

тура хладоносителя в АХКД в конце процесса охлаждения  $t_{x2} = 5,67$  °С.

Установлено, что для охлаждения жидкого продукта в проточном теплообменнике с 15 до 6 °С хладоносителем, имеющим начальную температуру 2 °С, количество хладоносителя должно быть в 2,4 раза больше, чем количество охлаждаемого продукта. При этом температура хладоносителя в АХКД в конце цикла охлаждения составит в среднем 5,8 °С.

### Выводы

1. Предложенная математическая модель процесса охлаждения сельскохозяйственной продукции с использованием естественного и искусственного холода позволяет обосновать параметры системы охлаждения, установить связь основных параметров технических средств с технологией охлаждения и температурой атмосферного воздуха, минимизировать затраты энергии и оптимально использовать аккумулирующую способность аккумуляторов естественного и искусственного холода водоледающего типа.

2. Наиболее эффективным является режим вытеснения хладоносителя в АХ, способствующий аккумулярованию холода до более низкой температуры (2 °С) при минимальной кратности объемов хладоносителя к охлаждаемому продукту ( $K_B = 2,45$ ).

По сравнению с режимом смешивания режим вытеснения хладоносителя в АХ позволяет не менее чем в 2...3 раза уменьшить производительность подзарядной холодильной установки.

3. Использование в технологической линии с предварительным охлаждением сельскохозяйственной продукции аккумуляторов естественного и искусственного холода водоледающего типа позволяет сократить удельные затраты электроэнергии на охлаждение в холодное время года до 10 раз, установленную мощность электрооборудования и производительность подзарядных холодильных установок до 3 раз и материалоемкость аккумуляторов до 6 раз, а также повысить аккумулирующую способность системы не менее чем в 2 раза по сравнению с традиционными способами охлаждения.

### Список литературы

1. **Учеваткин, А.И.** Автоматизированные энергосберегающие технологии и система электрооборудования линий первичной обработки молока на фермах / А.И. Учеваткин: Автореф. дис. ... доктора техн. наук. — М.: ВИЭСХ, 1998.
2. **Учеваткин, А.И.** Математическая модель и метод расчета процесса аккумулярования естественного и искусственного холода в установках комбинированного действия / А.И. Учеваткин, Ф.Г. Марьяхин, В.А. Лавров, В.П. Мальнев: научн. тр. — М.: Российская инженерная академия менеджмента и агробизнеса. 2002. — № 3. — С. 207–217.

УДК (631.22:628.8/9)+519.8

*Е.А. Воронин, доктор техн. наук, профессор*  
*С.С. Зимнов, аспирант*

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина»

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ МИКРОКЛИМАТА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Проблеме и задачам управления микроклиматом посвящено большое количество работ. В них решались задачи выбора оборудования для систем микроклимата, разработки и синтеза систем автоматического управления им. При этом синтез систем автоматического управления рассматривался, как задача поддержания или стабилизации требуемых параметров больших помещений во времени и пространстве. Сводились они к построению устойчивой системы управления по одному из стабилизирующих параметров. Но это сложная система, и управлять ею необходимо по главным параметрам микроклимата.

Для решения данной задачи необходимо построить математическую модель объекта, т. е. описать динамическую систему соответствующими дифференциальными уравнениями.

Из материалов по проектированию систем микроклимата известно, что за основные параметры состояния системы можно принять температуру воздуха  $T$  внутри помещения, влажность, а лучше влагосодержание  $w$  и концентрацию  $g$  наиболее вредной и значимой компоненты [1, 2].

Представим систему микроклимата, как систему с сосредоточенными параметрами. Это допущение обусловлено наличием конструктивных решений, обеспечивающих достаточную равномерность параметров микроклимата в помещениях.

Предположим, что в помещение подает теплоту управляемый источник мощностью  $P$ , внутри помещения находится неуправляемый источник теплоты мощностью  $P_B$ , источник влажности с влагосодержанием  $w_B$  и газовыделением  $G_B$ , а система

вентиляции состоит из приточных вентиляторов с воздухоподачей  $V$  и вытяжных вентиляторов с воздухоподачей  $U$ .

Наружный воздух характеризуем соответствующими параметрами  $T_o, w_o, g_o$ .

Рассматриваемая система со всеми внутренними, внешними и управляющими параметрами изображена на рисунке [3, 4, 5].

