

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 2 / 2024, Vol. 16, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/32SAVN224.pdf>

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Соколов, В. И. Идентификация отопительно-вентиляционных систем как объектов автоматического управления / В. И. Соколов, И. Д. Черникова, Г. В. Салуквадзе // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/32SAVN224.pdf>

For citation:

Sokolov V.I., Chernikova I.D., Salukvadze G.V. Identification of heating-ventilating systems as objects of automatic control. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(2): 32SAVN224. Available at: <https://esj.today/PDF/32SAVN224.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 697

Соколов Владимир Ильич

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, Россия
Профессор кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжения»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: sokolov.snu.edu@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0459-1824>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=439665

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191822948>

Черникова Ирина Демьяновна

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, Россия
Старший преподаватель кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжения»

E-mail: chernikova_i_d@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-2293>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1236927

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58643068300>

Салуквадзе Георгий Владимирович

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, Россия
Аспирант кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжения»

E-mail: georgysalukvadze@yandex.com

Идентификация отопительно-вентиляционных систем как объектов автоматического управления

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос идентификации математических моделей отопительно-вентиляционных систем. Для совершенствования методов управления данными системами необходимо иметь адекватное описание рабочих процессов, которые протекают в них. С точки зрения теории автоматического управления такие системы являются сложными объектами с распределенными параметрами, а рабочие процессы трудно поддаются четкой формализации. В этой связи актуальной является задача идентификации данных систем как объектов автоматического управления. Выполнен анализ методов структурной и параметрической идентификации сложных динамических систем и разработаны рекомендации для построения математических моделей отопительно-вентиляционных систем. Отмечено, что для получения адекватной математической модели аэротермодинамических процессов наиболее целесообразным является использование экспериментального метода, который позволяет получить достоверное математическое описание процессов, которые происходят в

системе. При этом эксперимент может быть пассивным, когда уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются. Показано, что отопительно-вентиляционные системы инерционны и являются объектами с саморегулированием, т. е. регулируемая переменная стабилизируется на некотором значении. Переходные процессы в таких системах имеют не колебательный вид и характерное запаздывание. В этой связи наиболее рациональным будет построение математических моделей отопительно-вентиляционных систем как объектов автоматического управления путем их идентификации по экспериментальным данным в виде передаточных функций первого и второго порядков с запаздыванием. Авторами представлен пример математической модели отопительно-вентиляционной системы в виде передаточной функции для температуры в значимой (рабочей) зоне помещения по мощности теплового потока приточного воздуха.

Ключевые слова: математическая модель; отопительно-вентиляционная система; объект управления; динамическая система; идентификация; передаточная функция; переходной процесс

Введение

Составной частью зданий и сооружений являются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ), в зарубежной литературе HVAC [1; 2]. Системы ОВКВ осуществляют формирование воздушной среды в обслуживаемых помещениях, отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям, а также необходимой для выполнения производственных и технологических процессов. Создание требуемого состояния воздушной среды обеспечивается удалением образующихся избытков тепла, влаги, газа, пыли и добавлением необходимого количества предварительно подготовленного воздуха путем его нагрева или охлаждения, осушки или увлажнения, фильтрации и др. [3; 4].

Актуальность задачи

В настоящее время при разработке и проектировании систем ОВКВ особое внимание уделяется вопросам снижения их эксплуатационных затрат, которые в ряде случаев получаются гораздо выше, чем затраты на приобретение и установку. Обеспечить снижение эксплуатационных затрат возможно, в первую очередь, уменьшением энергопотребления и повышением надежности оборудования, элементов и устройств систем ОВКВ [5; 6]. Важным резервом уменьшения энергопотребления является сокращение потребляемой мощности за счет снижения потерь энергии, связанных с процессами регулирования аэротермодинамических характеристик систем ОВКВ и, прежде всего, отопительно-вентиляционных систем (ОВС). Это может быть достигнуто разработкой систем автоматического управления (САУ), обеспечивающих рациональное использование энергоресурсов за счет улучшения показателей качества регулирования ОВС [7; 8].

Для совершенствования САУ и способов управления необходимо иметь адекватное описание процессов, которые происходят в системах ОВКВ. С точки зрения теории автоматического управления системы ОВКВ являются сложными объектами с распределенными параметрами, а процессы, которые происходят в них, трудно поддаются четкой формализации [9; 10]. В этой связи актуальной является задача идентификации систем ОВКВ как объектов автоматического управления.

