

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧЕТЫРЕХСЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ/УВЛАЖНЕНИЯ

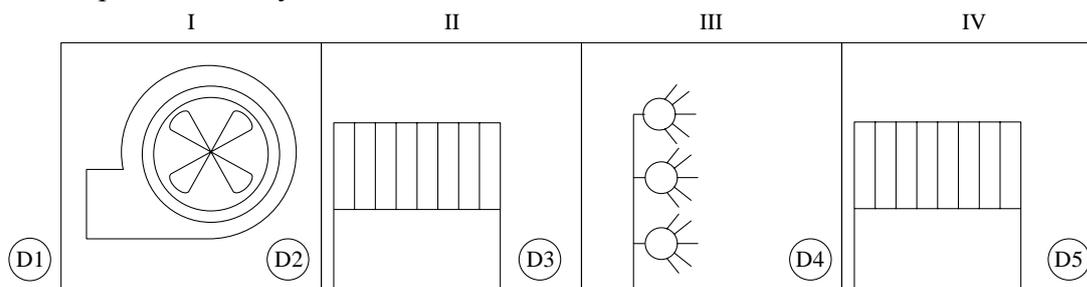
**Волочко А. В., магистрант; Червинский В. В., доц., к.т.н., доц.**

*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

Среди инженерных систем жизнеобеспечения зданий можно выделить: систему вентиляции, систему отопления (либо комбинированную отопительно-вентиляционную систему) и систему кондиционирования воздуха (СКВ). Воздушное отопление, совмещенное с вентиляцией, создает в помещении вполне удовлетворительный микроклимат и обеспечивает благоприятные условия воздушной среды. СКВ представляет собой систему более высокого порядка (с большими возможностями). Принципиальное преимущество состоит в том, что, помимо выполнения задач вентиляции и отопления, СКВ позволяет создать благоприятный микроклимат (комфортный уровень температур) в помещении и поддерживать его [3].

Система должна поддерживать в помещении заданные кондиции воздуха независимо от уровня и колебаний метеорологических параметров наружного (атмосферного) воздуха, а также переменных поступлений в помещение тепла и влаги.

На рис. 1 представлена укрупненная структурная схема промышленной установки кондиционирования воздуха.



*Рисунок 1 – Структурная схема установки кондиционирования воздуха*

СКВ состоит из нескольких секций: забора воздуха (I), воздухонагревателя первого подогрева (II), увлажнения (III) и воздухонагревателя второго подогрева (IV), данная секция доводит воздух до нужной кондиции. Каждая секция оборудована комплексом датчиков D, они последовательно измеряют параметры проходящего воздуха.

В данной статье в качестве объекта управления рассматривается СКВ для условий спортивного комплекса «Кальмиус Арена». Данный объект находится на этапе строительства и предполагает установку современной системы централизованного отопления и кондиционирования воздуха.

СКВ, имеет множество режимов работы, определяемых сезоном и текущими погодными условиями. В частности, зимний режим работы подразумевает определенный алгоритм обработки воздуха, последовательно переходящего из одной секции в другую в зимний период года. Параметры воздуха для данного режима имеют четкие границы: диапазон выходной температуры воздуха составляет 10 - 20 °С, а влажность воздуха 50 – 60 %.

Анализ объекта показал, что он является многосвязным. На рисунке 2 представлена схема взаимосвязи входных и выходных параметров.

На рис. 2. приняты следующие обозначения:

управляющие воздействия:

$G_1$  - подача теплоносителя в секцию первичного нагрева;

$G_2$  - подача воды на орошение;

$G_3$  - подача теплоносителя в секцию вторичного нагрева;  
 возмущающие воздействия:  
 $t_B$  - возмущение по температуре;  
 $h_B$  - возмущение по влажности;  
 регулируемые параметры:  
 $t_{\text{ВЫХ}}$  - температура воздуха на выходе СКВ;  
 $h_{\text{ВЫХ}}$  - влажность воздуха на выходе СКВ.

