

К ВОПРОСУ ОБ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ УРОЖАЙНОСТЬЮ ТЕПЛИЦЫ

Мурзакулов Н. А., к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика» Ош ТУ, г.Ош; e-mail: murkul72@mail.ru

В статье решается задача при использовании комплексной системы управления, которая не только регулирует параметры микроклимата теплицы, но и учитывает их влияние на окончательный выход готовой продукции. При исследовании таких систем управления усматривается целесообразным декомпозиция их на иерархические уровни по масштабу времени или по критерию эффективности подсистем. Предложена двухуровневая система управления урожайностью теплицы с применением математической модели микроклимата при управлении температурой и влажностью воздуха, которая в дальнейшем будет использована для получения оптимальных законов управления урожайностью теплицы.

Ключевые слова: теплица, управление урожайностью, температура, влажность, "медленная" подсистема, "скорая" подсистема, локальная управляющая система, иерархическая система, целевой функции, качество урожайности.

TO THE QUESTION ON THE HIERARCHICAL CROP YIELD MANAGEMENT SYSTEM OF THE GREENHOUSE

N. A. Murzakulov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Electric Power Engineering" Osh TU, Osh, e-mail: murkul72@mail.ru

The article solves the problem on using an integrated control system, which is not only regulates the microclimate parameters of the greenhouse, but also takes into account their impact on the final yield of finished products. In the study of such control systems it is seen expedient to decompose them into hierarchical levels according to time scale or by the criterion of subsystem efficiency. A two-level system for greenhouse yields managing by using a mathematical model of the microclimate for controlling the temperature and humidity of the air has been proposed which will be used in the future to obtain optimal laws for controlling the yield of the greenhouse.

Keywords: greenhouse, yield management, temperature, humidity, "slow" subsystem, "fast" subsystem, local control system, hierarchical system, objective function, yield quality.

Постановка проблемы. В современной практике построения систем автоматизации технологических процессов тепличных хозяйств превалирует использование локальных управляющих систем для поддержки в определенных пределах таких параметров микроклимата, как температура и влажность воздуха, содержание CO₂ и т.п. В конечном итоге эти параметры оказывают значительное влияние на рост растений, уровень и качество урожайности, а также на потребление энергии в процессе выращивания.

Часто, для обеспечения высокой урожайности при малом потреблении энергии, нужно контролировать и управлять многими взаимосвязанными параметрами. Эта задача решается при использовании комплексной системы управления, которая не только регулирует

параметры микроклимата теплицы, но и учитывает их влияние на окончательный выход готовой продукции. При исследовании таких систем управления усматривается целесообразным декомпозиция их на иерархические уровни по масштабу времени или по критерию эффективности подсистем.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованиями математических моделей теплицы как объекта управления занимались такие ученые, как С.Л. Малько, Л.П. Андрианова [4], которыми представлено математическое описание динамических процессов в теплицах. Этой тематикой исследований также занимались зарубежные ученые Rodriguez, Takakura [2, 3] и др. Но задача упрощения, декомпозиции или разделения этих процессов остается актуальной.

Существенно упрощенную математическую модель урожайности теплицы, приведенную к одному квадратному метру ее площади, можно записать в виде

$$W = k_1 I T W; \tag{1}$$

$$T = k_2 (T_0 - T) + k_3 Q, \tag{2}$$

где W - сухой вес урожая, кг / м²; I - интенсивность светового потока в теплице, Вт / м²; T - температура внутри теплицы, °С; T_0 - внешняя температура, °С; Q - количество теплоты, поступающей от системы обогрева теплицы, Вт / м²; k_1, k_2, k_3 - константы.

Прирост веса продукции по уравнению (1) прямо пропорционален температуре и интенсивности света. Система дополнена уравнением теплового баланса теплицы (2).

