ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ УМНОГО ДОМА ПО ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ СТРУКТУРНЫМ СХЕМАМ

В.М. Зарипова, И.Ю. Петрова, К.А. Шумак, Ю.А. Лежнина

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ),
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18*

Предмет исследования: автоматизация расчета динамических характеристик проектируемого устройства в системе концептуального проектирования датчиковой аппаратуры, структурно-параметрические модели динамических процессов и алгоритмы автоматизированного расчета качественных характеристик элементов информационно-измерительных и управляющих систем (ИИИУС). Этап концептуального проектирования в наибольшей степени определяет эксплуатационные характеристики технических систем. Однако ни одна из информационных систем поддержки данного этапа не предоставляет возможности расчета эксплуатационных характеристик проектируемого элемента с учетом его динамических характеристик.

Цели: повышение эффективности оценки динамических характеристик чувствительных элементов ИИИУС умного дома.

Материалы и методы: при решении поставленных задач использовался математический аппарат моделирования систем (в частности, энергоинформационный метод моделирования процессов различной физической природы, протекающих в датчиковой аппаратуре); основные положения теории автоматического управления, теории построения систем автоматизированного проектирования, теории операционного исчисления; основы концептуального проектирования элементов ИИИУС.

Результаты: произведено сравнение известных автоматизированных систем концептуального проектирования датчиков, выделены их достоинства и недостатки, показано, что ни одна из них не позволяет исследовать динамические характеристики проектируемого изделия в простой и понятной для инженера форме. Авторами предложено использовать энергоинформационный метод моделирования для синтеза принципов действия датчиков и анализа их динамических характеристик. Рассмотрены элементарные динамические звенья и вопросы синтеза параметрических структурных схем (ПСС), отражающих динамику процесса с использованием математического аппарата операционного исчисления. Разработан проект автоматизированной системы концептуального проектирования датчиковой аппаратуры, позволяющий визуализировать построение ПСС и представление результатов расчета динамических характеристик.

Выводы: показано, что энергоинформационные модели цепей различной физической природы могут быть использованы для синтеза ПСС с динамическими звеньями, разработан математический аппарат для расчета динамических характеристик ПСС в аналитическом виде, представлены схема информационных потоков и функциональная модель подсистемы синтеза принципов действия датчиков с учетом динамических характеристик.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: датчики, интеллектуальные здания, концептуальное проектирование, энергоинформационный метод цепей, параметрические структурные схемы, динамические характеристики

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зарипова В.М., Петрова И.Ю., Шумак К.А., Лежнина Ю.А. Исследование динамических характеристик элементов автоматики умного дома по параметрическим структурным схемам // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1424–1434.

INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ELEMENTS OF AUTOMATICS OF A SMART HOUSE IN PARAMETRICAL STRUCTURAL SCHEMES

V.M. Zaripova, I.Yu. Petrova, K.A. Shumak, Yu.A. Lezhnina

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE),
18 Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation*

Subject: automation of calculation of dynamic characteristics of the device being designed in the system of conceptual design of sensor equipment, structurally-parametric models of dynamic processes and algorithms for the automated calculation of the qualitative characteristics of elements of the information-measuring and control systems (IMCS). The stage of conceptual design most fully determines the operational characteristics of technical systems. However, none of the information support systems of this stage provides an opportunity to evaluate the performance characteristics of the element being designed taking into account its dynamic characteristics.

Research objectives: increasing the effectiveness of the evaluation of dynamic characteristics of sensitive elements of the information-measuring and control systems of a smart house.

Materials and methods: when solving the problems posed, the mathematical apparatus of system modeling was used (in particular, the energy-information method of modeling processes of various physical nature that occur in the sensor equipment); the main provisions of the theory of automatic control, the theory of constructing computer-aided design systems, the theory of operational calculus; basics of conceptual design of elements of the information-measuring and control systems.

