

## Литература

1. Баяев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению: учеб. пособие. – М.: КолосС, 2008. – 191 с.
2. Соколов В.Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами. – М.: Стройиздат, 1964. – 234 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования / А.Г. Шахназаров [и др.]. – М.: Теринвест, 1994. – 79 с.
4. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: санитарно-эпидемиологические правила СанПиН 2.1.4.1175-02: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 12 нояб. 2002 г. – URL: <http://www.mhts.ru>.
5. Преображенский А.Б. Обеззараживание воды УФ-облучением // Аква-терм. – 2002. – № 5. – URL: <http://www.inforpool.ru/obrabotka-vodi/obezzarazhivanie-vodi-uf-oblucheniem>.html.
6. Кабанова Ю.Л., Долгих П.П. Энергоэффективное обеззараживание питьевой воды с применением оптических технологий в АПК // Сиб. энергет. форум: сб. мат-лов. – Красноярск 2013. – 140 с.
7. Патент РФ №150375, МКИ<sup>7</sup> А01К1/00. Устройство для автопоения животных / Долгих П.П., Кабанова Ю.Л. – Заявл. 08.07.14; опубл. 20.02.15; Бюл. № 2.



УДК 631.544.4:628.8

И.А. Федорова, П.П. Долгих

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

*В статье рассмотрена проблема создания информационной системы для регулирования параметров микроклимата в теплице, решающей ряд задач, объединенных в подсистемы: расчет, диаграммы, отчет, сведения об изменении температуры в теплице. Это позволяет реализовать оптимальную технологию, заключающуюся в том, чтобы в любой момент времени создать такую совокупность условий, которая бы обеспечила оптимальное значение критерия эффективности.*

**Ключевые слова:** теплица, информационная система, параметры микроклимата, фотосинтез, график, диаграмма, отчет.

I.A. Fedorova, P.P. Dolgikh

### MODELING OF THE POWER EFFICIENT OPERATING MODES OF THE CLIMATIC EQUIPMENT WORK IN THE PROTECTED SOIL CONSTRUCTIONS

*The problem of the information system creation for the microclimate parameter regulation in the greenhouse that solves a number of tasks united into the subsystems: calculation, diagrams, report, data on the temperature change in the greenhouse is considered in the article. It allows to implement the optimum technology which consists in the fact that in any moment it is possible to create such set of conditions that would provide the optimum value of the efficiency criterion.*

**Key words:** greenhouse, information system, microclimate parameters, photosynthesis, schedule, diagram, report.

**Введение.** Современная теплица как объект управления температурным режимом характеризуется крайне неудовлетворительной динамикой и нестационарностью параметров, вытекающих из особенностей технологии производства (изменение степени загрязнения ограждения, нарастание объема листостебельной массы и т.д.). В то же время агротехнические нормы предписывают высокую точность стабилизации температуры ( $1^{\circ}\text{C}$ ), своевременное её изменение в зависимости от уровня фотосинтетически активной облученности, фазы развития растений и времени суток. Все эти обстоятельства определяют высокие требования к функционированию и качественному совершенствованию оборудования автоматизации [1,7,8].

**Цель работы.** Обосновать энергоэффективный способ регулирования микроклимата в теплице и разработать оборудование для его реализации.

Первым шагом к разработке системы автоматического управления температурным режимом в теплице является выявление математических моделей, т.е. выражений, определяющих связь между параметрами окружающей среды и выбранными критериями эффективности процесса [5].

На сегодняшний день возможности технологического оборудования в теплицах позволяют регулировать практически все параметры, обуславливающие режим микроклимата. Исключением является лишь солнечный свет. Поэтому агрономам при составлении требуемого режима микроклимата необходимо исходить из текущей интенсивности солнечной радиации, т.е. на пасмурную погоду необходимо составить один режим микроклимата, на солнечную – другой, а на ночные периоды – третий и т.д. Помимо этого, при составлении режима микроклимата также учитывается тип выращиваемой культуры, сорт, время года, а также фаза развития растения (рассада, плодоношение и т.д.) [6].