Целевая функция F , которая отражает экономическую эффективность такого процесса выращивания имеет вид (3)

$$F = k_4 W(t_1) - k_5 \int_{t_0}^{t_1} Q dt \tag{3}$$

Первый член целевой функции отражает прибыль, полученная от продажи собранного урожая за период (t_0, t_1) , таким образом константа k_4 пропорциональна стоимости продажи единицы веса продукции. Интеграл в целевой функции отражает расходы на обогрев теплицы, которые исчисляются по расходам теплоты, а коэффициент k_5 пропорционален стоимости единицы энергоносителя (кубического метра газа или киловатт-часа электроэнергии).

Упрощенной моделью, которая не учитывает теплового эффекта от солнечного облучения, воздействия вентиляции, влажности и других факторов, объясняется противоречие решений в системе управления урожайностью. Так, рассмотрев эту систему уравнений, можно сделать вывод, что рост биомассы повышается с ростом температуры и интенсивности света, увеличивая целевую функцию. С другой стороны, на нагрев тратится энергия и поэтому нагрев без освещения не имеет смысла, а приводит к уменьшению целевой функции.

Традиционные системы управления, которые часто используются сегодня (рис. 1), базируются на знаниях или опыте сельхозпроизводителя. Агроном, руководствуясь типом растений, их состоянием и этапом выращивания, определяет параметры микроклимата теплицы, которые устанавливаются как задача для системы управления микроклиматом. Современные системы управления тепличных комбинатов могут насчитывать до 150 различных параметров [2], которые агроном должен определить и поставить задачу климатическому компьютеру по достижению соответствующего режима с помощью имеющихся технических средств - исполнительных механизмов системы управления. Наблюдение за состоянием растений и долгосрочные погодные прогнозы могут повлиять на решение сельхозпроизводителя по изменению параметров в процессе выращивания.



Рис. 1. Структура традиционной системы управления теплицей

Предложенная компьютеризированная система управления урожайностью тепличных культур с помощью современных интеллектуальных управляющих средств имеет иерархическую структуру, как показано на рис. 2. На схеме выделено два основных уровня системы управления: полевой уровень и интеллектуальная система управления. Также указанная функция сельхозпроизводителя как формирователя задачи для системы на базе внешней информации и наблюдения за процессом выращивания.

На нижнем полевом уровне сигналами реальные физические параметры тепличных систем и культур. На этот уровень влияют погодные факторы $f_{\text{реал}}$, которые являются неуправляемыми внешними воздействиями. Сигналы на исполнительные элементы, например, системы открытия вентиляционных отверстий или смесительные клапаны систем обогрева являются управляющими воздействиями $u(t)$. Значения, полученные от датчиков параметров микроклимата теплицы $X_T(t)$ или характеристик урожайности $X_B(t)$, являются исходными контролируемыми переменными, которые передаются на оперативный уровень управления (контроллер) вместе с параметрами погодных условий.

