

УДК 631.544.410

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА***М. А. Антонов, О. Ю. Каун, Н. И. Цыгулев*

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Тепловой баланс в помещении теплицы является важным показателем, который необходимо учитывать при возведении новых сооружений данного типа. Авторами представлены разработанная ими программа автоматического расчета мощности системы отопления для разных типов покрытий теплицы, а также полный функционал разработки. Объяснены цели и задачи теплотехнического расчета систем защищенного грунта, графически показаны составляющие теплового баланса теплицы. Определено, чем лучше отапливать помещение теплицы.

**Ключевые слова:** тепловой баланс, теплица, теплотехнический расчет, мощность обогрева.

**THERMAL ENGINEERING CALCULATION OF THE PROTECTED GROUND SYSTEM***M. A. Antonov, O. Yu. Kaun, N. I. Tsygulev*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The heat balance in the greenhouse is an important indicator in the construction of new structures of this type. The paper presents the developed program for automatic calculation of the heating system power for different types of greenhouse coverings, as well as the full functionality of the development. The goals and objectives of the heat engineering calculation of protected soil systems are explained, and the components of the thermal balance of the greenhouse are graphically presented. The best way to heat the greenhouse room is determined.

**Keywords:** heat balance, greenhouse, heat engineering calculation, heating power.

**Введение.** Температура внутри теплицы сильно зависит от окружающей среды, от ее географического расположения, а также от сезонных изменений атмосферных осадков и потоков ветра. В связи с этим важно сохранять тепловой баланс теплицы в любое время года.

Теплотехнический расчет решает задачи определения основных характеристик системы отопления, а также дает возможность определить

- расход тепла;
- поверхность приборов нагрева, которая требуется для отопления;
- мощность системы отопления теплицы.

Цель данной статьи — с помощью разработанной авторами программы определить, чем выгоднее отапливать теплицы (газом или электричеством), какой материал больше всего подходит для покрытия теплицы.

**Суть теплотехнического расчета теплицы.** Теплотехнический расчет регламентируется нормами технологического проектирования. В его основе лежат уравнения термического равновесия систем защищенного грунта, их элементами считаются уравнения сохранения тепла и массы для всех объемов и поверхностей сооружений, которые принимают участие в тепло- и массообмене [1].

Существует несколько видов теплотехнического расчета систем защищенного грунта. Одни сложны в решении, но имеют большую точность (их применяют в особо важных случаях и при

проектировании абсолютно новых сооружений), а другие — проще, они имеют меньше расчетов и применимы во всех других случаях [2].

На рис. 1 представлены составляющие теплового баланса. Знакопеременные тепловые потоки: теплообмен с почвой —  $Q_{\text{п}}$  и теплообмен с растениями —  $Q_{\text{раст}}$ . Положительные тепловые потоки — это тепло, которое отдает система отопления  $Q_{\text{от}}$  и солнечная радиация, проходящая через покрытие теплицы —  $Q_{\text{пр.с.р.}}$ , а отрицательные тепловые потоки — это потери тепла через покрытие теплицы —  $Q_{\text{огр}}$ , потери тепла вследствие инфильтрации —  $Q_{\text{инф}}$ , потери тепла вследствие вентиляции —  $Q_{\text{вент}}$  [3].

Объединив вышесказанное, получаем, что тепловой баланс теплицы в укрупненном виде будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{от}} + Q_{\text{пр.с.р.}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{почв}} + Q_{\text{раст}} \quad (1)$$