Технологическое оборудование, позволяющее регулировать тот или иной параметр микроклимата в теплице, называется исполнительной системой (ИС). Для разработки ИС был использован продукт компании Microsoft Visual C#. Язык C# прост, строго типизирован и объектно ориентирован [2].

Разработанная информационная система решает ряд задач, которые объединены в подсистемы: расчет, диаграммы, отчет.

Обычно применяемый метод расчета теплового баланса исходит из основных заданий (расчет теплотерь, теплового потока, мощность систем отопления) и использует ряд величин и формул из практики проектирования систем обеспечения микроклимата растениеводческих помещений. На главной форме происходит расчет необходимых параметров (рис. 1).

The screenshot shows a software interface titled 'Form1'. It contains two main columns of data. The left column lists input parameters with corresponding text boxes and dropdown menus. The right column lists calculated results with numerical values. At the top right, there are buttons for 'Расчет' (Calculate), 'Сохранить в базу' (Save to database), 'График' (Graph), and 'Отчет' (Report).

Parameter	Value	Parameter	Value
Температура внутреннего воздуха	20	Теплопотери через почву	3,86
Расчетная температура наружного воздуха	-20	Тепловой поток, расходящийся на испарение влаги из почвы	330,05
Температура ограждений	-18	Тепловой поток, излучения поверхности почвы	144,53
Расчетная температура теплоносителя	40	Тепловой поток, излучения на наружной поверхности ограждения	69,64
Площадь 1 зоны	167,4	Конвективный тепловой поток на наружной поверхности ограждения	70,59
Площадь 2 зоны	167,4	Тепловой поток, затрачиваемый на подогрев вентиляционного воздуха	14,61
Площадь 3 зоны	167,4	Тепловая мощность системы обогрева	58,7
Площадь 4 зоны	167,4	Общая мощность системы отопления	57484,09
Общая площадь культивационного сооружения	1506,6	Суммарная площадь поверхности труб обогрева	3175,92
Тепловая мощность системы подпочвенного обогрева	100	Общая длина греющих труб	13232,99
Относительная влажность внутреннего воздуха	0	Тепловой поток, от подпочвенного обогрева	373,29
Площадь наклонных поверхностей	1668,97	Необходимая длина труб системы обогрева	403,6
Площадь вертикальных поверхностей	579,97		
Плотность наружного воздуха	1,2		
Плотность внутреннего воздуха	1,3		
Плотность теплового потока	1810		
Диаметр труб	32		
Теплопроводность почвы	0,8		
Шаг заложения труб подпочвенного подогрева	0,6		
Наружный диаметр трубопроводов	0,051		
Глубина заложения труб	0,4		
Материал	Стекло		
Скорость ветра	5		

Рис. 1. Главная форма

Полученные данные можно сохранить в базу данных, нажав кнопку «Сохранить в базу» (рис.2).

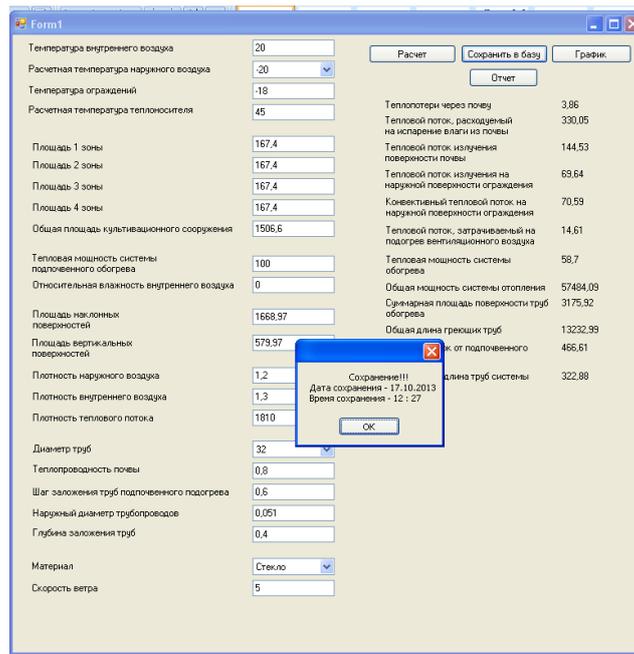


Рис. 2. Сохранение в базу данных

После того, как полученные параметры сохранили в базу, можно сформировать отчет.

