

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ

Dmytro Koshkin

*Mykolayiv State Agrarian University, Ukraine
Krylova Street 17, Mykolayiv 54040, Ukraine
e-mail: atamanyuk_igor@mail.ru

Аннотация. Представлена математическая модель теплицы при управлении температурой и влажностью воздуха, базирующаяся на законах сохранения энергии и массы. Разработана Simulink модель для применения в образовательных целях для демонстрации физических явлений, происходящих в теплице и принципов управления микроклиматом.

Ключевые слова. Теплица, система управления, микроклимат, Simulink, моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Поддержание параметров микроклимата в теплице имеет значительное влияние на рост растений, уровень урожайности и его качество, а также на потребление энергии. Зачастую для удовлетворения требований высокой урожайности при малом потреблении энергии необходимо контролировать и управлять многими параметрами микроклимата: температурой и влажностью воздуха, содержанием CO_2 , используя такие управляющие воздействия нагретый воздух (отопление), вентиляция, увлажнение, обогащение диоксидом углерода.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ РАЗРАБОТОК

Исследования математических моделей теплицы как объекта управления в последние десятилетия существенно продвинулись. В работах таких ученых как И.Ф. Бородин, В.Р. Краусп, Р.М. Славин представлены исследования математического описания динамических процессов в теплицах. Этой тематикой исследований также занимались зарубежные ученые Rodriguez, Takakura и пр.

Наиболее простые модели, представленные в виде аperiodических звеньев первого либо второго порядка с запаздыванием [3,10]. Такие модели являются достаточно грубыми и приближено описывают поведение объекта управления при регулировании одного параметра, например температуры. Существуют модели более сложной структуры, например, для управления двумя и более параметрами описанные в [13]. Неоспоримым преимуществом таких способов задания математических моделей является наглядность моделирования и возможность применения классических методов синтеза регуляторов систем управления параметрами микроклимата.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В свою очередь другой подход к заданию математических моделей теплицы базируется на описании этой сложной динамической системы, где такие параметры как температура и влажность связаны нелинейными законами термодинамики, при помощи модели в пространстве состояний такой формы:

$$\dot{x} = f(t, x, u, v), \quad (1)$$

где: f обозначает нелинейную функцию; t – время; x – переменные состояния, такие как температура воздуха в теплице, его влажность, концентрация диоксида углерода; u –

управляющие воздействия, такие как обогрев воздуха калориферами или прочими устройствами, естественная или принудительная вентиляция, системы туманообразования а также системы обогащения CO₂; v – внешние возмущающие воздействия, например температура и влажность наружного воздуха, солнечная радиация, ветровое воздействие и пр.

Модель в пространстве состояний более точно описывает процессы происходящие в теплице, учитывая взаимосвязь переменных состояния, внешних возмущений и сигналов управления, однако в свою очередь существенно усложняется моделирование вследствие нелинейности модели.

Настоящее исследование ставит своей целью исследование математической модели теплицы при управлении температурой и влажностью воздуха, базирующаяся на законах сохранения энергии и массы. А также разработку Simulink-модели для применения в образовательных целях для демонстрации физических явлений, происходящих в теплице и принципов управления микроклиматом

В работах [16,17] предлагаются различные варианты таких моделей базирующиеся в большинстве случаев на законах сохранения массы и энергии и на динамике изменения переменных состояния в следующей дифференциальной форме:

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_{\text{в}} V_m} [Q_n(t) + S_n(t) - \lambda Q_m(t)] - \left(\frac{v_{\text{в}}(t)}{V_m} + \frac{k_{\text{м.о.ср}}}{\rho C_{\text{в}} V_m} \right) [T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{внеш}}(t)], \quad (2)$$

$$\frac{d\varphi_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{V_{\text{в}}} Q_m(t) + \frac{1}{V_{\text{в}}} [E(S_n(t), \varphi_{\text{внутр}}(t))] - \frac{v_{\text{в}}(t)}{V_{\text{в}}} [\varphi_{\text{внутр}}(t) - \varphi_{\text{внеш}}(t)], \quad (3)$$

$$E(S_n(t), \varphi_{\text{внутр}}(t)) = \alpha \frac{S_n(t)}{\lambda} - \beta \varphi_{\text{внутр}}(t), \quad (4)$$

где: $T_{\text{внутр}}$, $T_{\text{внеш}}$ – температура воздуха внутри и снаружи теплицы соответственно (°C);

$\varphi_{\text{внутр}}$, $\varphi_{\text{внеш}}$ – относительная влажность воздуха внутри и снаружи теплицы соответственно (%),