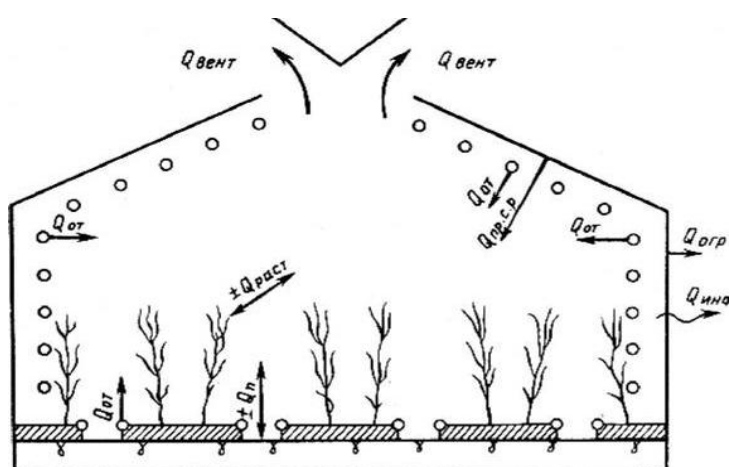


Рис. 1. Составляющие теплового баланса

Авторы предлагают расчет мощности системы отопления для разных типов покрытий теплицы с помощью программы, разработанной в Microsoft Excel.

Мощность системы отопления системы защищенного грунта должна быть достаточной для обеспечения компенсации теплопотерь, а они весьма немалые при больших площадях остекления этих сооружений.

Исходными данными для расчета являются инвентарная площадь теплицы, коэффициент ограждения, желаемая температура внутри помещения и минимальная температура снаружи, характерная для региона строительства теплицы.

Расчет тепловой мощности представлен в уравнении:

$$Q_{\text{от}} = k_{\text{инф}} \cdot S_{\text{огр}} \cdot \Delta t \cdot k_{\text{т}} \quad (2)$$

где  $Q_{\text{от}}$  – рассчитываемая мощность обогрева;

$S_{\text{огр}}$  – площадь ограждения теплицы, которая равна множеству коэффициента ограждения и инвентарной площади теплицы;

$k_{\text{инф}}$  – коэффициент инфильтрации. Он зависит от температуры внутри сооружения, которая необходима для благоприятного содержания растений и возможного уровня температур снаружи, т. е. на улице. В среднем коэффициент инфильтрации берется равным 1,25, но для более точных расчетов нужно учитывать условия, приближенные к наиболее худшим, во избежание возможных потерь;

$\Delta t$  – максимальная амплитуда температур, равная разнице между нормальным значением внутри теплицы и минимальным значением температуры снаружи;

$k_T$  – показатель теплопередачи материала покрытия теплицы [2].

При проведении расчетов для каждого материала покрытия теплицы были учтены их собственные значения теплопередачи.

Программа также позволяет произвести расчет стоимости электричества, которое будет потрачено на эксплуатацию отопителя, количества газа, потребляемого в час, а также затрат на отопление газом [4].

Расчет стоимости электроэнергии, затраченной на отопления за час эксплуатации отопителя, проводился путем умножения мощности отопителя на цену 1 кВт·ч (тариф на 10.03.2021 года по г. Ростову-на-Дону — 3,96 руб. за 1 кВт·ч).

Для расчета количества газа, потребляемого отопителем в час, использовалась формула:

$$N_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{от}}}{2 \cdot q} \quad (3)$$

где  $N_{\text{газ}}$  – количество газа, потребляемого отопителем в час;

$Q_{\text{от}}$  – рассчитываемая мощность обогрева;

$q$  – удельная теплота сгорания (для расчетов был взят природный газ с  $q=9,3$  кВт·м<sup>3</sup>).

Стоимость сгораемого газа в час рассчитывалась путем умножения количества потребляемого газа на цену 1 м<sup>3</sup> (тариф на 10.03.2021 года по г. Ростову-на-Дону — 6,4 руб. за 1 м<sup>3</sup>).

Для ответа на вопрос «Чем лучше отапливать теплицу — электричеством или газом?» в программе был произведен расчет при следующих исходных данных (рис. 2).

Ввод данных:	Значения	
Синвентарная	40	м2
когр	1,4	
Твн	15	°C
Тнар	-22	°C

Рис. 2. Окно исходных данных

Введя данные, получили следующие значения, представленные на рис. 3.

