



**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ ТЕПЛИЦЫ**

**INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE MANAGEMENT OF
THE TECHNOLOGICAL FACILITY OF THE GREENHOUSE**

Кокиева Г.Е., доктор технических наук, Кафедра «Технический сервис в АПК и общинженерные дисциплины», факультет «Инженерный», Бурятская государственная сельскохозяйственная академия, Россия, г. Улан-Удэ

Дондоков Ж.Ж., кандидат технических наук, Арктический агротехнологический университет, Россия, г. Якутск

Kokieva G.E., Doctor of Technical Sciences, Department of "Technical Service in Agriculture and General Engineering disciplines", Faculty of Engineering, Buryat State Agricultural Academy, Russia, Ulan-Ude

Dondokov Zh.Zh., Candidate of Technical Sciences, Arctic Agrotechnological University, Russia, Yakutsk

Аннотация: Об эффективности теплиц можно судить, если известны графические зависимости необходимой и избыточной тепловой мощности по месяцам года. Первые необходимы для подбора и расчета системы отопления, вторые-для устранения перегрева теплиц. Среднесуточные их значения для традиционных меридиональных, шедовых и однопролетных теплиц оценивают на основе статистических данных. Зимняя блочная теплица представляет собой

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

сложный технологический объект управления температурным режимом. Характер изменения температурного поля ее зависит от уровня солнечной радиации, температуры наружного воздуха, скорости ветра, относительной влажности воздуха и температуры поверхности почвы в ней, расхода теплоносителя в регистрах обогрева воздуха, конструктивных особенностей системы отопления и факторов. Учитывая, что тепличные культуры чувствительны к колебаниям температуры воздуха в теплице как в течение суток, так и в течение вегетационного периода, к автоматическим устройствам теплиц предъявляются жесткие требования. Метод математического моделирования основан на изучении явления в моделях, отличающихся по своей физической природе от оригинала, но описываемых идентичными математическими соотношениями. Для решения таких уравнений целесообразнее всего использовать электронные цифровые и аналоговые вычислительные машины. Достоинства данного метода заключаются в том, что с помощью одной установки можно решать ряд задач, легко и быстро переходить от одной задачи к другой, от исследования линейных динамических систем к существенно нелинейным. Предложенные балансные динамические модели позволяют наиболее полно использовать ЭВМ для исследования режимов теплопотребления обогреваемых теплиц, а также для синтеза регуляторов температуры. При этом в качестве математического аппарата используется векторно-матричная алгебра, стандартные программы для которой широко применяются на ЭВМ различного назначения. Урожайность сельскохозяйственных культур существенно зависит от климатических факторов, обуславливающих потребность в воде растениями.

Abstract: The effectiveness of greenhouses can be judged if the graphical dependences of the necessary and excess heat capacity by months of the year are known. The first are necessary for the selection and calculation of the heating system, the second-to eliminate overheating of greenhouses. Their average daily values for traditional meridional, shade and single-span greenhouses are estimated on the basis

of statistical data. The winter block greenhouse is a complex technological object of temperature control.

The nature of the change in its temperature field depends on the level of solar radiation, outdoor air temperature, wind speed, relative humidity and soil surface temperature in it, coolant flow in air heating registers, design features of the heating system and factors. Considering that greenhouse crops are sensitive to fluctuations in the air temperature in the greenhouse both during the day and during the growing season, strict requirements are imposed on automatic greenhouse devices. The method of mathematical modeling is based on the study of the phenomenon in models that differ in their physical nature from the original, but are described by identical mathematical relations. To solve such equations, it is most expedient to use electronic digital and analog computers. The advantages of this method are that with the help of one installation it is possible to solve a number of problems, easily and quickly move from one task to another, from the study of linear dynamical systems to substantially nonlinear ones. The proposed balanced dynamic models allow the most complete use of computers for the study of heat consumption modes of heated greenhouses, as well as for the synthesis of temperature regulators. At the same time, vector-matrix algebra is used as a mathematical apparatus, standard programs for which are widely used on computers for various purposes. The yield of agricultural crops significantly depends on climatic factors that determine the need for water for the plant.

Ключевые слова: теплица, технологический объект, климатические факторы, динамические модели.

Keywords: greenhouse, technological facility, climatic factors, dynamic models.