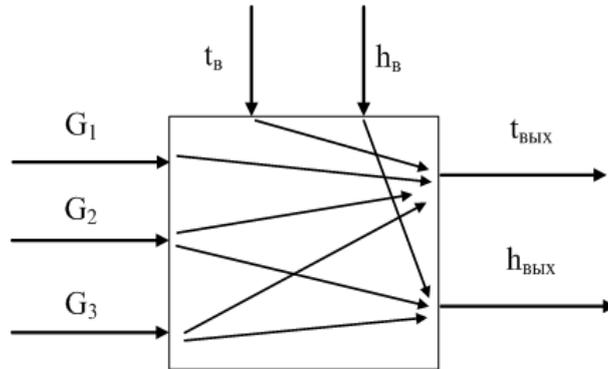


Рисунок 2 – Схема взаимосвязи входных и выходных параметров

Учитывая схему взаимосвязей можно сказать, что для математического описания каждой секции СКВ необходимо 4 передаточные функции.

Передаточные функции секций увлажнения и нагрева внешне идентичны и имеют вид:

$$W(p) = \frac{k_i}{T_i p + 1} \quad (1)$$

где  $T_i$  – постоянная времени апериодического звена, которое с достаточно высокой степенью достоверности описывает изменение таких параметров воздуха, как температура и влажность при прохождении по  $i$ -й секции;

$k_i$  – коэффициент передачи  $i$ -й секции.

Рассмотрим получение передаточных функций на примере секции первичного подогрева [4].

Постоянная времени теплообменного аппарата:

$$T = (c_m M_m + c_w M_w) / \left[ (c_w G_w + \left( \frac{2}{kF} + \frac{1}{c_w G_w} \right)^{-1}) \right] \quad (2)$$

где  $c_m$  - теплоемкость металла теплообменного аппарата;

$M_m$  – масса металла;

$c_w$  – теплоемкость теплоносителя;

$M_w$  – масса теплоносителя;

$G_w$  – расход теплоносителя;

$k$  – коэффициент теплопередачи аппарата;

$F$  – поверхность аппарата;

$t_k$  – температура воздуха на выходе аппарата;

$t_n$  – температура воздуха на входе аппарата;

$t_{wh}$  – температура теплоносителя на входе аппарата.

Произведение  $kF$  найдем исходя из следующих формул:

$$Q = kF (t_{cp,m} + t_{cp,e}) \quad (3)$$

$$kF = \frac{Q}{t_{cp.m} - t_{cp.в}} \quad (4)$$

Коэффициент передачи теплообменного аппарата:

$$K = (t_k - t_H) / (t_{wh} - t_H) \quad (5)$$

Для условий рассматриваемого объекта приняты следующие значения параметров и получены следующие результаты:

$c_m=0,385$  кДж/(кг\*К);  $M_m=83$  кг;  $c_w=4,19$  кДж/(кг\*К);  $M_w=13$ кг;  $G_w=1,043$  л/с;

$t_{cp.г}=87,5^\circ\text{C}$ ;  $t_{cp.в}=0^\circ\text{C}$ ;  $Q=152,87$  кВт;  $kF = 0,0064 \frac{\text{кДж}}{\text{с} * \text{K}}$ ;

$T=19,5$  с;  $K=0,35=Kt_k t_{wh}=K$ .

В итоге ПФ секции первичного нагрева по каналу управления имеет вид:

$$W(p) = \frac{0,35}{19,5p + 1}$$

Известно, что влажность воздуха зимой в среднем составляет 90% и при нагреве до  $20^\circ\text{C}$  она падает до 20%. Температура же может варьироваться от  $-20^\circ\text{C}$  до  $5^\circ\text{C}$ . Для моделирования будет взят нестандартный набор входных параметров для проверки работоспособности системы.

Моделирование системы проводится с учетом возмущений. К возмущениям относятся наружная (атмосферная) температура воздуха равная  $1^\circ\text{C}$ , и влажность равная 50%. Управляющее воздействие равно 100 л/сек.