В автоматизированной информационной системе находятся сведения об изменении температуры внутреннего воздуха в теплице. Открываем рабочую форму, вводим нужную дату и получаем нужное время после того, как ввели все данные. Далее нажимаем кнопку «Вывод на форму». После этого на форме появляются расчеты за дату, которую ввели. Также эти данные можно сохранить, нажав кнопку «Сохранить файл» (рис. 3).

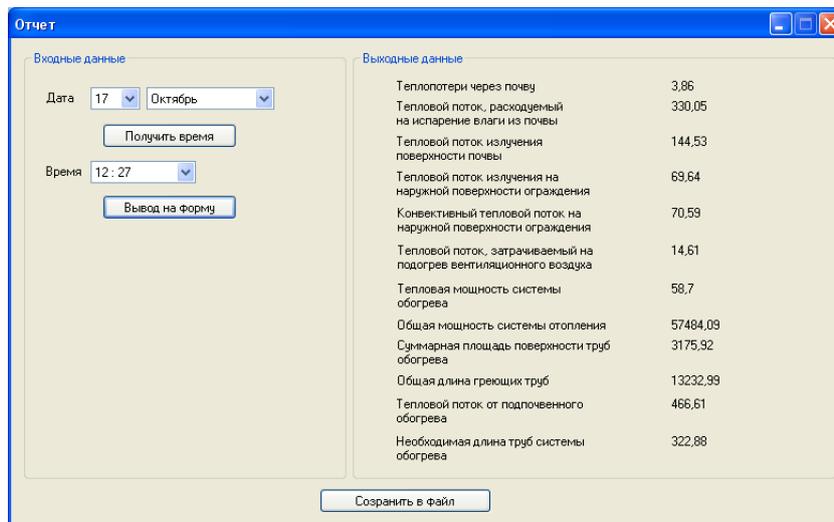


Рис. 3. Рабочая форма «Отчет»

При необходимости можно сформировать график функций, нажав кнопку на главной форме «График». После этого выводится окно для выбора графика. Графики можно сформировать за месяц и за день, нажав соответствующие кнопки (рис. 4).

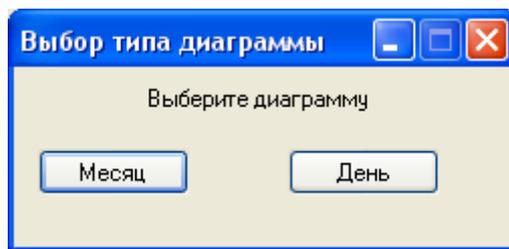


Рис. 4. Выбор диаграммы

После выбора типа графика открывается окно, остается выбрать нужный месяц и нажать кнопку «Построить». После чего строится диаграмма за выбранный день или месяц (рис. 5) [9].