Повышение эффективности агропромышленного комплекса, достижение устойчивого роста производства, надежное обеспечение населения продуктами питания обуславливают дальнейшее развитие и качественное совершенствование материально-технической базы, комплексную механизацию процессов в сельскохозяйственном производстве, внедрение достижений научно-технического прогресса. Предприятия

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

агропромышленного комплекса обладают большим производственным потенциалом который постоянно возрастает. Анализ концептуальных подходов к формированию продовольственной базы районов Крайнего Севера позволяет выделить три этапа. Непродолжительный этап наступил одновременно с началом промышленного освоения Севера, когда потребовалось обеспечить продовольствием большие контингенты пришлого населения. Объемы производства в расчете на душу населения были невелики, но достаточны, чтобы как-то прокормиться и даже вывезти на экспорт в целях обмена на жизненно необходимые непродовольственные товары, соль, рыболовные принадлежности и пр.

Своего расцвета второй этап достиг в 60-70-е годы. На север проникло крупное индустриальное производство сельскохозяйственной продукции, были распаханы десятки тысяч гектаров целины в тайге и тундре. С критериями экономической эффективности производства как на первом, так и на втором этапах не считались. Примерно с 70-х годов были предприняты первые попытки сравнительного анализа эффективности базирования на местную и привозную сельскохозяйственную продукцию. Анализ привлек к крайне неблагоприятным для местного сельскохозяйственного производства заключениям. Практически по всем видам продукции местное производство не выдерживало экономической конкуренции с привозной, при этом разрывы в эффективности по каждому из видов продовольствия оказались очень высокими. Исследователями по соотношению затрат на привозную и местную продукцию показали, что базирование на привозную продукцию более эффективно при всех подходах: при расчетах по тарифам и себестоимости; учете фондоемкости производства, то есть при расчетах по приведенным затратам как в самом сельскохозяйственном производстве, так и транспортной составляющей затрат на единицу продукции; учете как нормативных, так и фактических потерь в количестве и качестве продукции в процессе доставки, хотя потери, как известно, чрезвычайно велики. Из всех отраслей местного сельскохозяйственного производства, безусловно, целесообразно развитие

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

лишь трех: оленеводства, молочного скотоводства (в объеме, определяемом потребностью в молоке) и овощеводства (в части производства в открытом грунте разнообразных зеленных культур, так и в силу биологических особенностей произрастания в Заполярье эти овощи в значительной мере богаты витаминами и имеют более выраженные фитонцидные свойства, чем те овощи, выращенные в средней полосе). Очень распространено возвращение зеленой культуры в различных габаритных размерах и исполнениях.

Теплица представляет собой сложный технологический объект управления температурным режимом. Характер изменения температурного поля ее зависит от уровня солнечной радиации, температуры наружного воздуха, скорости ветра, относительной влажности воздуха и температуры поверхности почвы в ней, расхода теплоносителя в регистрах обогрева воздуха, конструктивных особенностей системы отопления и факторов. Учитывая, что тепличные культуры чувствительны к колебаниям температуры воздуха в теплице как в течение суток, так и в течение вегетационного периода, к автоматическим устройствам теплиц предъявляются жесткие требования.

В обогреваемых теплицах чаще всего стремятся повысить их энергетическую экономичность как средствами автоматизации, так и изменением конструкции. При этом теплицу рассматривают как объект с сосредоточенными параметрами теплового состояния, средними по объему и площади ограждения. В этом случае не следует использовать детализованные теплофизические модели. Многоступенчатость теплообмена на разделяющих поверхностях можно учесть выбором общего порядка модели. Научкой и передовой техникой доказаны преимущества внесения минеральных удобрений в виде растворов с поливочной водой. При этом удобрения во все периоды вегетации в требуемых количествах усваиваются растениями, что способствует эффективному их использованию, снижает затраты труда и средств на их внесение.

В теплицах для внесения растворов удобрений рационально использовать имеющиеся поливочные системы, дооборудовав их устройствами для

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

приготовления и подачи растворов. В этом случае затраты на технологическое оборудование будут минимальными. В настоящее время в тепличных хозяйствах применяют две технологические схемы внесения растворов удобрений. По первой схеме готовят растворы слабой концентрации (до 0,5%), получившие названия рабочих, которые напорным насосом через поливочную систему подаются в почву. Достоинство-высокая равномерность внесения удобрений. Однако в этом случае требуется металлоемкий резервуар вместимостью до 10 м³, в котором затруднено растворение удобрений из-за его большого объема (требуется мощная мешалка).