При моделировании проведены три эксперимента которые покажут работу каждой секции. Ниже представлена схема моделирования системы кондиционирования воздуха:

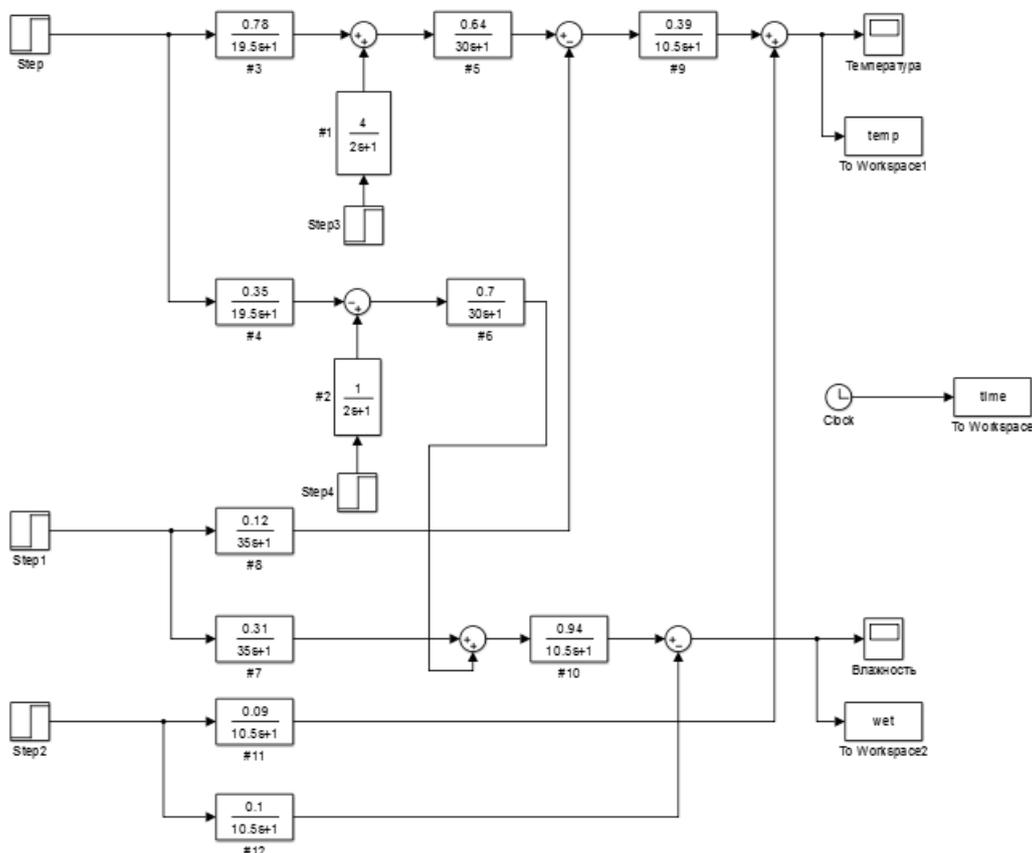
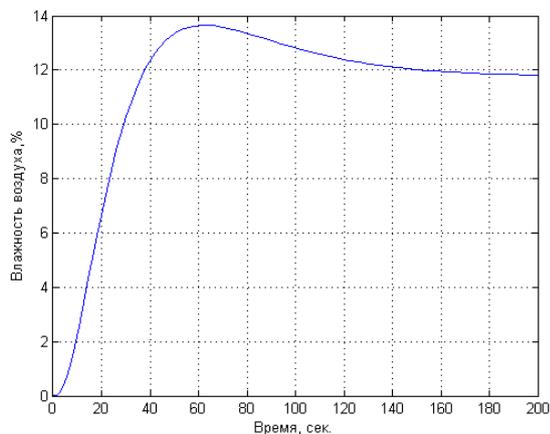
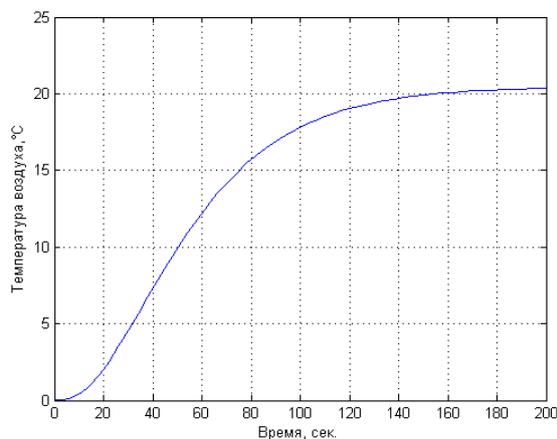