Материал покрытия	Необходимая мощность отопителя, кВт	Стоимость электричества в час, руб	Количество газа, потребляемого в час, м3	Стоимость газа в час, руб
Стекло с металлическими шпросами	9,95	39,38	0,53	3,42
2 слоя стекла с металлическими шпросами	5,13	20,31	0,28	1,76
Одинарное пленочное покрытие (сухая пленка)	15,54	61,54	0,84	5,35
Одинарное пленочное покрытие (конденсат на пленке)	11,66	46,15	0,63	4,01
Двухслойное пленочное покрытие (сухая пленка)	9,01	35,69	0,48	3,10
Двухслойное пленочное покрытие (конденсат на пленке)	7,15	28,31	0,38	2,46
Бетонный цоколь	3,11	12,31	0,17	1,07
Сотовый поликарбонат однокамерный 4мм	6,37	25,23	0,34	2,19
Сотовый поликарбонат однокамерный 6 мм	5,75	22,77	0,31	1,98
Сотовый поликарбонат однокамерный 8 мм	5,59	22,15	0,30	1,92
Сотовый поликарбонат однокамерный 10 мм	4,82	19,08	0,26	1,66
Сотовый поликарбонат двухкамерный 16 мм	3,42	13,54	0,18	1,18
Сотовый поликарбонат двухкамерный 20 мм	2,95	11,69	0,16	1,02
Сотовый поликарбонат двухкамерный 25 мм	2,56	10,15	0,14	0,88
Сотовый поликарбонат двухкамерный 32 мм	2,18	8,62	0,12	0,75

Рис. 3. Полученные данные

**Заключение (выводы).** В заключение можно сделать вывод, что по полученным данным видно: отапливать экономически выгоднее газом, нежели электричеством, а наиболее благоприятным материалом для покрытия теплицы является сотовый поликарбонат.

#### **Библиографический список**

1. СП 107.13330.2012 Теплицы и парники. Актуализированная редакция СНиП 2.10.04-85 / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095539> (дата обращения: 07.07.2021).

2. Каун, О. Ю. Автоматизированный тепличный комплекс / О. Ю. Каун // Молодежный инновационный конвент Ростовской области в 2015 году : сб. науч. ст. — Ростов-на-Дону, 2015. — 37 с.

3. Шиляев, М. И. Аэродинамика и тепломассообмен газодисперсных потоков : уч. пособие / М. И. Шиляев. — Москва : Форум : Инфра-М, 2015. — 287 с.

4. Джелен, Б. Сводные таблицы в Microsoft Excel / Б. Джелен, М. Александер. — Москва : Вильямс, 2017. — 448 с.

*Об авторах:*

**Антонов Михаил Андреевич**, аспирант кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344023, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Страны Советов, 1), [nevada@skillet.ru](mailto:nevada@skillet.ru)

**Каун Олег Юрьевич**, доцент кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344023, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Страны Советов, 1), кандидат технических наук, [okaun@mail.ru](mailto:okaun@mail.ru)

**Цыгулев Николай Иосифович**, заведующий кафедрой «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344023, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Страны Советов, 1), доктор технических наук, профессор, [ncygulev@mail.ru](mailto:ncygulev@mail.ru)

*About the Authors:*

**Antonov, Mikhail A.**, Postgraduate student, Department of Intelligent Electric Networks, Don State Technical University (1, Strany Sovetov Sq., Rostov-on-Don, 344023, RF), [nevada@skillet.ru](mailto:nevada@skillet.ru)

**Kaun, Oleg Yu.**, Associate professor, Department of Intelligent Electric Networks, Don State Technical University (1, Strany Sovetov Sq., Rostov-on-Don, 344023, RF), Cand.Sci., [okaun@mail.ru](mailto:okaun@mail.ru)

**Tsygulev, Nikolay I.**, Head, Department of Intelligent Electric Networks, Don State Technical University (1, Strany Sovetov Sq., Rostov-on-Don, 344023, RF), Dr.Sci., Professor, [ncygulev@mail.ru](mailto:ncygulev@mail.ru)