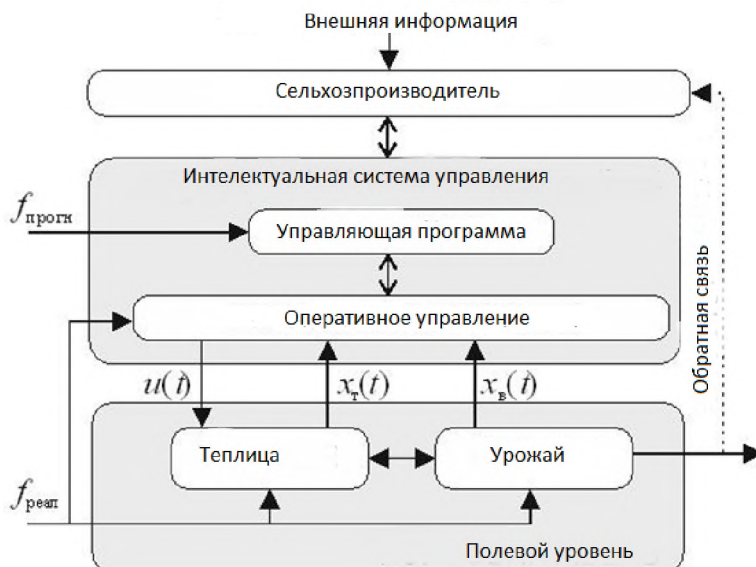


Рис. 2. Система управления урожайностью тепличных культур

При постановке задачи оптимизации целевой функции управления (2) возникает необходимость определения связи между параметрами состояний системы и выходами на оперативном уровне управления, то есть математическая модель системы. В данной работе предложена математическая модель теплицы при управлении температурой и влажностью

воздуха, которая в дальнейшем будет использована для получения оптимальных законов управления урожайностью теплицы.

Модель базируется на законах сохранения энергии и массы в динамике переменных состояния в следующей дифференциальной форме

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{C_{\text{в}}} [Q_H^{\text{max}} \hat{Q}_H(t) + S_n(t) - \lambda' \hat{Q}_m(t)] - \left(\frac{\hat{v}_B(t)}{T_v} + \frac{k_{m.\text{орг}}}{C_{\text{и}}} \right) [T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{внеш}}(t)]$$

$$\frac{d\varphi_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{V'} \hat{Q}_m(t) + \alpha' S_n(t) - \frac{\hat{v}_B(t)}{T_v} [\varphi_{\text{внутр}}(t) - \varphi_{\text{внеш}}(t)]$$

где $T_{\text{внутр}}(t)$, $T_{\text{внеш}}(t)$ - температура воздуха внутри и снаружи теплицы соответственно (С); $\varphi_{\text{внутр}}(t)$, $\varphi_{\text{внеш}}(t)$ - относительная влажность воздуха внутри и снаружи теплицы соответственно (%); $\hat{Q}_H(t)$, $\hat{Q}_m(t)$ - нормализованы управляющие переменные; $S_n(t)$ - солнечное излучение, поглощенное теплицей (Вт) λ' , V' , α' - нормализованы коэффициенты модели; T_v - константа, равная времени, необходимому для полной замены воздуха в увлажняемых части теплицы; $C_{\text{в}}$ - удельная теплоемкость воздуха (1,005 кДж·кг⁻¹·К) $k_{т.ог}$ - коэффициент теплопередачи материала ограждения теплицы (Вт / К);

В системе уравнений (4) - (5) переменными состояниями являются температура и относительная влажность воздуха внутри теплицы $T_{\text{внутр}}$, $\varphi_{\text{внутр}}$, а управляющими воздействиями: мощность обогревателей воздуха теплицы, производительность системы туманообразования, а также воздухообмен системы вентиляции теплицы.

Второй иерархический уровень системы управления - это интеллектуальный климатический компьютер (Рис. 2), в рамках которого действует две подсистемы: оперативный уровень, который выполняет фактическое управление и стратегический уровень (супервизор). Оперативный уровень воспринимает значения физических параметров теплицы и урожайности, а возвращает управление в виде команд на исполнительные механизмы. Задача супервизора заключается в том, чтобы превратить информацию сельхозпроизводителя с тактического уровня таким образом, чтобы эта информация могла использоваться на оперативном уровне. На тактическом уровне могут быть использованы долгосрочные погодные прогнозы $f_{\text{прогн}}$.

На верхнем уровне (Рис. 2) располагается сельхозпроизводитель, который проводит наблюдения характеристик урожая и принимает решение о корректирующих действиях, если он чувствует в них потребность. Эти решения основаны на внешней информации и его собственном опыте. Сельхозпроизводитель взаимодействует с компьютерной системой управления урожайностью через настройки.

Простейшие алгоритмы контроллеров оперативного уровня часто разработаны эвристическим методом и имеют вид релейных правил для принятия решения о отопление и вентиляцию или одноконтурных систем регуляторами. В то же время, даже при использовании контроллеров, как правило, операционные режимы, в которых управленческое решение принимается только сельхозпроизводителем.