Рисунок 3 – Схема моделирования системы кондиционирования воздуха

В первом эксперименте промоделирована работа секции первичного подогрева воздуха с учетом возмущающего воздействия. На рис. 4 и рис. 5 представлены результаты – изменение температуры и влажности на выходе.

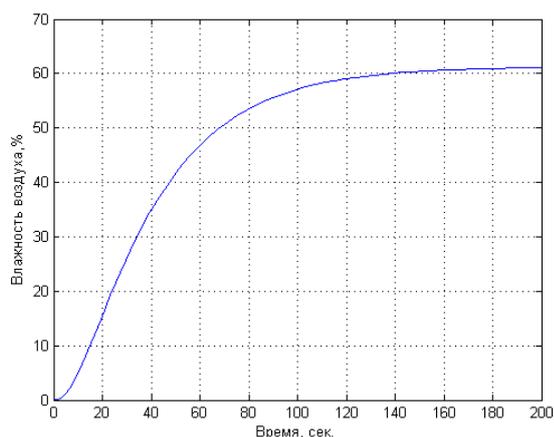


*Рисунок 4 – Выходная влажность*

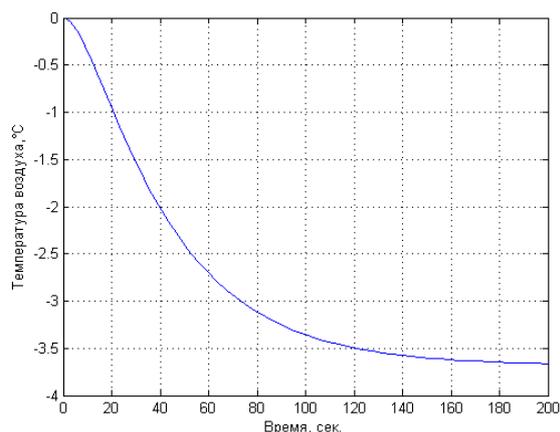


*Рисунок 5 – Выходная температура*

Во втором эксперименте промоделирована работа секции увлажнения воздуха с учетом возмущающего воздействия. На рис. 6 и рис. 7 представлены результаты.

