
Tokareva Anna N.
Panchenko Sergey V.

Abstract. The article presents refined calculation methods for the radiant and radiant-convective heating systems of greenhouses. Graphical changes of additionally introduced coefficients from the thermal resistance of the fence, air temperature, irrigation coefficient and soil absorption capacity are presented. The heat balance equation is presented, taking into account the thermal and mass transfer processes occurring on the soil surface. These methods allow us to identify technical measures on the basis of which it is possible to increase the energy efficiency of the greenhouse building.
Key words: greenhouse, heating, correction factor, heat flow.

В агропромышленном комплексе одним из наиболее важных вопросов импортозамещения является производство продукции, выращиваемой в защищенном грунте. В связи с этим возникает необходимость в развитии имеющихся и открытии новых тепличных хозяйств.

Однако решение данного вопроса тормозится за счет роста тарифов на тепловую и электрическую энергию. Суммарные издержки тепличных хозяйств на электрическую и тепловую энергию составляют в среднем не менее 50 процентов всех расходов. Поэтому очень актуальным является вопрос о разработке и внедрении мероприятий по снижению потребления энергетических ресурсов в сооружениях защищенного грунта.

В настоящее время для уменьшения затрат тепловой энергии рассматривается ряд направлений, одним из которых является внедрение энергосберегающих систем отопления. К таким системам отопления можно отнести системы отопления на базе инфракрасных излучателей и комбинированные системы отопления.

Проведенные исследования [1–3] позволили установить, что при использовании систем лучистого отопления:

– чувство теплового комфорта создается при более низких температурах по сравнению с системами традиционного конвективного отопления;

– обеспечивается равномерность распределения температуры воздуха в объеме обслуживаемого помещения;

– сокращается перенос пыли и вредных выделений в помещении за счет более низкой подвижности воздуха;

– бесшумность работы и экологичность отопительной системы;

– незамерзаемость и отсутствие утечек теплоносителя через неплотности трубопроводных соединений;

– снижение затрат на перекачку теплоносителя от источника теплоснабжения;

– отсутствие необходимости в котельном агрегате;

– тсутствие затрат на техническое обслуживание оборудования тепловых сетей.

В работе [4] отмечен такой интересный факт, что тепловая «подушка», образованная под кровлей теплицы за счет теплового потока от излучателей, позволит уменьшить снеговую нагрузку на строительную конструкцию в зимнее время года, создав при этом подобие теплоизоляционного слоя.

Проведенное моделирование [3] позволило установить, что использование систем с газовыми инфракрасными обогревателями позволяет снизить на 40–50 % энергетические затраты по сравнению с вариантами использования традиционных систем отопления.

Для систем лучистого отопления, используемых в теплицах, разработаны методики инженерного расчета [5] учитывающие такие процессы, как испарение влаги с поверхности почвы и ее потери в окружающую среду, полив почвы и растений и их связь с тепловыми явлениями.

Особенностью данной методики является введение дополнительных коэффициентов при расчете плотности теплового потока $q_{изл}$ и требуемого расхода воды на полив почвы $g_{пол}$.

$$q_{изл} = C_R C_t C_k C_A q_{изл}^{\max} \quad (1)$$

$$g_{пол} = C_R^{/} C_t^{/} C_k^{/} C_A^{/} g_{пол}^{\max} \quad (2)$$

где $C_R\left(C_R^{/}\right)$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние термического сопротивления ограждения теплицы;

$C_t\left(C_t^{/}\right)$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температура поверхности почвы;

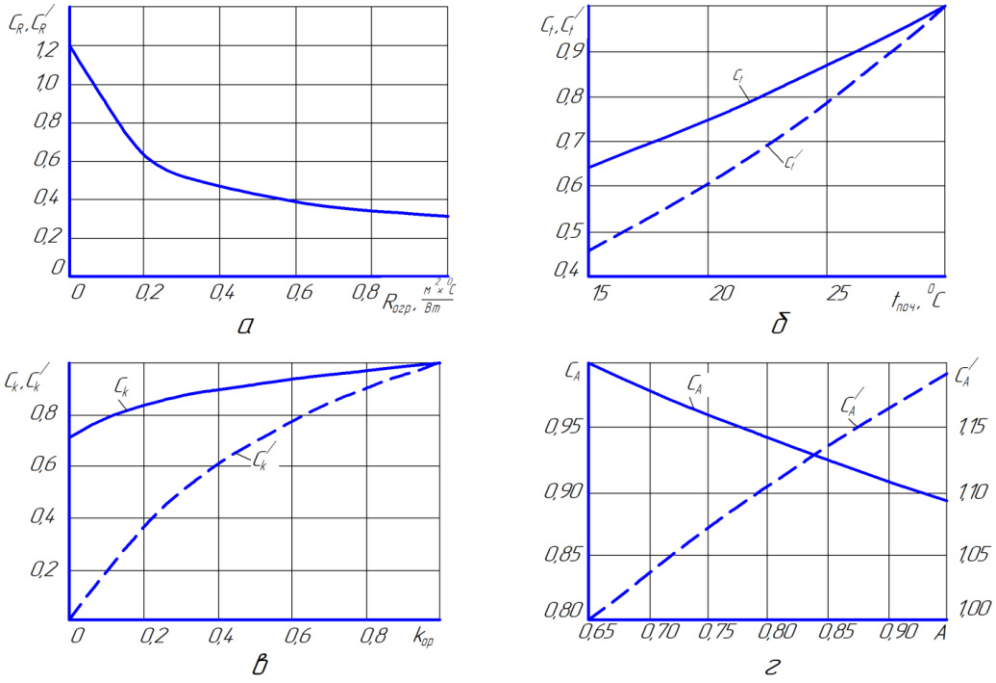
$C_k\left(C_k^{/}\right)$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние орошения почвы;