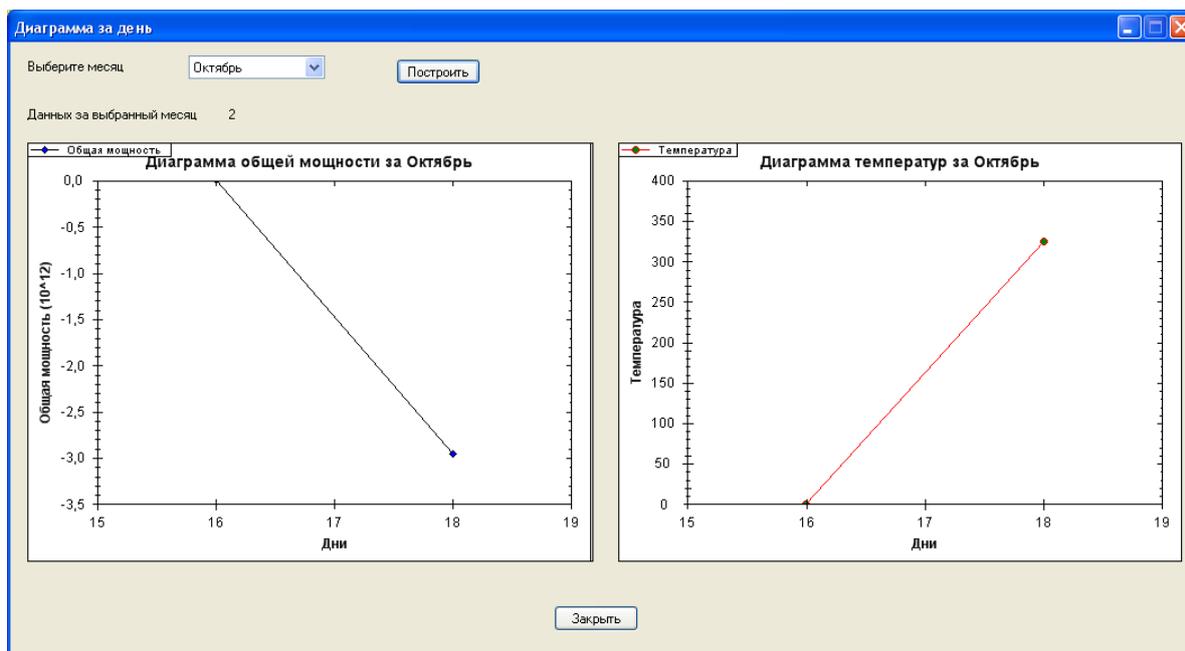


Рис. 5. Диаграмма за месяц

Величину технологического расхода энергии определяют из уравнения теплового баланса сельскохозяйственного сооружения

$$Q = \int_0^T (k(t_1 - t_4) S - Q_3) dt, \quad (1)$$

где  $Q_3$  – количество энергии, поступающей в теплицу в единицу времени за счёт радиации;  $k$  – коэффициент тепловых потерь;  $t_4$  – температура наружного воздуха, °C.

$$Q_3 = q_3 S_3 \eta_3, \quad (2)$$

где  $S_3$  – площадь, занимаемая теплицей, м<sup>2</sup>;  $q_3$  – поток солнечной радиации, кВт/м<sup>2</sup>;  $\eta_3$  – коэффициент, характеризующий прозрачность ограждения теплицы (стекла, плёнки).

$$K = K_0 + K_{11} \varphi_2 + K_{22} V_1 + K_{12} \varphi_2 V_1, \quad (3)$$

где  $K_0, K_{11}, K_{22}, K_{12}$  – постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально;  $V_1$  – скорость ветра, м/с;  $\varphi_2$  – относительная влажность наружного воздуха, %.

Теперь введем понятие дискретного промежутка времени  $\Delta t$ . При моделировании можно сделать допущение, что в любые равные по величине промежутки времени, на которые можно разделить весь период выращивания растений, формируется равная часть урожая. В течение этого промежутка времени величины  $V_1, \varphi_2, t_1, t_4, q_3$  можно считать постоянными. Тогда количество энергии, поступающее за этот промежуток времени в теплицу

$$\Delta Q = (K(t_1 - t_4)S - Q_3)\Delta\tau, \quad (4)$$

где  $S$  – площадь ограждения теплицы,  $m^2$ .

Условие минимума энергозатрат  $q$  примет вид

$$\frac{\Delta Q}{\Delta\Pi} = q \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $\Delta Q$  – затраты энергии на обогрев теплицы за промежуток времени  $\Delta\tau$ ;  $\Delta\Pi$  – продуктивность растений за этот же промежуток времени;  $\Delta t$  – величина дискретного промежутка времени, в течение которого возмущение практически постоянно, принимается на порядок выше величины постоянной времени объекта регулирования, то есть теплицы, по каналу быстродействующего возмущения.