По второй схеме сначала готовят маточные растворы высокой концентрации (до 10%). В трубопровод поливочной системы напорным насосом подают воду, в которую инъекционным насосом впрыскивается маточный раствор. В трубопроводе этот раствор смешивается с водой, его концентрация снижается до рабочей, и он вносится в почву. Достоинство этой схемы-уменьшение потребной вместимости резервуара для приготовления растворов до 1,5 м³. Такой резервуар занимает меньшую площадь, более удобен для растворения удобрений. Для стабилизации заданной концентрации рабочего раствора в процессе работы регулируют подачу инъекционного насоса. С этой целью в трубопроводе поливочной системы устанавливают датчик концентрации, а в нагнетательном трубопроводе насоса-электродвижку, управляемую через усилитель сигналом датчика. Однако электропроводность растворов различных видов удобрений непропорциональна их концентрации. Поэтому при таком способе стабилизации концентрации рабочего раствора необходима сложная настройка системы с тарировкой датчика не только для каждого вида, но и для каждой партии удобрений, что требует высокой квалификации обслуживающего персонала.

Указанные недостатки можно исключить, если при реализации второй схемы внесения растворов удобрения в качестве инъекционного насоса использовать насос-дозатор, обеспечивающий заданную подачу маточного раствора.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Необходимость автоматизации процесса связана с трудоемкостью процесса приготовления растворов, точного поддержания в них заданной концентрации веществ, своевременной подачи и равномерного дозирования по всей площади теплицы при различных возмущениях внешней среды. Анализ технологических операций возделывания овощей в теплице показывает, что снизить затраты труда и повысить эффективность использования культивационных сооружений возможно при выполнении работ специальным комплексом технических средств [1-9]. Для принципиального совершенствования технологии производства овощей в теплице необходимы стационарные транспортные системы и робототехническое оборудование. Однако система полива, искусственно создающие оптимальные условия для их роста, широко распространения не получили, несмотря на то, что они позволяют даже без значительного изменения основного оборудования обеспечить увеличения в 2 раза. Теплицы разделены на стационарные и передвижные. Первые предназначены снабжать овощной продукцией население круглогодично или сезонно. Они разделены на вариационные ряды, наиболее характерные из которых вегетационно-климатические камеры и шкафы, комнаты роста, растильни, собственно теплицы, теплицы-спутники основного производства, совмещенные с административными зданиями, детскими и лечебно-профилактическими учреждениями, предприятиями общественного питания, хранилищами, складами, животноводческими и птицеводческими фермами, теплицы с наружными концентраторами естественного света, внутренними цилиндрическими и плоскими световодами, башенные, с водоналивной кровлей и стенами, оборудованные в выработках шахт, подвалах, в хранилищах сельскохозяйственной продукции и т. д. Классификация может быть использована при исследованных, построении многофакторных моделей тепличных систем, создании системного информационного фонда по теплицам.

При невозможности использования тепловых отходов, отсутствии местных топливных ресурсов или их высокой стоимости экономически целесообразно для обогрева парников применять электрическую энергию. В качестве

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

термочувствительных элементов используют контактные ртутные термометры, биметаллические или манометрические датчики температуры, а в качестве исполнительных органов применяют пускатели или контакторы.

Для обеспечения техники безопасности при работе на электропарниках термочувствительные элементы включаются в сеть низкого напряжения 6-12 в. Опыт эксплуатации теплиц показывает, что выращивание растений на искусственных средах позволяет существенно повысить урожай овощей при сокращении вегетативного периода, снизить затраты труда по уходу за растениями, полностью исключить такие трудоемкие операции, как обработка и замена грунта в теплицах, а также значительно упростить процесс дезинфекции субстрата. Основными операциями, подлежащими автоматизации при выращивании овощей на искусственных средах, являются периодическая подача питательного раствора в рабочие стеллажи и отвод его в накопительный резервуар, а также подпитка раствора водой с периодическим или постоянным добавлением соответствующих солей. Необходимость в дополнительной подпитке раствора вызывается частичным поглощением его при прохождении через минеральный субстрат. В обычных теплицах из-за большой площади светопрозрачных поверхностей возникают значительные теплопотери, для компенсации которых требуется определенный расход топлива в системе отопления. Теплицы могут обогреваться горячей водой, водяным паром, нагретым воздухом, инфракрасным излучением или продуктами сгорания топлива. При создании солнечной теплицы, прежде всего, нужно позаботиться о существенном снижении теплопотерь за счет применения теплоизоляции. Кроме того, необходимо обеспечить улавливание максимально возможного количества солнечной энергии и аккумуляцию избыточной теплоты [3,4,8].

Чтобы текущая температура воздуха не превышала допустимую агротехническими требованиями, зимние блочные теплицы оснащают системами автоматического регулирования параметров микроклимата. Однако опыт эксплуатации показал, что такие системы не позволяют добиться высокого качества формирования температуры воздуха в установившемся и

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

переходном режимах. Это объясняется тем, что динамические свойства и параметры теплицы, а также возмущающие воздействия изменяются в широких пределах и носят случайный характер. В таблице 1 приведена техническая характеристика контролируемых параметров микроклимата теплицы.