$C_A\left(C_A^{/}\right)$– поправочный коэффициент, учитывающий влияние поглощательной способности почвы *A*;

$q_{изл}^{\max}$ – максимальная плотность потока теплового излучения, зависящая от температуры наружного воздуха и кратности воздухообмена, $\frac{Вт}{м^2}$;

$g_{пол}^{\max}$ – максимальный удельный расход воды. зависящий от температуры наружного воздуха и кратности воздухообмена, $\frac{кг}{м^2 \cdot ч}$.

Получены и представлены графические зависимости [5] для определения данных дополнительных коэффициентов (рис. 1)



а – поправочные коэффициенты $C_R\left(C_R^{/}\right)$; б – поправочные коэффициенты $C_t\left(C_t^{/}\right)$; в – поправочные коэффициенты $C_k\left(C_k^{/}\right)$; г – поправочные коэффициенты $C_A\left(C_A^{/}\right)$

Рисунок 1 – Графические зависимости для определения поправочных коэффициентов

Предлагаемая методика позволила установить, что с увеличением температуры на поверхности почвы возникает необходимость в дополнительных энергетических затратах на отопление. Это связано с увеличением температуры внутреннего воздуха в теплице и как следствие увеличение тепловых потерь производственным помещением. Одновременно с этим возникает необходимость на увеличение расхода воды, так как повышенная температура воздуха в теплице интенсифицирует процесс испарения. Установлена зависимость между дополнительными коэффициентами для расчета плотности теплового потока и расхода тепловой воды на полив. Детальный анализ полученных коэффициентов позволяет выявить баланс тепловых потерь и расхода теплой поливочной воды для получения наименьших энергетических затрат.

К комбинированным системам отопления относятся системы, сочетающие несколько видов отопления.

В качестве примера [6; 7] можно рассмотреть систему с газовыми инфракрасными излучателями и газовыми воздухонагревателями. Применение газового воздухонагревателя в данном случае объясняется тем, что при низких температурах наружного воздуха при использовании только ГИИ нормируемая температура воздуха в помещении теплицы не достигается [6]. Инфракрасный излучатель в рассматриваемых условиях используется только для нагрева поверхности почвы и поддержания ее температуры. Отраженная часть тепловой энергии от поверхности почвы и дополнительный поток теплоты от газового воздухонагревателя обеспечивают требуемую нормируемую температуру воздуха в производственном помещении теплицы.

При расчете тепловых нагрузок теплицы в случае использования данной лучисто-конвективной системы отопления используется не только традиционное уравнение теплового баланса (3), но и специальное уравнение теплового баланса (4), учитывающее тепловые и массообменные процессы, происходящие на поверхности почвы

$$\Phi_{общ} = \Phi_{гии} + \Phi_{гв} = \Phi_{огр} + \Phi_{вент} + \Phi_{гр} \quad (3)$$

$$\frac{A_1 \Phi_{изл}}{1-(1-A_1)\cdot(1-A_2)\cdot\dfrac{\varphi_{21}}{1-\varphi_{22}\cdot(1-A_2)}} = \Phi_{луч} + \Phi_{вент} + \Phi_{гр} \quad (4)$$

где $\Phi_{общ}$ – общая тепловая мощность комбинированной системы отопления культивационного сооружения, *Вт*;

$\Phi_{гии}$ – тепловая мощность газового инфракрасного излучателя, *Вт*;

$\Phi_{гв}$ – тепловая мощность газового воздухонагревателя, *Вт*;

$\Phi_{огр}$ – потери теплоты теплопередачей через ограждение культивационного сооружения, *Вт*;