Наилучшие результаты деятельности тепличного хозяйства достигаются путем вычисления управляющих воздействий по наличие математической модели на основе оптимизации, сформулированной в явном виде, и хорошо продуманной целевой функции, которая сочетает ожидаемые выгоды, затраты и риски. Таким образом, компьютеризированная система управления урожайностью теплицы, на базе наблюдаемых исходных параметров теплицы и урожая должен формировать такие управляющие сигналы, чтобы за период выращивания явно сформулирована целевая функция достигла максимума, с учетом фактических значений внешних входных сигналов и ожидаемых их изменений в ближайшее время. Очевидно, вместо того чтобы максимизировать функцию доходности, могут быть сведены к минимуму функции стоимости.

Как показывают исследования [2], при разработке оптимальных систем управления урожайностью тепличных хозяйств возникают следующие проблемы: недостаточная точность моделирования микроклимата теплицы; тяжелая прогнозируемость внешних возмущений; значительная разница во времени отзывов системы при рассмотрении процессов управления микроклиматом и выращиванием урожая.

В этом смысле перспективным разделением системы на иерархические уровни или ее декомпозиция по временной признаку на два контура. Внешний контур управления процессом выращивания урожая - «медленный» контур, и внутренний контур управления микроклиматом - "быстрый" контур.

На рис. 3 представлен предложенную структуру двухконтурной иерархической системы управления урожайностью тепличного хозяйства. Внешний контур решает задачу оптимального управления в масштабе суток и недель. Для решения используются данные относительно актуального состояния урожая, долгосрочного прогноза погоды, перспективы изменения реализационной цены продукции. Такой расчет может происходить регулярно (зависит от типа растений), например раз в неделю, или по мере поступления необходимой информации: изменение прогноза цены или погодных условий.



Рис. 3. Иерархическая двухуровневая система управления урожайностью теплицы

Использование траекторий состояний системы, рассчитанных во внешнем контуре, вместе с краткосрочным прогнозом погоды позволяет в дальнейшем решить "скорую" подзадачу для внутреннего контура управления, чтобы поставить задачу контроля динамики микроклимата теплицы. При этом критерий эффективности "скорой" подзадачи должен быть оптимизирован только на интервале времени, во время которого действие исполнительных механизмов влияет на изменение микроклимата теплицы. На практике этот интервал имеет порядок одного часа или даже меньше.

Выводы:

1. В работе проведен декомпозиции системы управления урожайностью теплицы на две подсистемы в зависимости от времени отклика системы и решаемых задач при оптимизации процессов. Первая "медленная" подсистема связана с вопросами выращивания урожая, а вторая "скорая" - с параметрами микроклимата теплицы.
2. Взаимосвязь верхнего и нижнего уровней системы управления предлагается производить в виде траекторий состояний системы, слежения за которыми обеспечит оптимальность процесса управления.

Список использованной литературы

1. Speetjens, S. L. Towards an adaptive model for greenhouse control / S. L. Speetjens, J. D. Stigter, G. Van Straten. – Computers and Electronics in Agriculture, 2009, Vol. 67 (1–2). – P. 1–8.
2. F. Rodrigues, F. Feedforward controllers for greenhouse climate control based on physical models / F. Rodrigues, M. Berenguel, M. R. Arahal. – Proceedings of the European Control Conference ECC, 2001. – P. 2158–2163
3. T. Takakura, T. Simulation of biological and Environmental Processes / T. Takakura, J. E. Son. – Kyushu University Press, 2004. – 139 p.
4. Малько С. Л. Актуальность проблемы контроля и диагностики систем автоматизации технологических процессов защищенного грунта /С. Л. Малько, Л. П. Андрианова // Электрификация сельского хозяйства. – Уфа : БГАУ, 2002, Вып. 3. – С. 62-65.