Составим уравнение баланса по газосодержанию:

$$\Delta G = (Vg_o\Delta t - \beta Vg\Delta t - Ug\Delta t + \beta U g_o\Delta t + G_B\Delta t) / M, \quad (1)$$

где  $\beta$  — коэффициент связи между объемами приточного и вытяжного воздуха;  $M$  — объем помещения.

После соответствующих преобразований получим

$$\frac{\Delta G}{\Delta t} = \frac{V}{M}(g_o - \beta g) - \frac{U}{M}(g - \beta g_o) + \frac{G_B}{M}. \quad (2)$$

Обозначим для удобства математических исследований:  $v = V/M, u = U/M, g_B = G_B/M$  и запишем соответствующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dg}{dt} = v(g_o - \beta g) - u(g - \beta g_o) + g_B. \quad (3)$$

Аналогично получим дифференциальное уравнение для определения влагосодержания:

$$\frac{dw}{dt} = v(g_o - \beta g) - u(g - \beta g_o) + w_B, \quad (4)$$

где  $w_B = W_B/M$ .

Чтобы вывести дифференциальное уравнение для определения изменения температуры, составим уравнение теплового баланса, обозначив через  $\Delta Q$  изменение теплоты воздуха внутри помещения:

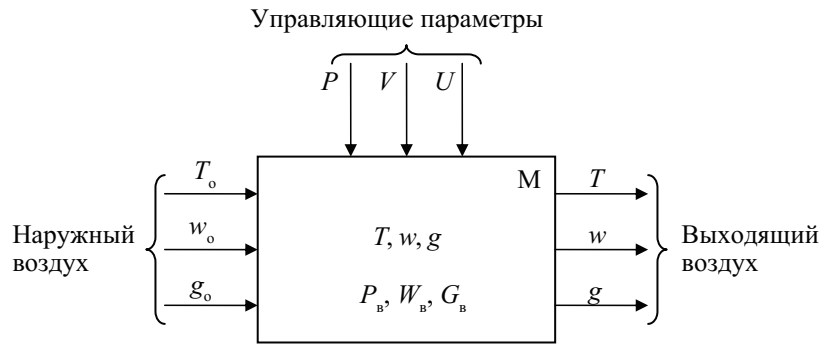
$$\Delta Q = P\Delta t + P_B\Delta t + \rho c_B V(T_o - T)\Delta t - \rho c_B V\beta(T - T_o)\Delta t - \rho c_B U(T - T_o)\Delta t + \rho c_B U\beta(T_o - T)\Delta t - (\beta V + U) \times 2,25(w - w_o)\Delta t - \varepsilon(T - T_o)\Delta t, \quad (5)$$

где  $\rho$  — плотность сухого воздуха;  $c_B$  — теплоемкость сухого воздуха;  $\varepsilon$  — коэффициент теплопотерь через стены, пол и потолок помещения.

Соответственно

$$\Delta Q = c_2 \rho M \Delta T. \quad (6)$$

Подставив это выражение в формулу (6), получим



Параметрическая структура системы микроклимата

$$c_B \rho M \Delta T = P\Delta t + P_B\Delta t + \rho c_B (T_o - T)\Delta t V(1 + \beta) - \rho c_B (T - T_o)\Delta t U(1 + \beta) + 2,25(w - w_o) \times (\beta V + U)\Delta t + \varepsilon(T_o - T)\Delta t$$

или

$$c_B \rho M \Delta T = P\Delta t + P_B\Delta t + \rho c_B (T_o - T)(1 + \beta) \times (V + U)\Delta t + 2,25(w - w_o)(\beta V + U)\Delta t + \varepsilon(T_o - T)\Delta t. \quad (7)$$

После преобразований имеем

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P + P_B}{c_B \rho M} + (1 + \beta)(v + u)(T_o - T) + \frac{2,25}{\rho c_B}(w - w_o)(u + \beta v) + \frac{\varepsilon}{\rho c_B}(T_o - T). \quad (8)$$

Как для приточной, так и для вытяжной вентиляции предположим, что сколько воздуха (по объему) закачено в помещение, то столько же и вытеснено из него через двери, окна, щели и т. д. Тогда можно принять  $\beta = 1$  и переписать дифференциальное уравнение (5) в виде системы:

$$\begin{cases} \frac{dg}{dt} = (v + u)(g_o - g) + g_B; \\ \frac{dw}{dt} = (v + u)(w_o - w) + w_B; \\ \frac{dT}{dt} = p + p_B + 2(v + u)(T_o - T) + \gamma(v + u)(w_o - w) + \delta(T_o - T), \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{где } p = \frac{P}{\rho c_B M}; \quad p_B = \frac{P_B}{\rho c_B M}; \quad \gamma = \frac{2,25}{\rho c_B}; \quad \delta = \frac{\varepsilon}{\rho c_B}.$$