$k_{\text{м.о.ср}}$ – коэффициент теплопередачи материала ограждения теплицы (Вт/К),

V – полный геометрический объем теплицы (м³),

$V_m, V_{\text{в}}$ – обогреваемый и увлажняемый объемы теплицы соответственно (м³). Обычно составляют не более 60%-70% общего объема теплицы,

ρ – плотность воздуха (1,2 кг/м³),

$C_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воздуха (1,005 кДж·кг⁻¹·К⁻¹),

Q_n – мощность обогревателей воздуха теплицы (Вт),

Q_m – производительность системы туманообразования (гводы/с),

$S_n(t)$ – поглощенное теплицей солнечное излучение (Вт),

λ – удельная теплота парообразования (2256 кДж/кг),

$v_{\text{в}}(t)$ – воздухообмен, обеспечиваемый системой вентиляции теплицы (м³/с),

$E(S_n(t), \varphi_{внутр}(t))$ – эвапотранспирация растений, в функции от поглощенного солнечного излучения и влажности воздуха в теплице ($\Gamma_{воды}/c$),
 α, β – масштабные коэффициенты, принимаемые постоянными.

В системе уравнений (2) – (4) переменными состояния являются температура и относительная влажность воздуха внутри теплицы $T_{внутр}, \varphi_{внутр}$, а управляющими воздействиями: мощность обогревателей воздуха теплицы Q_n , производительность системы туманообразования Q_m , а также воздухообмен системы вентиляции теплицы $v_v(t)$.

Для упрощения модели обычно считается, что выделяемые растениями испарения в большей степени зависят от солнечной радиации и в меньшей от влажности воздуха, поэтому в уравнении (4) пренебрегают слагаемым $\beta\varphi_{внутр}(t)$.

Подставляя (4) в (2), после преобразований получим:

$$\frac{dT_{внутр}(t)}{dt} = \frac{1}{C_г} [Q_n^{max} \tilde{Q}_n(t) + S_n(t) - \lambda' \tilde{Q}_m(t)] - \left(\frac{\tilde{v}_v(t)}{T_v} + \frac{k_{m.опр}}{C_г} \right) [T_{внутр}(t) - T_{внеш}(t)], \tag{5}$$

$$\frac{d\varphi_{внутр}(t)}{dt} = \frac{1}{V'} \tilde{Q}_m(t) + \alpha' S_n(t) - \frac{\tilde{v}_v(t)}{T_v} [\varphi_{внутр}(t) - \varphi_{внеш}(t)], \tag{6}$$

где: $\tilde{Q}_n = \frac{Q_n}{Q_n^{max}}, \tilde{Q}_m = \frac{Q_m}{Q_m^{max}}, \tilde{v}_v = \frac{v_v}{v_v^{max}}$ – нормализованные управляющие переменные;

$\lambda' = \lambda Q_m^{max}, V' = \frac{V_m}{Q_m^{max}}, \alpha' = \frac{\alpha}{V_g \lambda}$ – нормализованные коэффициенты;

$T_v = \frac{V_g}{v_v^{max}}$ – время, необходимое для полной замены воздуха в увлажняемой части

теплицы.

На базе системы уравнений (5)–(6) в данном исследовании была разработана блочно-имитационная модель в среде Simulink программного комплекса Matlab, представленная на рис. 1.

На схеме выделены три группы блоков. В группу 1 входят блоки, соответствующие управляющим воздействиям. Группа 2 объединяет блоки возмущающих воздействий. В третью группу объединены блоки констант-параметров конкретной теплицы. Остальные блоки предназначены для выполнения математических операций: суммирования, умножения, деления, интегрирования; а также для визуализации результатов моделирования – блок «Score».

В настоящем примере была промоделирована теплица на 1000 м² высотой 4 м. с параметрами, представленными в таблице. Все параметры приведены к одному квадратному метру площади теплицы, параметры . Начальные значения температуры и влажности, установленные в блоках интегрирования: 15 °C, и 50%.