Results: we compared the known automated systems for conceptual design of sensors, highlighted their advantages and disadvantages and we showed that none of these systems allows us to investigate dynamic characteristics of the element being designed in a simple and understandable for engineer form. The authors proposed using energy-information method of modeling for the synthesis of operation principles of sensors and analysis of their dynamic characteristics. We considered elementary dynamic chains and issues of synthesis of parametrical structural schemes that reflect the dynamics of the process with the use of mathematical apparatus of operational calculus. We developed the project of automated system of the conceptual design of the sensor equipment that allowed us to visualize construction of the parametrical structural schemes and representation of evaluation results of the dynamic characteristics.

Conclusions: it was shown that the energy-information models of chains of various physical nature can be used for synthesis of parametrical structural schemes with dynamic links. The mathematical apparatus was developed for evaluation of dynamic characteristics of parametrical structural schemes in analytic form. We also presented the information flow diagram and the functional model of the subsystem of synthesis of sensor operation principals with allowance for dynamic characteristics.

KEY WORDS: sensors, intelligent buildings, conceptual design, energy-information method of chains, parametrical structural schemes, dynamic characteristics

FOR CITATION: Zaripova V.M., Petrova I.Yu., Shumak K.A., Lezhnina Yu.A. Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik elementov avtomatiki umnogo doma po parametricheskim strukturnym skhemam [Investigation of dynamic characteristics of elements of a smart house in parametrical structural schemes]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 12 (111), pp. 1424–1434.

ВВЕДЕНИЕ

В интеллектуальном здании необходимо наличие системы управления зданием BMS (Building Management System), которая осуществляет контроль над инженерными системами здания и направляет информацию, поступающую с этих систем, на информационные точки, количество которых должно быть достаточно большим [1, 2]. Для США нормой считается 15 тыс. информационных точек. В России использование 2–3 тыс. информационных точек позволяет говорить об интеллектуализации здания [3]. Информационно-измерительные и управляющие системы (ИИИУС) для управления интеллектуальными зданиями — это сложные системы, включающие сотни и даже тысячи элементов. Среди них датчики и актюаторы занимают 60...70 %. Таким образом, разработка новых датчиков с улучшенными эксплуатационными характеристиками остается актуальной задачей [4, 5]. Современный уровень развития общества и ускорение темпов научно-технического прогресса характеризуются высокими требованиями к срокам и качеству проектирования новых технических объектов, в частности, чувствительных элементов автоматизированных систем. При этом производительность труда изобретателя, конструктора датчиковой аппаратуры во многом определяется тем, насколько эффективно он обеспечен инструментальными средствами проектирования, автоматизированного синтеза технических решений, анализа как разработанных, синтезированных, так и существующих моделей датчиков, организации баз знаний [1, 4, 6]. В результате исследования аналогов экспертных систем концептуального проектирования установлено, что более всех соот-

ветствует выбранным критериям система «Интеллект», основанная на энергоинформационном методе моделирования [7]. Следует отметить, что ни одна из этих систем не предоставляет возможности расчета динамических эксплуатационных характеристик проектируемого элемента. Таким образом, невозможно оценить влияние изменения физического принципа действия элемента на его динамические характеристики, быстродействие, устойчивость системы управления, в которой используется этот элемент.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Развитие, интеллектуализация и автоматизация зданий вынуждают производителей систем управления интенсивно расширять номенклатуру серийно выпускаемых датчиков. При этом даже фирмы, ведущие собственные разработки в области производства чувствительных элементов, используют около 30 % имеющегося фонда физических явлений. Такое ограничение существенно сужает номенклатуру этих устройств (данные фирмы Endress & Hauser, промышленное техническое оборудование [8]). Понятия умной домашней среды, умных домов, Интернета вещей вводятся и рассматриваются многими авторами [9–12]. Однако успешное внедрение автоматизации зданий и создание умной домашней среды существенно зависит от рынка датчиковой аппаратуры, который требует для своего развития создания новых технологий [13, 14]. Особое место занимает вопрос создания комфортных условий людям с ограниченными возможностями [15, 16].