Анализ литературных источников

Если задаться целью построить математическую модель объекта с учетом всех его особенностей, то такая модель, скорее всего, будет слишком трудоемкой и непригодной ни для задач изучения характеристик объекта, ни для задач управления этим объектом [11].¹ Поэтому при построении математического описания физических процессов в системах ОВКВ стремятся получить более простые модели, а для этого пользуются следующими подходами [12–14] для упрощения: расчленение сложной системы на более простые подсистемы или элементы, т. е. проведение декомпозиции системы; выделение только существенных параметров и связей, определяющих характеристики исследуемого объекта; пренебрежение динамическими свойствами отдельных подсистем и элементов сложной системы, замена их на статические модели; линеаризация нелинейных зависимостей для определенных диапазонов изменения переменных; упрощение процессов с распределенными параметрами путем замены их процессами с сосредоточенными параметрами; замена части нестационарных процессов на кусочно-стационарные.

Идентификация представляет собой процесс построения математической модели по наблюдениям за входами и выходами системы [15; 16]. Под идентификацией динамических объектов понимают процедуру определения структуры и параметров их математических моделей, которые обеспечивают при одинаковых входных сигналах модели и объекта близость выходного параметра модели к выходному параметру объекта в соответствии с заданным критерием качества.

В большинстве случаев идентификация является многоэтапной процедурой. Основные ее этапы представляют собой структурную, параметрическую идентификацию, а также проверку адекватности [17; 18]. Структурная идентификация состоит в определении путем теоретических рассуждений структуры математической модели. Параметрическая идентификация заключается в проведении идентификационного эксперимента для нахождения значений параметров модели, которые обладают свойствами достаточности и эффективности. Проверка адекватности является оценкой качества модели с помощью принятого критерия подобности объекта и модели.

Целью работы является анализ методов структурной и параметрической идентификации сложных динамических систем и разработка рекомендаций для построения математических моделей систем ОВКВ как объектов автоматического управления.

Материалы и результаты исследования.

Для получения математической модели используют два подхода: аналитический и экспериментальный. Аналитический подход состоит в аналитическом выводе уравнений объекта на основе анализа физических процессов и законов, а также определение входящих в эти уравнения параметров по опытным данным, установленных путем специально проведенных экспериментов. Данный подход часто называют моделированием. Экспериментальный подход имеет несколько названий: метод «черного ящика», кибернетический, метод идентификации и др. В случае решения задачи идентификации в широком смысле начальной информации об объекте не имеется, и тогда систему представляют в виде «черного ящика». Когда структура объекта, следовательно, и его модели известна, а параметры модели можно определить по результатам эксперимента, то в этом случае подход называется идентификацией в узком смысле или экспериментально-аналитическим. Также

¹ Судак, В. Системы VAV. Краткое описание / В. Судак, Я. Хендигер. — Краков: SMAV, 2009. — 80 с.

такой подход принято называть методом «серого ящика» или же параметрической идентификацией.

Аналитический подход обычно требует больших затрат времени и дает модель относительно невысокой точности. Но при этом полученная математическая модель имеет работоспособность в широком интервале изменения переменных. Экспериментальный подход дает возможность быстро определять параметры модели. Найденная модель довольно точно может описывать отдельные режимы работы объекта, однако работоспособность модели будет ограничена более узкими диапазонами изменения исследуемых переменных.

На практике не бывает чисто аналитических или чисто экспериментальных методов, обычно прибегают к их сочетанию. Для каждого конкретного случая находят разумное сочетание аналитического и экспериментального подходов в построении математической модели.

Следует понимать, что для одного и того же процесса, протекающего в системе, математические модели могут практически не иметь общего, если они разрабатываются для применения в разных целях. В общем случае, для построения моделей процессов в исследуемых объектах необходимо установить следующие параметры и характеристики: границы или область действия изучаемого процесса; физические ограничения, а также ограничения, накладываемые условиями безопасности; глубину детализации; требуемую точность; характер управления: управление при установившемся режиме или же динамическое управление; необходимость и характер усовершенствования модели объекта; переменные параметры состояния и переменные управления; основные возмущения и неуправляемые переменные [12; 15; 17].