Таблица 1- Техническая характеристика контролируемых параметров микроклимата теплицы

№п/п	Контролируемые параметры (температура воздуха)	Значения
1	Относительная влажность воздуха	От 30 до 98%
2	Влажность почвы	От 40 до 95 НВ
3	Освещенность	От 0 до 100клк

В таблице 2 параметры точности поддержания параметров

Таблица 2-Точность поддержания параметров

№п/п	Контролируемые параметры (температура воздуха)	Значения
1	Влажность почвы	$\pm 10\%$ НВ;
2	Освещенность	± 100 лк;
3	Насос	
	-подача на высоту	42 м;
	-расход	25 л/с;
4	Электродвигатель	
	-мощность	18,5 кВт;
	-частота вращения	3000от/мин ⁻¹

Максимальное отклонение температуры воздуха в теплице в процессе эксперимента $\pm 0,7$ °С. В таблице приведены сравнительные показатели качества формирования температуры воздуха в земной блочной теплице с устройством комбинированного регулирования и системой автоматики. Устройство комбинированного регулирования температуры воздуха в зимней блочной теплице с водяным отоплением по качественным показателям работы существенно отличается от САУ, работающих по принципу компенсации отклонений. Дальнейшее совершенствование устройства формирования

температуры воздуха в зимних блочных теплицах с водяным отоплением связано с расширением его функциональных возможностей.

Математическая модель процесса тепловлагопереноса в субстрате и элементах таких стеллажей имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial T_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 T_1(x, \tau)}{\partial x_1^2} + \varepsilon_1 \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau}, \quad \tau > 0; \\ \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x_1^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 T_1(x, \tau)}{\partial x_1^2}, \\ b_0 < x_1 < b_1; \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T_2(x, \tau)}{\partial x_2^2} + \frac{a_2 q_0(x, \tau)}{\lambda_2},$$

$$\tau > 0, \quad b_1 < x_2 < b_2; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_3(x, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \frac{\partial^2 T_3(x, \tau)}{\partial x_3^2}, \quad \tau > 0, \quad b_2 < x_3 < b_3; \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_4(x, \tau)}{\partial \tau} = a_4 \frac{\partial^2 T_4(x, \tau)}{\partial x_4^2}, \quad \tau > 0, \quad b_3 < x_4 < b_4; \quad (4)$$

при начальных условиях:

$$T_i(x, 0) = T_0(x); \quad U(x, 0) = U_0(x), \quad (6)$$

где $T_i(x, \tau)$ – температура элементов конструкции стеллажной теплицы, °С; $i = 1, 2, 3, 4$ – слой субстрата, электронагревательный элемент, железобетонное основание и теплоизоляция; $U(x, \tau)$ – влагосодержание субстрата, кг в 1 кг материала; τ – время, с; x – пространственная координата, м; a_i – коэффициенты теплопроводности элементов стеллажа, м²/с; ε_1 – коэффициент, учитывающий фазовые превращения, °С; δ – термоградиентный коэффициент, 1/°С; $q_0(\tau)$ – плотность источника внутренних тепловыделений, Вт/м³; λ_i – коэффициенты теплопроводности элементов стеллажа, Вт/(м*°С); b_i – толщина элементов стеллажа, м; a_m – коэффициент диффузии влаги, м²/с.

Помимо алгоритма управления с помощью ПК программируются прием информации от внешних датчиков, управление выходами на исполнительные устройства, формирование задержек времени, связь с вычислительным комплексом старшего уровня через модуль последовательной передачи данных. Кроме того, он обеспечивает запись программы и исходных данных у клавиатуры пульта управления и через модуль последовательной передачи данных с внешними устройствами.

На рис. 1 в качестве показано распределение влагосодержания в слое субстрата при двухпозиционном законе регулирования увлажнением.