Поэтому необходимо создание автоматизированных систем поддержки этапа концептуального

проектирования чувствительных элементов, позволяющих централизовать процесс разработки и обеспечить инженера теоретической базой. Такие системы необходимы для сокращения времени и трудоемкости создания нового устройства, оперативной адаптации к изменениям рынка, привлечении конечного пользователя на этапе проектирования, увеличения объема знаний, используемых при обучении инженеров.

Правильный выбор концептуальных технических решений именно на начальных этапах проектирования обеспечивает наибольшую отдачу. В работе [17] проведен анализ 324 источников информации, а в работе [18] — рассмотрено 80 журналов и трудов конференций, а также приблизительно 20 проектов, которые подтверждают и позволяют аргументированно сделать следующие выводы:

1) разработка интеллектуальных средств поддержки деятельности инженера-конструктора на начальных этапах проектирования — актуальная и востребованная задача;

2) при создании подобных средств необходимо разрабатывать и использовать обширные хранилища знаний и онтологические методы быстрого и релевантного поиска знаний, обеспечивать совместную работу инженеров-конструкторов;

3) именно на ранних стадиях проектирования возможно спрогнозировать перспективные ры-

ночные ниши и осуществить оптимальный выбор новых технических решений, учитывающий потребности рынка и возможности производителя продукции, однако данный процесс затрудняется отсутствием технологий для многокритериального анализа и ранжирования полученных решений.

Сравнительный анализ существующих аналогов автоматизированных систем концептуального проектирования (табл. 1) показал, что в настоящее время используются отдельные узкоспециализированные разработки, нацеленные либо на создание новых решений физического принципа действия технических устройств, либо на выработку новых конструктивных реализаций устройств. Ряд систем поддержки процесса проектирования предназначен для моделирования сложных физических явлений и процессов и, как правило, содержит набор специализированных модулей. В таком случае каждое физическое явление или процесс должны быть описаны с помощью ряда математических уравнений, которые позволяют строить модель поведения в зависимости от конечных условий, заданных пользователем. Сложное описание лишает систему гибкости, поскольку должно выполняться экспертами. Ярким представителем этого класса систем является система COMSOL Multiphysics [19] — среда, позволяющая моделировать любые физические процессы, которые могут быть представлены в виде

Табл. 1. Функционал автоматизированных систем концептуального проектирования

Функция	COMSL	Виртуальный фонд «Эффективная физика»	Goldfire Innovator	АСПИТ Интеллект	САПФИТ 2	Изобретающая программа НОВАТОР
Универсальность	У/С	У	У	С	У	У
Внесение данных пользователя	+	–	–		+	+
Отсутствие требования специальных знаний	–	+	–	+	+	+
Возможность поиска по базе данных системы	–	+	–	+	+	+
Работа в сети Интернет	–	+	–	+	+	–
Текстовое описание физико-технических эффектов	–	+	+	+	+	+
Описание физико-технических эффектов в виде формул	+	–	–	+	–	+
Графическое изображение принципа действия физико-технических эффектов	+	+	+	+	–	–
Автоматический синтез физических принципов действия устройства	–	–	–	+	–	–
Количественная оценка эксплуатационных характеристик эффекта и устройства	+	+	–	+	–	–
Ранжирование синтезированных физических принципов действия	–	–	+	+	–	–
Описание конструктивной реализации эффекта и оценки ее характеристик	–	+	+	+	+	+
Синтез и ранжирование вариантов технических реализаций устройств	–	–	+	+	–	–

системы дифференциальных уравнений в частных производных.

Виртуальный фонд естественнонаучных и научно-технических эффектов «Эффективная физика» [20] является одним из компонентов информационно-методического обеспечения креативной педагогики. В основе концептуальной модели представления физических эффектов лежит разделение их на естественнонаучные эффекты и научно-технические эффекты. Основой принципа действия любого устройства является структура, образованная совместимыми естественнонаучными и научно-техническими эффектами и реализующая требуемую функцию. Достоинством этого программного продукта является использование онтологии для более расширенного поиска эффектов и наличие графического представления принципа действия эффекта. К недостаткам можно отнести отсутствие математического описания физического явления, автоматического синтеза новых технических устройств и невозможность редактирования базы эффектов конечными пользователями.