Отметим, что наряду с классическими подходами к наблюдению, систематизации, построению гипотез и испытаниям, при разработке моделей объектов управления немаловажное место имеют интуиция и здравый смысл. Важную роль для формирования и принятия основных допущений при нахождении определяющих зависимостей между базовыми переменными, а также для выработки изначального подхода к построению модели исследуемого объекта, играет интуиция. А для обеспечения необходимого баланса, с одной стороны, точности и полноты описания математической модели и, с другой стороны, сложности и трудоемкости, требуется здравый смысл.

Методы идентификации классифицируют по определенному ряду признаков, в частности, по свойствам объекта управления, по типу входного воздействия, по степени оперативности и др. Также различают методы в зависимости от принятых критериев приближения модели и объекта.

По свойствам объектов управления различают методы идентификации: статических и динамических, линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных, одномерных и многомерных, непрерывных и дискретных, с сосредоточенными и с распределенными параметрами, детерминированных и стохастических объектов управления. Наиболее детальными являются методы идентификации статических и динамических линейных стационарных объектов управления с сосредоточенными параметрами.

По типу входного воздействия различают методы активного эксперимента и методы пассивного эксперимента.

По степени оперативности различают методы оперативной идентификации (одновременно с поступающей информацией) и ретроспективной (после опытной) идентификации. В большинстве своем методы идентификации являются ретроспективными.

Имеющиеся методы параметрической идентификации позволяют установить параметры объекта управления с заданной структурой его математической модели для полученных экспериментальных данных (имеется в виду как физический эксперимент, так и численный эксперимент по сложным математическим моделям, например, моделям с распределенными параметрами в частных производных). При таком условии отсутствует необходимость в информации о законах распределения для случайных значений параметров исследуемого объекта. С учетом сложности и распределенности систем ОВКВ, рационально провести параметрическую идентификацию объекта по экспериментальным переходным характеристикам.

Таким образом, для получения адекватной математической модели аэротермодинамических процессов в системе ОВКВ наиболее целесообразным является использование экспериментального метода, именно тогда активный и пассивный эксперименты позволяют получить достоверное математическое описание процессов, которые происходят в системе. Причем пассивный эксперимент может быть проведенный без активного участия исследователя ввиду самостоятельного хода процесса. Отметим, что под пассивным экспериментом понимается эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются. Выполнение активного эксперимента для системы ОВКВ возможно только с отработкой предварительно заданных уровней определенных факторов, требующих трудоемкого планирования и проведения эксперимента.

Для получения математических моделей динамических систем на основе измеренных входных и выходных данных реальной системы рекомендуется использование возможностей специального набора программных инструментов System Identification Toolbox (SIT) пакета прикладных программ MATLAB [14].² Работу с набором инструментов SIT начинают через графический интерфейс при помощи команды *ident*. С помощью специализированного пакета SIT можно выполнять идентификацию объекта управления как «черного ящика» при оценке параметров модели, предварительно определенной пользователем. Также можно использовать идентифицированную модель для предсказания реакции системы, а также для моделирования временных и частотных характеристик системы в среде Simulink. Модели, построенные с помощью пакета SIT, являются дискретными и могут быть представлены в трех формах матричной записи моделей. Первая форма — представление в так называемом тета-формате (используется для временных моделей), вторая форма — представление в частотном формате (используется для частотных характеристик) и третья форма — представление в формате нулей и полюсов.

Для выбора наиболее оптимальной структуры и параметров математических моделей в специализированном пакете SIT MATLAB имеются специальные функции для параметрического оценивания, а также для задания, изменения или уточнения структуры модели. Оценка параметров модели для выбранной структуры выполняется путем минимизации общепринятого критерия качества модели — среднего квадрата рассогласования выходов объекта и его модели.

Для численного оценивания моделей в SIT MATLAB используются остаточная сумма квадратов ошибки LF (Loss function), окончательная ошибка прогноза Акаике FPE (Akaike's Final Prediction Error) и среднеквадратичное рассогласование BF (Best Fits) [19; 20]. Определение критериев LF и FPE тесно связано.