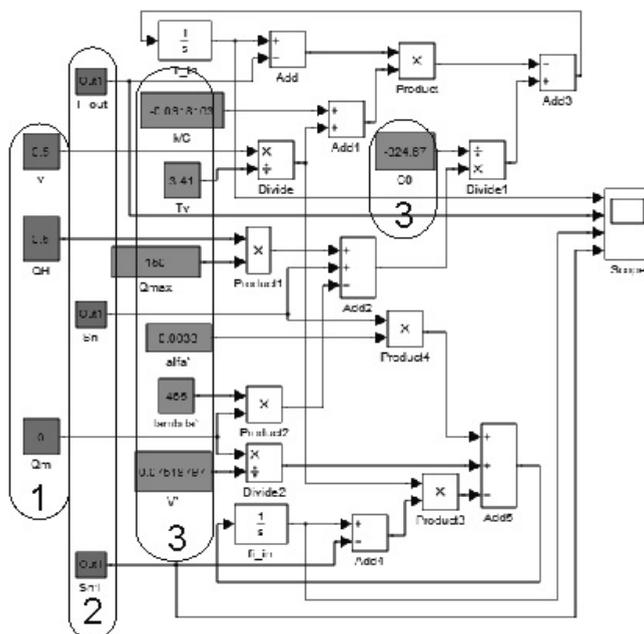


Рис. 1. Математическая модель теплицы в среде Matlab-Simulink/
 Fig. 1. A mathematical model of the greenhouse environment in Matlab-Simulink

Таблица 1. Параметры модели теплицы
 Table 1. Parameters of the greenhouse model

| Наименование | Значение |
|--------------|-----------------------------------|
| C_0 | -324,67 мин·Вт/°С |
| $k_{m.ocr}$ | 29,81Вт/°С |
| T_v | 3,41 мин |
| λ | 465 Вт |
| α | 0.0033 г/(м ³ ·мин·Вт) |
| V | 13,3 г/(м ³ ·мин) |

Моделирование проводилось в среде Matlab/Simulink на базе операционной системы Windows 7 Ultimate. Компьютер, имел следующие параметры AMD Athlon(TM) Dual-Core CPU, 2,1 GHz, 2Gb RAM. Для интегрирования использовался метод Рунге-Кутты 4-го порядка с фиксированным шагом 1 мин, диапазон интегрирования 1 сутки либо 1440 мин.

При моделировании все параметры математической модели теплицы считались постоянными, внешние возмущения моделировались подсистемами, аналогичными представленной на рис. 2 в которую входят в качестве основных генерирующих звеньев: постоянная, гармоническая и случайная составляющие. В данном случае, представлен блок задания температуры окружающей среды в виде следующей зависимости

$$T_{\text{внешн}}(t) = T_{\text{ср}} + \Delta T \sin(\omega t) + \delta(t) = 25 + 10 \sin(0,0044t) + \delta(t) \quad (7)$$

где $T_{\text{ср}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ – средняя температура; $\Delta T = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ – амплитуда колебаний температуры в течение суток; $\omega = 2\pi/1440$ частота гармонической составляющей; $\delta(t)$ – случайная составляющая (белый шум).

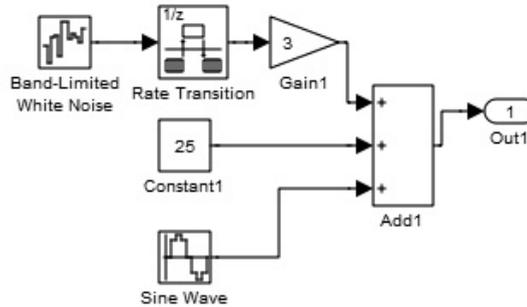


Рис. 2. Модель задания возмущающего воздействия

Fig. 2. Model of disturbance

Подобным образом моделировались колебания влажности, а также солнечного излучения в течение суток. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

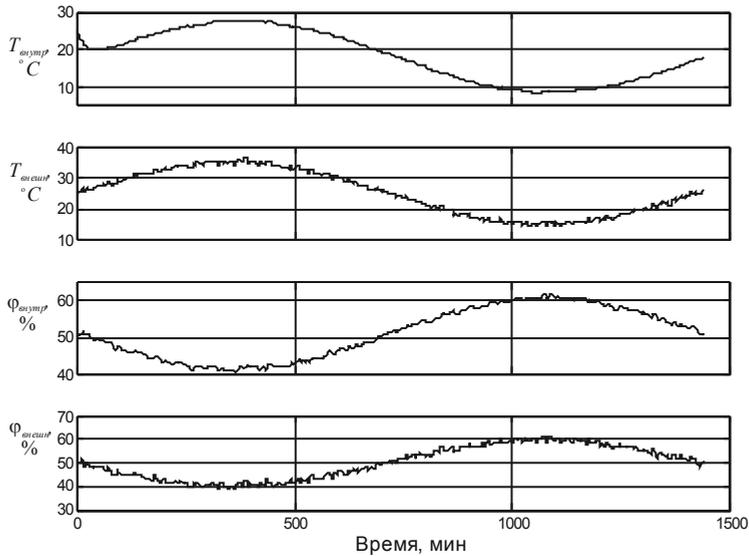


Рис. 3. Результаты моделирования температуры и влажности воздуха внутри теплицы
Fig. 3. The simulation results of temperature and humidity inside the greenhouse