Существует большое количество программных продуктов на базе теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). Эти современные программные продукты отличаются друг от друга, но в то же время они объединены общей схемой решения творческих задач на методологической основе ТРИЗ [21]. Они содержат набор преобразований, основанных на законах развития технических систем, который позволяет выполнять прогноз развития технических систем; эффективный механизм разрешения противоречий; базу данных по физическим, химическим, математическим и другим эффектам. Наиболее известен продукт Goldfire Innovator [22], который состоит из двух основных подсистем: Goldfire Innovator — автоматизированное рабочее место инноватора и Goldfire Researcher — автоматизированное рабочее место аналитика. Первая подсистема обеспечивает компьютерную поддержку инженерной деятельности при функциональном анализе технической системы, позволяет провести анализ возможных дефектов, выявить проблемные места, усовершенствовать структуру технической системы или технологического процесса и построить их эффективную функциональную модель. Вторая подсистема обеспечивает поддержку исследовательской деятельности инженеров на основе постоянно обновляемой базы знаний, созданной при обработке 17 млн патентов ведущих патентных офисов (США, Европы, Японии и др.), 9000 тыс. научных эффектов и доступа к более чем 3000 научно-техническим базам знаний, расположенным в Интернете. Информация в этих базах постоянно обновляется. Система позволяет в десятки раз ускорить получение аналитической информации, обеспечивает эффективный поиск информации, включает модуль анализа патентов и определения тенденций развития техни-

ческого направления. Недостатки этой системы — высокая стоимость, отсутствие русифицированной версии продукта.

Система САПФИТ и ее модификация, система САПФИТ 2, осуществляют синтез физических принципов действия изделий и технологий в виде цепочки последовательно совместимых физических эффектов. На выходе пользователь получает фактографическую информацию об эффектах, входящих в синтезируемые структуры. Основным элементом систем является физический эффект, структура которого и определяет модель физического принципа действия проектируемого устройства [23]. Достоинствами системы САПФИТ являются универсальность (возможность синтеза различных по физической природе и функциональности принципов действия устройства), работа в сети Интернет; формализованное и структурированное описание знаний о физических эффектах и явлениях позволяющее производить поиск. К недостаткам можно отнести отсутствие описания физических эффектов и явлений в виде математических моделей; невозможность расчета эксплуатационных характеристик полученного решения (все решения представляются в виде текстовых описаний).

Изобретающая машина «Новатор» не требует предварительного обучения пользователя и может находить конкретные решения технических проблем [24]. Работа программы основана на автоматизированном формировании модели проблемной ситуации в терминах используемых баз знаний с последующим запросом к базе решений и формировании окончательного технического решения. База эффектов представляет собой совокупность физических, физико-химических и биофизических эффектов, между которыми установлены отношения причинно-следственной связи. Недостатками системы являются невозможность математического представления найденных решений и ее ориентированность на причинно-следственное взаимодействие без учета пограничных условий преобразования одной физической величины в другую, что требует серьезных знаний от эксперта для оценки полученных решений.

В работах [25–28] приведены основные положения энергоинформационных моделей цепей (ЭИМЦ) для описания процессов разной физической природы, на основе единого математического аппарата (феноменологических уравнений неравновесной термодинамики), а также принципы организации автоматизированной системы концептуального проектирования элементов информационно-измерительных систем на основе ЭИМЦ. К достоинствам энергоинформационного метода концептуального проектирования можно отнести универсальность, инвариантность математического описания физико-технических эффектов к физической природе протекающих процессов; формали-

зованное описание физико-технических эффектов (паспорт), позволяющее упростить процесс пополнения и поиска в базе знаний; возможность ранжирования вариантов решения по совокупности вычисляемых эксплуатационных характеристик.

Из проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Большинство рассмотренных систем отличаются узкой специализацией и высокими требованиями к исходным знаниям пользователя. Универсальные системы, как правило, предоставляют общее решение без учета и анализа эксплуатационных характеристик полученного результата.