Остаточная сумма квадратов ошибки LF называется теоретическим информационным критерием Акаике, который обычно называется просто AIC — Akaike's Information Theoretic Criterion.

² System identification toolbox. — Режим доступа: — URL: <https://www.mathworks.com/help/ident/> (дата обращения: 08.03.2024).

Значение данного критерия определяется выражением вида:

$$LF = \log(L) + 2d/N, \quad (1)$$

где L — максимизированное значение функции правдоподобия модели; d — число оцениваемых параметров; N — число данных оценки.

Информационный критерий Акаике AIC представляет собой меру качества модели, который имитирует ситуацию, когда модель тестируют для другого набора данных. По сути, AIC является оценочной мерой качества каждой из доступных параметрических моделей, так как они соотносятся друг с другом при определенном наборе данных. Это делает данный критерий идеальным способом выбора модели.

Окончательная ошибка прогнозирования Акаике FPE устанавливается согласно следующему выражению:

$$FPE = L \left(\frac{1 + d/N}{1 - d/N} \right). \quad (2)$$

После рассмотрения нескольких различных моделей есть возможность сравнения их по этим критериям. Для наиболее точной модели по теории Акаике получаются наименьшие значения LF и FPE .

Как отмечалось выше, набор программных инструментов SIT MATLAB Toolbox предлагает также критерий адекватности BF , представляющий собой среднеквадратичное рассогласование и который отображает меру совпадения экспериментальных и прогнозируемых данных в процентах. Значение $BF = 100\%$ означает идеальное совпадение параметрической модели, а $BF = 0\%$ соответствует модели, которая совсем не подходит.

Рабочие процессы в системах ОВКВ подчиняются сложным физическим законам и описываются математическими моделями с распределенными параметрами в виде дифференциальных уравнений в частных производных [4; 8]. Полное описание аэротермодинамических характеристик в системе ОВКВ требует рассмотрение пространственного турбулентного течения, процессов теплообмена, который, в общем случае, осуществляется теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением. Поэтому реально составленная математическая модель, скорее всего, будет практически непригодной для целей управления.

С учетом отмеченного, при разработке САУ ОВКВ необходимо сложную математическую модель аэротермодинамических характеристик с распределенными параметрами в частных производных и граничными условиями, которые также могут являться дифференциальными уравнениями в частных производных, заменить более простой адекватной моделью с сосредоточенными параметрами в виде обыкновенных дифференциальных уравнений. Такая модель должна включать в себя переменные, которые зависят только от времени и не зависят от координат.

Рассматривая системы ОВКВ как объект управления, в общем случае в качестве управляющего сигнала следует рассматривать изменение тепловой мощности [11; 18], в частных случаях этим параметром может быть температура теплоносителя или его расход, температура или расход приточного воздуха для ОВС и т. п. Обычно в качестве регулируемой переменной рассматривается температура в значимой (рабочей) зоне помещения [7, 11].

Вместе с тем, несмотря на сложность математического описания рабочих процессов в ОВС, они имеют общие черты [5; 7; 8]. Данные системы инерционны и являются объектами с

саморегулированием, т. е. регулируемая переменная стабилизируется на некотором значении. Переходные процессы в ОВС имеют не колебательный вид и характерное запаздывание. В этой связи наиболее рациональным будет построение математических моделей ОВС как объектов автоматического управления путем их идентификации по экспериментальным данным в виде следующих передаточных функций:

$$W_1(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{T_0s + 1}; \quad (3)$$

$$W_2(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}, \quad (4)$$

где s — переменная Лапласа; k — коэффициент передачи; T_0, T_1, T_2 — постоянные времени; τ — время запаздывания.

Передаточная функция (3) представляет собой аperiodическое звено первого порядка с запаздыванием, передаточная функция (4) также определяет аperiodическое звено с запаздыванием, но уже второго порядка [13; 16].