ВЫВОДЫ

Представленная модель теплицы при управлении температурой и влажностью воздуха, разработана для применения в образовательных целях с целью продемонстрировать физические явления, происходящие в теплице и принципы управления микроклиматом. Вследствие простоты настройки параметров, может быть легко

воспроизведена для множества различных конструкций и систем тепличных комплексов, а также для разнообразных сценариев изменения условий окружающей среды. В качестве дальнейших направлений исследований предполагается разработка регуляторов для системы управления микроклиматом как непрерывного так и дискретного принципов действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация и электрификация защищенного грунта. Научные труды ВАСХНИЛ /Под ред. акад. ВАСХНИЛ Л. Г. Прищепы. М.: Колос, 1976.
2. Андреева Е.В. Методы параметрической оптимизации систем управления технологическими процессами [автоматизация математического описания управляемых объектов на примере овощеводческих теплиц] / Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2008. № 3. С. 634-634.
3. Бородин И.Ф., Рысс А.А. Автоматизация технологических процессов. М.: Колос, 1996.-351с.
4. Буклагина Г.В. Автоматизация теплиц различных поколений / Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2005. № 4. С. 922.
5. Владыкин И.Р. Взаимосвязанное управление тепловым и световым режимами в защищенном грунте // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 9. С. 32-33.
6. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления. / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребенко, М.Э. Сальгадо. – Москва.: БИНОМ. 2004.
7. Константинов В.Н. Разработка и проверка компьютерной модели, используемой для автоматизированного управления температурным режимом в теплицах, обеспечивающим тепловые потребности растений при минимальном энергопотреблении. (греция) // Константинов В.Н. Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2003. № 3. С. 616.
8. Лашин Д.А. Использование логических выводов в управлении микроклиматом теплиц // Информационный сборник "Теплицы России", 2004, № 1, с. 33-35.
9. Лашин Д.А. Стратегия управления микроклиматом в теплицах // Гавриш. – Москва, 2005. – № 2 – С.25-26. Оллсон Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Оллсон, Дж. Пиани., 2001. СПб.: Невский Диалект. 557 с.
10. Малько С.Л., Андрианова Л.П. Актуальность проблемы контроля и диагностики систем автоматизации технологических процессов защищенного грунта. Электрификация сельского хозяйства. Межвузовский научный сборник, выпуск 3, Уфа: БГАУ, 2002 г. с. 62-65.(передат. ф-я с запазд)
11. Рысс А.А. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах. // А.А. Рысс, Л.И. Гурвич, 1986 М.: Агропромиздат. 128 с.
12. Тайсаева В.Т. Моделирование теплового режима солнечной теплицы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 10. С. 15-16.
13. Токмаков Н. М. Математическая модель системы управления микроклиматом ангарных теплиц Н. М. ? В.С. Грудинин 28-32 Гавриш №3 2008
14. Токмаков Н.М. Особенности управления микроклиматом в ангарных теплицах. / Гавриш. № 7. 2007. С. 24
15. Arvanitis, K.G. Multirate adaptive temperature control of greenhouses. / K.G. Arvanitis., P.N. Paraskevopoulos, A.A. Vernardos / Comput. Electron. Agric. 26, 2000 pp.303-320. Pasgianos G.D. A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control / G.D. Pasgianos, K.G. Arvanitis, P. Polycarpou, Computers and Electronics in Agriculture 40 (2003) 153-177
16. Rodriguez, F., M. Berenguel and M.R. Arahal (2001). Feedforward controllers for greenhouse climate control based on physical models. In: Proceedings of the European Control Conference ECC. pp. 2158–2163

17. Takakura T, Son J.E., 2004. Simulation of biological and Environmental Processes. Kyushu University Press, 139 pp
18. Young, P.C. Recent developments in the modelling of imperfectly mixed airspaces. / Young, P.C., Price, L., Berckmans, D., Janssens, K., Comput. Electron. Agric. 26, 2000. pp.239-254. Zolnier, S., Gates, R.S., Buxton, J., Mach, C., Psychrometric and ventilation constraints for vapor pressure deficit control. Comput. Electron. Agric. 26, 2000. pp.343-359.

THE DYNAMIC MODEL OF THE GREENHOUSE ENVIRONMENT CONTROL SYSTEM

Summary. The mathematical model of the greenhouse temperature and humidity control, based on the laws of energy and mass conservation is presented. Simulink - model for educational purposes for demonstrating the physical phenomena of greenhouse systems and the principles of environmental control is developed.

Key words: greenhouse, environment control, mathematical model, Simulink, simulation.