2. На международном рынке отсутствуют специализированные информационные системы, позволяющие производить расчет эксплуатационных характеристик проектируемого элемента ИИИУС с учетом динамических характеристик этого элемента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Возможности энергоинформационного метода для описания динамических процессов. В рамках ЭИМЦ при анализе и синтезе чувствительного элемента технического устройства в нем выделяются явления определенной физической природы (механической, тепловой, электрической и т.д.) и соответствующие этим явлениям конструктивные элементы.

Целью определенной физической природы называется идеализированная материальная среда, имеющая определенные геометрические размеры и характеризующаяся физическими константами, присущими только явлениям данной физической природы.

Величины цепи одной и той же физической природы изменяются в широких пределах и характеризуют внешнее воздействие на цепь данной физической природы и ее реакцию на него: это Q — заряд, P — импульс, I — реакция, U — воздействие. Параметры цепи характеризуют относительную неизменность материальной среды, в которой протекают физические процессы и определяются геометрическими размерами, физическими и химическими свойствами материалов: R — сопротивление, $G = 1/R$ — проводимость; C — емкость, $W = 1/C$ — жесткость; L — индуктивность; $D = 1/L$ — дедуктивность.

Критерии ЭИМЦ — это системы уравнений, отражающие связи между величинами и параметрами и используемые для выявления конкретных величин и параметров в цепях различной физической природы:

- энергетический $UI = N$, где N — мощность, Вт;
- статические критерии $IL = P$ или $PD = I$; $UC = Q$ или $QW = U$; $IR = U$ или $UG = I$; $QR = P$ или $PG = Q$; $I'R = U'$ или $U'G = I'$;
- динамические критерии $U = dP/dt$ или $P = \int U dt$; $I = dQ/dt$ или $Q = \int I dt$; $U' = dU/dt$ или $U = \int U' dt$; $I' = dI/dt$ или $I = \int I' dt$.

Во всех этих критериях предполагается, что величины и параметры могут быть как постоянными, так и переменными во времени. В последнем случае описанные выше критерии выполняются для мгновенных значений величин и параметров цепи.

Виды элементарных звеньев параметрических структурных схем и их графические изображения. ЭИМЦ позволяет перейти к структурно-формализованному описанию процессов в технических устройствах с помощью параметрических структурных схем (ПСС). Принцип действия любого элемента систем управления и регулирования основан на взаимодействии цепей различной физической природы. Поэтому в любом техническом устройстве можно выделить участки, включающие несколько последовательных элементарных преобразований одной и той же физической природы. Между собой эти участки взаимосвязаны посредством межцепных физико-технических эффектов. Таким образом, практически любое устройство можно рассматривать как комбинацию простых звеньев, каждое из которых характеризует элементарную зависимость величины или параметра от другой величины той же или иной физической природы. При этом существенно облегчается как анализ, так и синтез технических решений. Отметим, что каждое элементарное звено отражает лишь одно преобразование. Совокупность таких звеньев, соединенных между собой в определенном порядке, и образует ПСС технического устройства.

Элементарные звенья структурной схемы можно условно разбить на три группы [29]:

- элементарные звенья внутри цепи одной физической природы;
- элементарные звенья межцепных преобразований (звенья физико-технических эффектов);
- вспомогательные звенья, отражающие преобразования величин.

Если величины воздействия и реакции заданы в виде некоторых функций времени $I(t)$ и $U(t)$ и сами параметры изменяются во времени, то можно использовать основы операционного исчисления и найти их изображения в операторной форме. Критерии статики и динамики I и II рода, при условии, что параметры квазипостоянны, могут быть записаны в операторной форме в виде $U(p) \approx R(p) \cdot I(p)$, $I(p) \approx C(p) \cdot U(p)$, $U(p) \approx L(p) \cdot I(p)$, откуда можно получить производные выражения $I(p) \approx G(p) \cdot U(p)$, $U(p) \approx W(p) \cdot I(p)$, $I(p) \approx D(p) \cdot U(p)$.