Переходные характеристики для передаточных функций (3) и (4) имеет соответственно вид:

$$h(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \tau; \\ k \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_0}} \right), & t > \tau. \end{cases} \quad (5)$$

$$h(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \tau; \\ k \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t-\tau}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t-\tau}{T_2}} \right), & t > \tau. \end{cases} \quad (6)$$

Наличие аналитических выражений для переходных функций (4) и (5) позволяют свести задачу параметрической идентификации к задаче оптимизации: поиску минимума функции нескольких переменных: В качестве минимизируемой функции принимается сумма квадратичных отклонений расчетных и экспериментальных значений выходной переменной объекта управления. Отметим, что под экспериментальным значением, в общем случае, следует понимать результат как физического эксперимента, так и результат численного эксперимента на полной математической модели. Автоматизировать процесс можно использованием в пакете прикладных программ MATLAB встроенной функции *fminsearch*.

Значение коэффициента передачи k удобно определить по установившемуся значению выходной переменной. Также можно рассматривать безразмерные переменные, т. е. принять $k = 1$. Тогда, в случае идентификации объекта управления аperiodическим звеном первого порядка с запаздыванием задача параметрической идентификации сводится к задаче оптимизации функции двух переменных: τ и T_0 , а в случае идентификации объекта управления аperiodическим звеном второго порядка с запаздыванием — к задаче оптимизации функции трех переменных: τ, T_1 , и T_2 .

Покажем вышесказанное на примере. При подаче теплового потока мощностью 2,52 кВт от ОВС в помещение объемом 134,4 м³ проведены измерения температуры T во времени t в значимой (рабочей) зоне с шагом 60 с, представленные на рисунке 1.

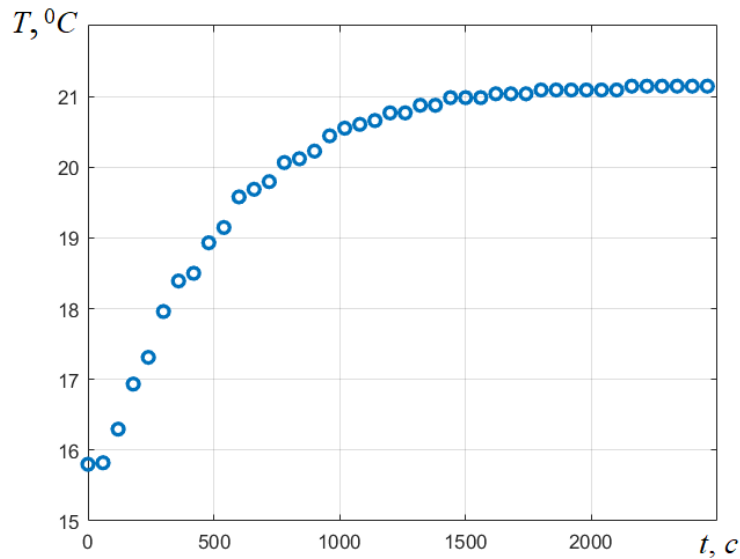


Рисунок 1. Изменение температуры в рабочей зоне (разработано автором)

Структурно идентифицируем систему аperiодическим звеном второго порядка с запаздываем (4). Для упрощения процедуры параметрической идентификации полученные экспериментальные данные приводим к безразмерному виду:

$$\bar{T}(t) = \frac{T(t) - T(0)}{T_{уст} - T(0)}, \tag{7}$$

где $T(0)$, $T_{уст}$ — начальное и установившееся значение температуры в рабочей зоне (для условий проведения эксперимента $T(0) = 15,8^{\circ}C$, $T_{уст} = 21,1^{\circ}C$).

Изменение безразмерной температуры в значимой (рабочей) зоне показано на рисунке 2.

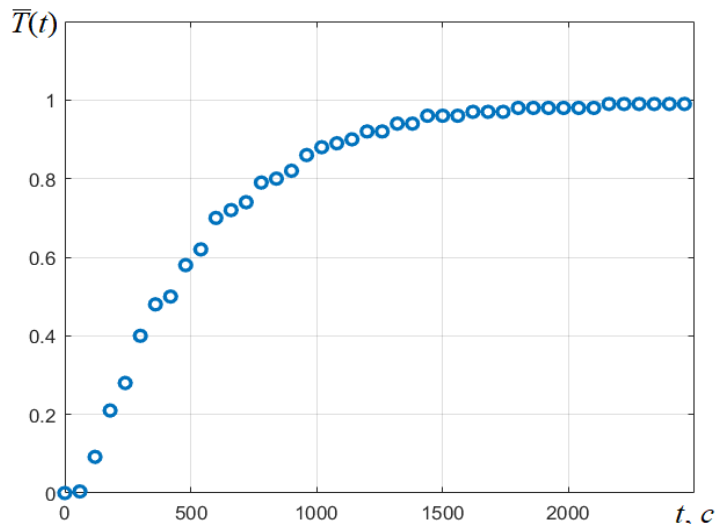


Рисунок 2. Изменение безразмерной температуры в рабочей зоне (разработано автором)