Примем, что

$$\frac{dg}{dt} = \frac{dw}{dt} = \frac{dT}{dt} = 0. \quad (10)$$

Тогда стационарные значения параметров микроклимата  $g^*, w^*$  и  $T^*$  найдем из системы уравнений

$$\begin{cases} (\nu+u)(g_o - g^*) + g_B = 0; \\ (\nu+u)(w_o - w^*) + w_B = 0; \\ 2(\nu+u)(T_o - T^*) + \gamma(w_o - w^*)(\nu+u) + \\ + \delta(T_o - T^*) + p + p_B = 0, \end{cases} \quad (11)$$

откуда

$$(\nu+u)(g^* - g_o) = g_B; \quad (12)$$

$$g^* = \frac{g_B}{\nu+u} + g_o;$$

$$w^* = \frac{w_B}{\nu+u} + w_o; \quad (13)$$

$$(T^* - T_o)[2(\nu+u) + \delta] + \gamma(w^* - w_o) = p + p_B;$$

$$T^* = T_o + \frac{(p + p_B) + \gamma(w_o - w^*)}{2(\nu+u) + \delta}. \quad (14)$$

Формулы (12)...(14) удобны для практического применения, так как позволяют определять заданные параметры микроклимата при установленных управляющих воздействиях.

Решим систему дифференциальных уравнений (10) для определения переходных процессов во времени.

Для упрощения вычислений обозначим

$$\nu + u = z.$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} \frac{dg}{dt} &= z(g_o - g) + g_B; \\ \frac{dw}{dt} &= z(w_o - w) + w_B; \\ \frac{dT}{dt} &= 2z(T_o - T) + \gamma z(w_o - w) + \\ &+ \delta(T_o - T) + p + p_B; \\ \frac{dg}{z(g_o - g) + g_B} &= dt. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Введем замену переменной  $x = zg_o - zg + g_B$ . После интегрирования получим

$$x = Ce^{-zt},$$

где  $C$  — константа, определяемая из начальных условий.

С учетом данного значения  $x$  из системы (15) находим

$$g = (g_B + zg_o - Ce^{-zt})/z$$

или

$$g = \frac{g_B + zg_o}{z} - \frac{C}{z}e^{-zt}. \quad (16)$$

Предположим, что при  $t = 0$   $g = g_H$  (здесь  $g_H$  — газосодержание внутреннего воздуха при начальных условиях). Тогда

$$C = g_B + zg_o - zg_H. \quad (17)$$

Подставив выражение (17) в формулу (16), получим

$$g(t) = \frac{g_B + zg_o}{z} - \frac{g_B + zg_o - zg_H}{z}e^{-zt} = \frac{g_B}{z} + g_o - \left(\frac{g_B}{z} + g_o - g_H\right)e^{-zt}.$$

Окончательно имеем

$$g(t) = g_o + \frac{g_B}{\nu+u} - \left(g_o - g_H + \frac{g_B}{\nu+u}\right)e^{-(\nu+u)t} \quad (18)$$

или

$$g(t) = g^* - (g^* - g_H)e^{-(\nu+u)t}. \quad (19)$$

Аналогично решим уравнение для влажности

$$w(t) = w_o + \frac{w_B}{\nu+u} - \left(w_o - w_H + \frac{w_B}{\nu+u}\right)e^{-(\nu+u)t} \quad (20)$$

или

$$w(t) = w^* - (w^* - w_H)e^{-(\nu+u)t}. \quad (21)$$

Решение в абсолютных значениях  $T(t)$  очень громоздкое, поэтому его легче решать с учетом отклонений от условий окружающей среды:

$$(T_o - T) \rightarrow \Theta(t); \quad (w_o - w) \rightarrow W(t).$$

Тогда

$$\Theta(t) = -\frac{1}{2} \frac{\left\{ \begin{aligned} (p + p_B) - \gamma w_B + 2w_B e^{-(\nu+u)t} - \\ - [(p + p_B) + \gamma w_B] e^{-2(\nu+u)t} \end{aligned} \right\}}{\nu+u}. \quad (22)$$

Вернувшись к абсолютным значениям  $T(t)$ , получим

$$T(t) = T_o + \frac{\left\{ \begin{aligned} p + p_B - \gamma w_B + 2w_B e^{-(\nu+u)t} - \\ - [(p + p_B) + \gamma w_B] e^{-2(\nu+u)t} \end{aligned} \right\}}{2(\nu+u)}. \quad (23)$$

### Выводы

Полученные дифференциальные уравнения и их решения позволяют рассмотреть систему микроклимата как объект управления и автоматизации.