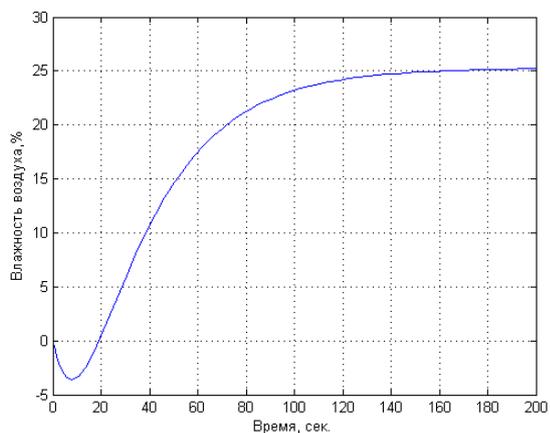


*Рисунок 6 – Выходная влажность*

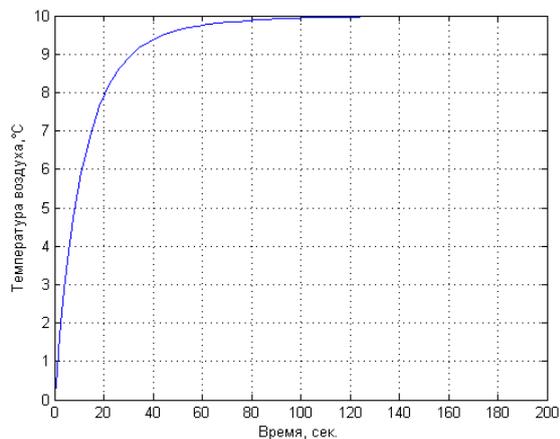


*Рисунок 7 – Выходная температура*

В третьем эксперименте промоделирована работа секции вторичного подогрева воздуха с учетом возмущающего воздействия. Результаты эксперимента представлены на рис. 8 и рис. 9.



*Рисунок 8 – Выходная влажность*



*Рисунок 9 – Выходная температура*

Проанализировав графики, можно сказать, что модель корректно отражает физические процессы, протекающие в установке СКВ, и результаты ее работы полностью соответствуют сезонному режиму. В первом эксперименте наблюдается рост температуры и уменьшение влажности примерно на 80 %, так как при нагреве влажность воздуха падает. Система достигает необходимого значения температуры в 20 °С. Во втором эксперименте влажность увеличилась, а температура уменьшилась. Это произошло вследствие того, что при увлажнении температура воздуха падает. Система достигает необходимого значения влажности в 60%. В третьем эксперименте влажность воздуха упала примерно на 50% а температура увеличилась. Система нагрела воздух до 10 °С. Это обусловлено тем, что секция вторичного нагрева должна лишь доводить воздух до нужных кондиций. В некоторых случаях она может вовсе не использоваться.

Таким образом, представленная математическая модель является многосвязной, то есть имеются перекрестные связи между входными и выходными параметрами.

Несмотря на полученные, с физической точки зрения, верные графики, система все же не может гарантировать оптимального протекания процесса в целом, а также является энергетически затратной. Необходима разработка автоматической системы управления промышленной установкой кондиционирования воздуха, что возможно сделать при помощи, например, многомерных ПИД регулятора, оптимальных регуляторов состояния или других законов регулирования.

#### Выводы.

В статье произведен анализ работы системы кондиционирования воздуха для условий СК «Кальмиус Арена» в зимний период. Показано, что данный объект является многосвязным с существенным взаимовлиянием перекрестных связей. Разработана математическая модель объекта в виде совокупности передаточных функций отдельных секций. Проведено моделирование, результаты которого отражают физические процессы, протекающие в объекте при подаче управляющих воздействий и возмущений. Сделан вывод о необходимости использования многомерного ПИД-регулятора или регулятора состояния для управления СКВ как многосвязным объектом. Представлена структурная схема установки СКВ, передаточные функции и результаты моделирования секций нагрева и увлажнения.

#### Перечень ссылок

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е.С. Бондарь [и др.]. – Киев : Издательство Аванпост-прим, 2003. – 561 с.
2. Нестеров, А. Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Книга 1. / А. Л. Нестеров. – Санкт-Петербург : Издательство ДЕАН, 2006. – 552 с.
3. Червинский, В. В. Моделирование САУ подогревом и охлаждением воздуха для установки промышленного кондиционирования воздуха / В. В. Червинский, А. В. Волочко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции в Воронежском государственном лесотехническом университете им. Г.Ф. Морозова (ВГЛТУ) 9-12 ноября 2015 г. – Воронеж, 2015. – № 7 часть 1 (18-1). – С. 217 – 220.
4. Филимонов, Д. С. Исследование центрального кондиционера, как объекта системы автоматического управления / Д. С. Филимонов, А. А. Макаров // Научная статья. Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского. – Москва, 2001. – С. 1-10.