Для полученной зависимости $k = 1$, а задача параметрической идентификации сводится к задаче поиска минимума функции суммы квадратичных отклонений расчетных (6) и экспериментальных значений (7) для трех переменных τ , T_1 , и T_2 . Результаты расчета в среде пакета прикладных программ MATLAB дают следующие результаты: $T_1 = 25,8$ c; $T_2 = 457$ c; $\tau = 49,7$ c.

Переходная характеристика $h(t)$ для объекта управления с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{e^{-49,7s}}{(25,8s+1)(457s+1)} = \frac{e^{-49,7s}}{1,179 \cdot 10^4 s^2 + 4,828 \cdot 10^2 s + 1} \quad (8)$$

показана на рисунке 3.

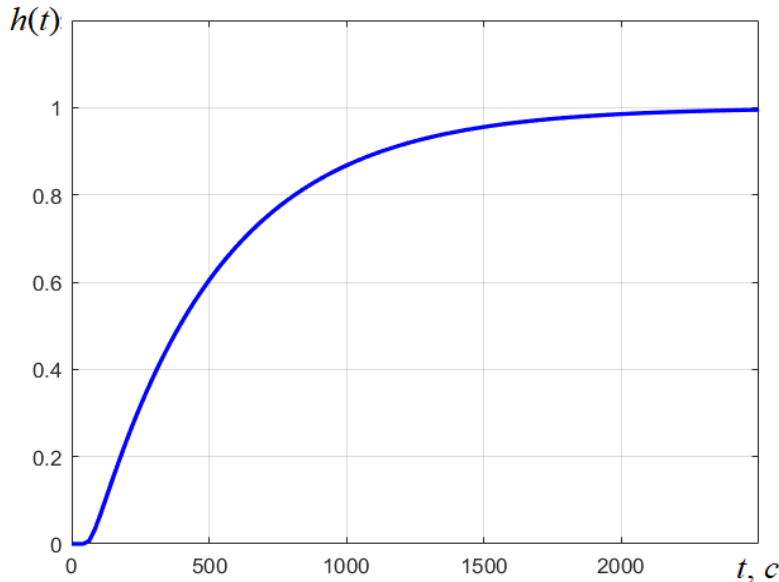


Рисунок 3. Переходная характеристика (разработано автором)

Выводы

Таким образом, в работе рассмотрен вопрос идентификации математических моделей систем ОВКВ. Для совершенствования методов управления данными системами необходимо иметь адекватное описание рабочих процессов, которые протекают в них. С точки зрения теории автоматического управления системы ОВКВ являются сложными объектами с распределенными параметрами, а рабочие процессы трудно поддаются четкой формализации. В этой связи актуальной является задача идентификации данных систем как объектов автоматического управления.

Выполнен анализ методов структурной и параметрической идентификации сложных динамических систем и разработаны рекомендации для построения математических моделей систем ОВКВ. Отмечено, что для получения адекватной математической модели аэротермодинамических процессов в системе ОВКВ наиболее целесообразным является использование экспериментального метода, который позволяет получить достоверное математическое описание процессов, которые происходят в системе. При этом эксперимент может быть пассивным, когда уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются.

Показано, что ОВС инерционны и являются объектами с саморегулированием, т. е. регулируемая переменная стабилизируется на некотором значении. Переходные процессы в ОВС имеют не колебательный вид и характерное запаздывание. В этой связи наиболее рациональным будет построение математических моделей ОВС как объектов автоматического управления путем их идентификации по экспериментальным данным в виде передаточных функций первого и второго порядков с запаздыванием.