Из их вида следует, что она относится к классу линейных систем и может управляться параметрами: подводимой мощностью обогрева, интенсивностью приточной вентиляции и интенсивностью вытяжной вентиляции.

#### Список литературы

1. Карпис, Е.Е. Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление в животноводческих и птицеводческих зданиях (опыт зарубеж. строит-ва) / Е.Е. Карпис, В.К. Роцько. — М.: ЦНИИС, 1971.

2. Мещерский, В.И. Исследование математической модели микроклимата птичника / В.И. Мещерский, С.М. Миртевич, Б.Д. Шапкин / Сб. науч. тр.: Совершенствование сельскохозяйственной техники, применяемой в животноводстве. Т. 80. — Горький: ГПИ, 1970.

3. Чистович, А.С. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления / А.С. Чистович. — Л.: Стройиздат, 1975.

4. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский. — М.: Высшая школа, 1982.

5. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. — М.: Стройиздат, 1979.

УДК 631.53.02.34.001.2

*Л.В. Навроцкая, канд. техн. наук, доцент*

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина»

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА ХРОСОМНЫХ МУТАЦИЙ

Для увеличения производства и улучшения качества сельскохозяйственной продукции нужно создавать более продуктивные новые сорта сельскохозяйственных растений, устойчивые к болезням, полеганию, морозам и засухе, а также улучшать уже имеющиеся. С этой целью часто используют факторы воздействия на семена сельскохозяйственных культур.

Известны физические методы, которые по данным многочисленных авторов могут при определенных условиях вызывать наследственные изменения того или иного вида, сорта сельскохозяйственных культур. При этом из спектра их изменчивости можно выбрать растения с наилучшими хозяйственно-ценными качествами. Эти наследственные изменения с положительными свойствами могут ликвидироваться или остаться в потомстве — все зависит от процента наблюдаемых хромосомных нарушений и от жизнеспособности обработанных семян. Поэтому перед обработкой мутагенными факторами целесообразно повысить жизнеспособность семян, а следовательно, и выросших из них растений, т. е. провести предварительную стимуляционную обработку.

Для достижения максимального стимуляционного эффекта роста проростков, развития корневой системы, усиления жизнеспособности и энергии прорастания семян необходим направленный, увеличенный и поддерживаемый оптимальное время транспорт ионов воды, микроэлементов, кислорода и других полезных веществ, поступающих через мембраны в клетки семян. Следует также усилить обменные процессы в клетках семян.

При воздействии синусоидальным током на клетки тканей молекулы воды, являясь диполями,

под действием разности потенциалов ускоренно накачиваются в клетку с обеих сторон через поры мембраны (диаметр пор 0,4 нм, диаметр молекулы воды 0,24 нм). Попав в клетку и подвергаясь в ней ионизации направленными электронами, эта вода служит дополнительным источником дыхания клетки (на фоне естественного проникновения ее в клетку), а также дополнительным источником образования АТФ. В клетке происходят усиленные разностью потенциалов на электродах ионный и водный обмены, а также увеличиваются запасы энергии клетки — АТФ. В ней наблюдаются значительные токи проводимости, возбуждающие ионные каналы и вызывающие одновременно с пассивным сокращением расширение капилляров, что приводит к активации движения в них воды. В основе этих реакций лежит активация потенциалозависимых ионных каналов, обуславливающая изменение исходной поляризации мембран и генерации потенциалов действия.

В результате насыщения клетки необходимыми ионами и водой, имеющей большую диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$ , электрическое сопротивление клетки уменьшается и через нее начинает проходить значительный переменный электрический ток, стимулирующий в ней жизненно важные процессы, проявляющиеся в изменении морфологических свойств развивающегося из этой клетки растения. Число активируемых ионных каналов обусловлено соответствием частоты модуляции переменного тока и кинетических характеристик данных каналов, а также глубиной амплитудной модуляции. Чем ниже частота модуляции воздействующего переменного тока, тем больше продолжительность се-