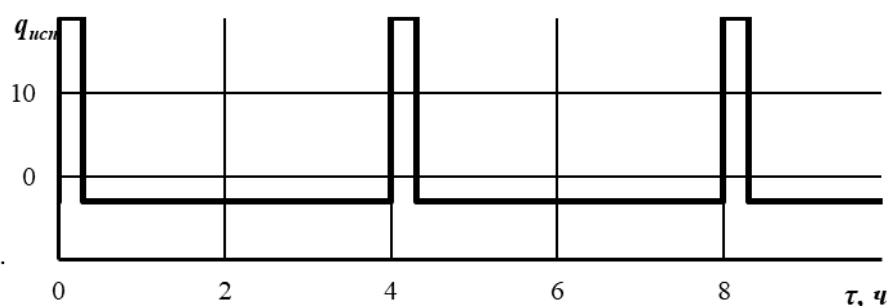


Рисунок 1. Распределение влагосодержания в центре слоя субстрата (1) и на расстоянии 5-6 см от поверхности (2) (поливают в течение 10 мин через 5 ч;

Применение искусственных питательных сред открывает широкие возможности для эффективного использования средств автоматизации производственных процессов, особенно при значительных площадях теплично-парникового хозяйства. Для улучшения теплового режима теплиц нужно учитывать зависимость необходимой и избыточной мощности от погодноклиматических условий местности. Отсутствие достаточно обоснованных математических моделей обогреваемых теплиц сдерживает их разработку и совершенствование. При создании таких моделей нужно учитывать тепломассообменные процессы, протекающие в теплице, распределенность их параметров, случайность воздействующих внешних возмущений. Дополнительные сложности возникают из-за того, что требования

предъявляемые к моделям, нередко не соответствуют поставленной цели наследования или не отражают условий ее использования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ИСТОЧНИКОВ:

1. Соколов, Н.С. Технологии пятого поколения. – Теплицы России. – 2015, №1. – с.22-24
2. Шишкин, П.В., Олейников, В.О. Полностью закрытая теплица с технологией поддержания параметров микроклимата на основе управления разделенными воздушными потоками (технология CODA-ControlOfDevidedAirflows). – Теплицы России. – 2016, №2. – с.15-20
3. Владыкин, И.Р. Особенности построения взаимосвязанного управления параметрами микроклимата в теплицах. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 3. С. 13-15
4. Рыков, А.Н. Энергосберегающие системы управления микроклиматом теплиц. Автоматизация в промышленности. 2006. № 10. С. 47-49
5. Семенов, В.Г., Алейникова, Е.А. Компьютерное моделирование при исследовании системы управления микроклиматом теплицы. Современные наукоемкие технологии. 2007. № 10. С. 64-66
6. Семенов, В.Г., Крушель, Е.Г. Математическая модель микроклимата теплицы. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. № 6 (54). С. 32-35
7. Каун, О.Ю., Озеров, И.Н. Обоснование параметров микроклимата сооружений защищенного грунта. Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 3 (24). С. 49-52
8. Белов, В.В., Белов, Е.Л. Тепличное устройство с обогревательными элементами. Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (10). С. 85-89
9. Сагындикова, А.Ж., Мухтарбеков, Тыныбеков, А.А. Автоматическая система управления отопительно-вентиляционными установками в защищенном грунте. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2018. № 4 (107). С. 187-192

REFERENCES:

1. Sokolov, N.S. Technologies of the fifth generation. – Greenhouses of Russia. – 2015, No. 1. – pp.22-24
2. Shishkin, P.V., Oleynikov, V.O. Fully enclosed greenhouse with technology for maintaining microclimate parameters based on control of separated air flows (CODA- ControlOfDevidedAirflows technology). – Greenhouses of Russia. – 2016, No. 2. – pp.15-20
3. Vladykin, I.R. Features of the construction of interconnected control of microclimate parameters in greenhouses. Mechanization and electrification of agriculture. 2006. No. 3. pp. 13-15
4. Rykov, A.N. Energy-saving greenhouse microclimate management systems. Automation in industry. 2006. No. 10. pp. 47-49
5. Semenov, V.G., Aleynikova, E.A. Computer modeling in the study of the greenhouse microclimate control system. Modern high-tech technologies. 2007. No. 10. pp. 64-66
6. Semenov, V.G., Krushel, E.G. Mathematical model of greenhouse microclimate. Proceedings of the Volgograd State Technical University. 2009. No. 6 (54). pp. 32-35
7. Kaun, O.Yu., Ozerov, I.N. Substantiation of microclimate parameters of protected soil structures. Innovations in agriculture. 2017. No. 3 (24). pp. 49-52
8. Belov, V.V., Belov, E.L. Greenhouse device with heating elements. Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy. 2019. No. 3 (10). pp. 85-89
9. Sagyndikova, A.Zh., Mukhtarbekov, Tynybekov, A.A. Automatic control system of heating and ventilation installations in protected ground. Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev. 2018. No. 4 (107). pp. 187-192

© Кокиева Г.Е., Дондоков Ж.Ж., 2022 Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №4/2022

Для цитирования: Кокиева Г.Е., Дондоков Ж.Ж., ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ ТЕПЛИЦЫ// Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №4/2022