Представлен пример математической модели ОВС в виде передаточной функции для температуры в значимой (рабочей) зоне помещения по мощности теплового потока приточного воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балужева, А.Д. Гальперин [и др.]. — Москва: Евроклимат, 2003. — 416 с.
2. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. — 2023. — Vol. 420. — 07020.
3. Штокман, Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е.А. Штокман. — Москва: АСВ, 2001. — 564 с.
4. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. — Cham: Springer, 2022. — Vol. 2. — P. 725–731.
5. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. — Санкт-Петербург: АВОК СЕВЕРОЗАПАД, 2005. — 400 с.
6. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. — Cham: Springer, 2023. — P. 1012–1022.
7. Pilavov, M. Improvement of Control Processes for VAV Ventilation Systems Using MPC Controller / V. Andriichuk, V. Sokolov // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2023. — P. 8–12.
8. Системы вентиляции: моделирование, оптимизация / Я.А. Гусенцова, К.Н. Андрийчук, А.А. Коваленко [и др.]. — Луганск: ВНУ имени В. Даля, 2005. — 206 с.
9. Свистунов, В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства / В.М. Свистунов, Н.К. Пушняков. — Санкт-Петербург: Политехника, 2007. — 423 с.
10. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering. ICIE 2020. Lecture notes in mechanical engineering. — Cham: Springer, 2021. — Vol. 2. — P. 1182–1190.
11. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е.С. Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А. Михайлов, Г.В. Нимич. — Киев: Аванпост-Прим, 2005. — 560 с.
12. Дилигенская, А.Н. Идентификация объектов управления / А.Н. Дилигенская. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2009. — 136 с.

13. Теория автоматического управления / Е.Э. Страшинин, А.Д. Заколяпин, С.П. Трофимов [и др.]. — Екатеринбург: УФУ, 2019. — 456 с.
14. Дьяконов, В.П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов. — Санкт-Петербург: Питер, 2001. — 444 с.
15. Бойков, И.В. Методы идентификации динамических систем / И.В. Бойков, Н.П. Кривулин // Программные системы: теория и приложения. — 2014. — № 5(23). — С. 79–86.
16. Лурье, Б.Я. Классические методы теории автоматического управления / Б.Я. Лурье, П.Дж. Энрайт. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004. — 640 с.
17. Кунцевич, В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления идентификации / В.М. Кунцевич. — Киев: Наук. думка, 2006. — 264 с.
18. Перекрест, А.Л. Идентификация процессов в системах отопления учебных зданий / А.Л. Перекрест, Т.В. Карайбида // Вестник Кременчугского нац. ун-та имени М. Остроградского. — 2014. — № 2(85). — С. 61–68.

Sokolov Vladimir Il'yich

Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Russia
E-mail: sokolov.snu.edu@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0459-1824>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=439665

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191822948>

Chernikova Irina Demyanovna

Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Russia
E-mail: chernikova_i_d@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-2293>

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1236927

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58643068300>

Salukvadze Georgii Vladimirovich

Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Russia
E-mail: georgysalukvadze@yandex.com

Identification of heating-ventilating systems as objects of automatic control

Abstract. The article considers the issue of the identification of mathematical models of heating-ventilating systems. To improve the control methods of these systems, it is necessary to have adequate description of the work processes that flow in them. From the point of view of the automatic control theory, such systems are complex objects with distributed parameters, and work processes are difficult to formalize clearly. In this regard, the task of identifying these systems as objects of automatic control is relevant. The analysis of methods for structural and parametric identification of complex dynamic systems is carried out and recommendations for the construction of mathematical models heating-ventilating system are developed. It is noted that in order to obtain the adequate mathematical model of aerothermodynamic processes, it is most appropriate to use the experimental method that allows obtaining a reliable mathematical description of the processes that occur in the system. In this case, the experiment can be passive, when the levels of factors in each experiment are recorded by the researcher, but not set. It is shown that heating-ventilating systems are inertial and are self-regulating objects, i.e., the regulated variable is stabilized at the certain value. Transient processes in such systems have the non-oscillatory appearance and the characteristic delay. In this regard, it would be most rational to construct mathematical models of heating-ventilating systems as objects of automatic control by identifying them according to experimental data in the form of transfer functions of the first and second orders with a delay. The authors present the example of mathematical model for heating-ventilating system is presented in the form of the transfer function for the temperature at significant (working) zone of the room by the heat flow power of supply air.

Keywords: mathematical model; heating-ventilating system; control object; dynamic system; identification; transfer function; transient process