В случае, если параметры R , C , L , W , G , D постоянны, то их изображения в операторной форме: $G(p) = G$; $R(p) = R$; $L(p) = pL$; $C(p) = pC$; $W(p) = W/p$; $D(p) = D/p$.

Элементарное звено структурной схемы технического устройства изображается в виде прямоугольника с обозначением входной и выходной величин. Внутри прямоугольника записывается коэффициент передачи звена. Для элементарных

звеньев, отражающих процессы, происходящие внутри участка цепи одной физической природы, внутри прямоугольника записывается параметр — сопротивление, проводимость, емкость, жесткость, индуктивность, дедуктивность. Согласно критериям, вводятся звенья, отображающие динамическую (временную) зависимость. В этих звеньях внутри прямоугольника записывается оператор дифференцирования или интегрирования, отражающий временную зависимость.

Полученным выражениям соответствуют элементарные звенья ПСС, показанные в табл. 2. Использование основ операционного исчисления для расчета коэффициентов преобразования сложной ПСС позволяет исследовать динамические характеристики проектируемых элементов систем управления различной физической природы. В базе знаний системы концептуального проектирования хранятся все возможные сочетания двух и трех элементарных звеньев (передаточные характеристики при последовательном соединении). Например, для двух звеньев $C(p)$ и $L(p)$ передаточная характеристика записана, как показано на рис. 1.

Рис. 1. Передаточная характеристика

Для этого случая эффективное значение параметра составляет $C(p) = pC / (1 + p^2CL)$, а коэффициент передачи рассчитывается по формуле $p^2C / (1 + p^2CL)$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аппарат ПСС ЭИМЦ можно применять при динамическом изменении во времени величин и параметров цепей с использованием методов операционного исчисления. Разработана информационная система визуального построения ПСС и представления результата расчета динамических характеристик в символьном виде, что дает следующие преимущества:

- 1) качественная оценка динамических свойств моделей датчиков;
- 2) простота получения графических и табличных данных, отсутствие необходимости пересчета;
- 3) точность расчета.

Общий алгоритм программного продукта. Разработанная схема информационных потоков в подсистеме расчета представлена на рис. 2.

Рассмотрим структурную схему, приведенную на рис. 3.

В результате расчета схемы вручную была получена следующая выходная функция:

Табл. 2. Элементарные звенья ПСС (в операторной форме)

Критерии	Обозначения	Развернутая ПСС	Сокращенная ПСС
<i>Параметры величины реакции I</i>			
Статики $U(p) = R(p)I(p)$ $I(p) = G(p)U(p)$	$R(p)$	$I(p) \rightarrow R(p) \rightarrow U(p)$	$I(p) \rightarrow R(p) \rightarrow U(p)$
Динамики I $U(p) = \frac{W}{p}I(p)$ $I(p) = pCU(p)$	$W(p) = \frac{W}{p}$	$I(p) \rightarrow 1/p \rightarrow Q(p) \rightarrow W \rightarrow U(p)$	$I(p) \rightarrow W(p) \rightarrow U(p)$
Динамики II $U(p) = pLI(p)$ $I(p) = \frac{D}{p}U(p)$	$L(p) = p \cdot L$	$I(p) \rightarrow p \rightarrow I'(p) \rightarrow L \rightarrow U(p)$	$I(p) \rightarrow L(p) \rightarrow U(p)$
<i>Параметры величины воздействия U</i>			
Статики $U(p) = R(p)I(p)$ $I(p) = G(p)U(p)$	$G(p)$	$U(p) \rightarrow G(p) \rightarrow I(p)$	$U(p) \rightarrow G(p) \rightarrow I(p)$
Динамики I $U(p) = \frac{W}{p}I(p)$ $I(p) = pCU(p)$	$C(p) = p \cdot C$	$U(p) \rightarrow C \rightarrow Q(p) \rightarrow p \rightarrow I(p)$	$U(p) \rightarrow C(p) \rightarrow I(p)$
Динамики II $U(p) = pLI(p)$ $I(p) = \frac{D}{p}U(p)$	$D(p) = \frac{D}{p}$	$U(p) \rightarrow D \rightarrow I'(p) \rightarrow 1/p \rightarrow I(p)$	$U(p) \rightarrow D(p) \rightarrow I(p)$

Рис. 2. Схема информационных потоков в подсистеме расчета

Рис. 3. Пример структурной схемы

$$f(t) = -1,32e^{-2,64t} + 1,32e^{-2,64t}.$$

Полученный результат совпадает с показаниями автоматизированной системы. Результат работы системы представлен на рис. 4.