Значение величины этой постоянной времени 10...15 минут получено экспериментальным путём в разработках кафедры автоматики ЧГАУ. Поэтому величина  $\Delta t$  принимается равной 1...1,5 минуты [4].

К косвенным показателям продуктивности относятся интенсивность видимого фотосинтеза  $\Phi$  и темнового дыхания  $D$ . Между  $\Phi$  и  $\Delta\Pi$  можно предложить зависимость

$$\Delta\Pi_1 = K_1\Phi\Delta\tau S_3; \quad (6)$$

зависимость продуктивности от темнового дыхания

$$\Delta\Pi_2 = K_2\Phi\Delta\tau S_3, \quad (7)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – соответственно коэффициенты продуктивности, являются функциональными зависимостями от возраста растений.

Исследование эффектов взаимодействия между всеми изучаемыми факторами среды возможно при использовании квадратичных полиномов для дневного и ночного периода [4, 5].

Для дневного периода (интенсивность фотосинтеза)

$$\begin{aligned} \Phi = & A_0 + A_1E_1 + A_2t_2 + A_3T_2 + A_4T_1 + A_5T_2 + A_6\phi_1 + A_{11}E_1 + E_1A_{12}t_1 + A_{13}E_1T_2 + \\ & + A_{14}E_1T_2 + A_{15}E_1T_2 + A_{16}E_1\phi_1 + A_{22}t_1 + A_{23}t_1T_2 + A_{24}t_1T_1 + A_{25}t_1T_2 + A_{26}t_1\phi_1 + A_{33}T_2 + \\ & + A_{34}T_1T_2 + A_{35}T_2T_2 + A_{36}T_2\phi_1 + A_{44}T_1 + A_{45}T_1T_2 + A_{46}T_1\phi_1 + A_{55}T_2 + A_{56}T_2\phi_1 + A_{66}\phi_1. \end{aligned} \quad (8)$$

Для ночного периода (интенсивность дыхания):

$$\begin{aligned} D = & B_0 + B_1E_2 + B_2T_1 + B_3t_2 + B_4T_1 + B_5T_2 + B_6\phi_1 + B_{11}E_2 + B_{12}E_2T_1 + B_{13}E_2t_2 + \\ & + B_{14}E_2T_1 + B_{15}E_2T_2 + B_{16}E_2\phi_1 + B_{22}T_1 + B_{23}T_1t_2 + B_{24}T_1T_1 + B_{25}T_1T_2 + B_{26}T_1\phi_1 + B_{33}t_2 + \\ & + B_{34}t_2T_1 + B_{35}t_2T_2 + B_{36}t_2\phi_1 + B_{44}T_1 + B_{45}T_1T_2 + B_{46}T_1\phi_1 + B_{55}T_2 + B_{56}T_2\phi_1 + B_{66}\phi_1, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $A_0... A_{66}$ ,  $B_0... B_{66}$  – коэффициенты регрессии;  $\Phi$ ,  $D$  – интенсивность видимого фотосинтеза и темнового дыхания,  $mg\ CO_2 / dm^2ч$ ;  $t_1$  – температура воздуха внутри теплицы днём,  $^{\circ}C$ ;  $t_2$  – температура воздуха внутри теплицы ночью,  $^{\circ}C$ ;  $T_2$  – среднеарифметическое значение температуры воздуха в теплице за истекшую ночь,  $^{\circ}C$ ;  $E_1$  – текущее значение освещённости в теплице, клк;  $E_2$  – среднеарифметическое значение освещённости за истекший день, клк;  $T_1$  – длительность фотопериода (продолжительность светового дня), ч;  $T_2$  – возраст растения, сут;  $\phi_1$  – влажность воздуха в теплице, %.