$\Phi_{вент}$ – потери теплоты с вентиляционным воздухом, *Вт* ;

$\Phi_{гр}$ – потери теплоты в грунт, *Вт*;

A_1 и A_2 – соответственно коэффициенты поглощения поверхности почвы и внутренней поверхности ограждения культивационного сооружения;

φ_{21} – коэффициент облученности с внутренней поверхности ограждения культивационного сооружения на поверхность почвы;

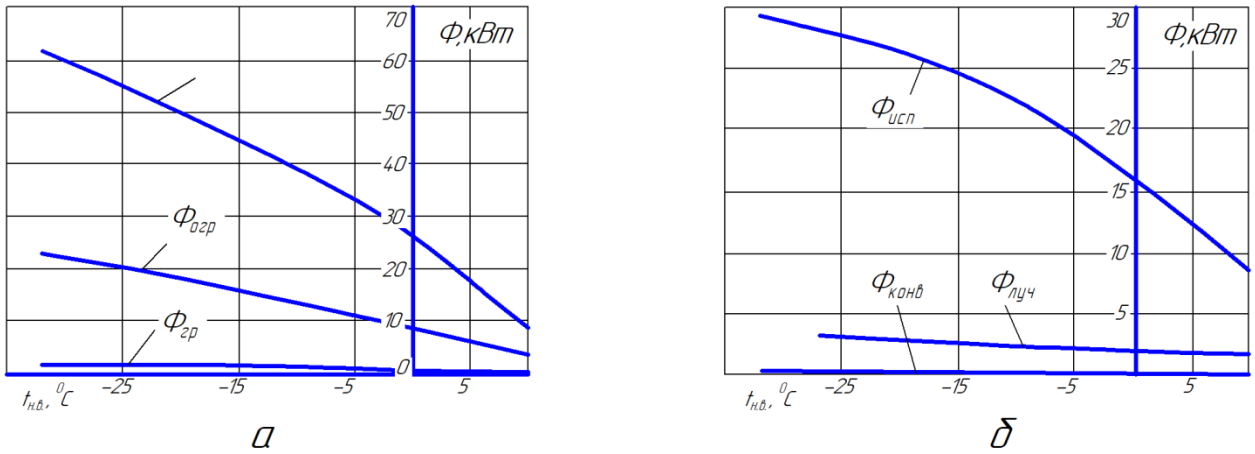
φ_{22} – коэффициент самооблученности внутренней поверхности ограждения культивационного сооружения;

$\Phi_{луч}$ – результирующее тепловое излучение, возникающее между поверхностью почвы и внутренней поверхностью ограждения культивационного сооружения, *Вт*;

$\Phi_{конв}$ – тепловой поток, вызванный конвективным теплообменом между поверхностью почвы и приземным слоем воздуха в культивационном сооружении, *Вт*;

$\Phi_{исп}$ – тепловой поток, расходуемый на испарение влаги с поверхности почвы, *Вт*.

Использовав представленное уравнение для расчета теплового баланса теплицы размерами 8,4 х 7,45 х 3,8 м применительно к условиям Вологодской области авторами [6; 7] были получены зависимости для определения расчетных тепловых потоков в помещениях теплиц. Графическая интерпретация полученных зависимостей представлена на рисунке 2.



а – тепловые потери; б–теплопритоки

Рисунок 2 – Расчетные тепловые потоки в теплице

Представленное распределение потоков позволяет дать их количественную оценку и определить технические мероприятия, которые позволяют в первую очередь уменьшить тепловые потери и увеличить тепловые притоки, повысив тем самым энергетическую эффективность теплицы.

Литература и источники

1. Павлов М.В., Дугинова К.А. Преимущества систем лучистого отопления на примере культивационных сооружений // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 1 (3). – С. 73-75.

2. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А. Системы лучистого газового отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – № 11 (107). – С. 54-57.

3. Бодров В.И., Смыков А.А. Теплофизические требования к конструкциям теплового контура зданий при лучистом отоплении // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2014. – № 17. – С. 177-180.

4. Куриленко Н.И., Чекардовский М.Н., Михайлова Л.Ю., Ермолаев А.Н. Повышение коэффициента полезного действия лучистой системы отопления с применением в качестве отопительных приборов «светлых» газовых инфракрасных излучателей // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 38. – № 4 (38). – С. 73.

5. Павлов М.В. Лукин С.В., Кочкин А.А. Инженерная методика расчета системы лучистого отопления теплицы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – № 52 (71) – С. 128-137.

6. Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Тепловой баланс культивационного сооружения с комбинированной системой отопления // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 3 (13). – С. 47-50.

7. Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Метод расчета комбинированной системы отопления зимней теплицы // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – № 5 (127). – С. 26-32.