Математические модели такого вида позволяют определить величину видимого фотосинтеза или темнового дыхания конкретного сорта для различных условий среды. С их помощью можно рассчитать сочетания факторов среды, обеспечивающие максимум видимого фотосинтеза, в том числе и при наличии таких факторов, как освещённость в начале и конце фотопериода при отсутствии искусственного освещения.

Для осуществления автоматического управления каким-либо технологическим процессом необходимо выбрать алгоритм функционирования системы, т.е. совокупность предписаний, определяющих характер изменения управляемой величины в зависимости от воздействий. В связи с тем, что в математическую модель продуктивности входят факторы, изменяющиеся во времени случайным образом (освещённость, длительность фотопериода, влажность воздуха и т.д.), система управления по алгоритму функционирования может быть либо следящей, либо самонастраивающейся.

Автоматизированная информационная система по расчету и выбору системы обеспечения микроклимата для теплиц предназначена для ведения учёта температурного режима, проведения

расчетов, формирования необходимых диаграмм, графиков и отчетов.

Системные требования:

- а) операционная система не ниже Windows NT 4.0 SP5;
- б) оперативная память от 256 Mb;
- в) свободное место на жестком диске не менее 400 Mb;
- г) процессор не ниже Pentium III с частотой от 500 Mhz;
- д) открытые порты 1433 на вход и выход;

Системные требования для программы клиента:

- а) операционная система Windows 98 SE/NT/2000/XP;
- б) оперативная память от 256 Mb;
- в) свободное место на жестком диске не менее 20 Mb;
- г) процессор не ниже Pentium III с частотой от 500 Mhz;
- д) Microsoft Visual Studio 2008 [3].

### Выводы

1. Математическое моделирование системы автоматического управления показало, что оптимальная по энергоёмкости температура зависит как от параметров микроклимата в теплице ( $E_2$ ,  $T_1$ ,  $t_1$ ,  $\varphi_1$ ), возраста растений и относительного времени суток  $t_2$ , так и от наружной температуры  $t_4$ .

2. Разработанное прикладное программное обеспечение позволит реализовать оптимальную технологию, задача которой состоит в том, чтобы в любой момент времени создать такую совокупность условий, которая бы обеспечила оптимальное значение критерия эффективности [10].

### Литература

1. Пособие по проектированию теплиц и парников (к СНиП 2.10.04.–85) / Гипронисельпром. – М.:Стройиздат, 1998. – 72 с.
2. Информационные технологии управления: учеб. пособие для вузов / под ред. Г.А. Титоренко. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 280 с.
3. ГОСТ 34.201-89. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. – М.: Изд-во станд., 1991.
4. Попова С.А. Энергосберегающая система автоматического управления температурным режимом в теплице: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1995.
5. Изаков Ф.Я., Попова С.А. Энергосберегающие системы автоматического управления микроклиматом. – Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 1988. – 52 с.
6. Цугленок Н.В., Долгих П.П., Кунгс Я.А. Энергетическое оборудование тепличных хозяйств: учеб. пособие. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2001. – 139 с.
7. Тараканов Г.И., Борисов Н.В., Климов В.В. Овощеводство защищенного грунта. – М.: Колос, 1982. – 303 с.
8. Брызгалов В.А., Советкина В.Е., Савинова Н.И. Овощеводство защищенного грунта / под ред. В.А. Брызгалова. – Л.: Колос, 1983. – 352 с.
9. Долгих П.П., Федорова И.А., Зайцева Е.И. К вопросу о развитии информационной системы поддержания микроклимата // Сб. науч. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (30–31 октября 2013 г., г. Санкт-Петербург). – СПб.: КультИнформПресс, 2013. – 485 с.
10. Федорова И.А., Долгих П.П. Обоснование энергоэффективных режимов работы оборудования в сооружениях закрытого грунта // Научная дискуссия: вопросы технических наук: мат-лы 8-й Междунар. заоч. науч.-практ. конф. (4 апреля 2013 г.). – М.: Междунар. центр науки и образования, 2013. – 152 с.