Автоматизированная система рассчитывает комплексно-частотную характеристику (рис. 5) выбранной для примера структурно-параметрической схемы в виде

$$W(j\omega) = \frac{10\omega^2 + 30}{(2\omega^2 + 6)^2 + (-3\omega)^2} + j \frac{15\omega}{(2\omega^2 + 6)^2 + (-3\omega)^2}.$$

ВЫВОДЫ

Эффективность автоматизированных банков данных, используемых разработчиками новых технических решений, существенно зависит от выбора

Рис. 4. Результат расчета примера автоматизированной системой

Рис. 5. Результат расчета комплексно-частотной характеристики с помощью автоматизированной системы

концептуальной модели базы данных. Задача концептуальной модели — описывать данные в целом и сделать это описание независимым от конкретных технических задач. Поэтому при разработке банков данных по физико-техническим эффектам целесообразно использовать теорию аналогии и подобия для выработки концептуальной модели, позволяющей описывать процессы и явления разной физической природы с помощью единого математического аппарата. В качестве такой концептуальной модели банков данных целесообразно использовать ЭИМЦ различной физической природы.

Разработан математический аппарат анализа динамических характеристик систем автоматиче-

ского управления. Автоматизированная система позволяет исследовать схемы, построенные на основе элементарных блоков. Система предназначена для автоматизированного расчета динамических характеристик ПСС энергоинформационной модели, визуального построения ПСС, ввода, хранения и обработки патентной информации. Расчет динамических характеристик в аналитическом (символьном) виде ставит систему на качественно новый, более высокий уровень по сравнению с широко распространенными численными системами, обуславливает ее преимущества перед ними, предоставляет более широкие возможности для анализа результата расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев Д.П., Заринова В.М., Лежнина Ю.А. и др. Проектирование элементов информационно-измерительных и управляющих систем для интеллектуальных зданий. Астрахань, 2015. 230 с.
2. Петрова И.Ю., Заринова В.М., Лежнина Ю.А. Проектирование информационно-измерительных и управляющих систем для интеллектуальных зданий. Направления дальнейшего развития // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 147–159.

3. Тетушкин В.А., Герасимов Б.И. Система управления интеллектуальным зданием как инновационный элемент сервиса недвижимости // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2016. № 3 (61). С. 153–170.
4. Хоменко Т.В., Петрова И.Ю., Лежнина Ю.А. Методология выбора оптимальных технических решений на этапе концептуального проектирования. Астрахань, 2014. 174 с.

5. Dibley M., Li H., Rezgui Y., Miles J. Cost effective and scalable sensor network for intelligent building monitoring // International Journal of Innovative Computing, Information and Control (ICIC International). 2012. Vol. 8 (12). Pp. 8415–8433.
6. Евдошенко О.И., Кравец А.Г. Построение онтологии для получения знаний о взаимосвязи между приёмами улучшения эксплуатационных характеристик, физико-техническими эффектами и патентной документацией // Современный взгляд на проблемы технических наук : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2015. С. 11–15.
7. Zaripova V., Petrova I. Knowledge-based support for innovative design on basis of energy-information method of circuits // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 466. Pp. 521–532.
8. Эндресс К. Состояние и перспективы развития приборостроения для технологических процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 1. С. 45–48.
9. Nakashima H., Aghajan H., Augusto J.C. Handbook of ambient intelligence and smart environments. New York : Springer, 2010. P. 4.
10. Badica C., Brezovan M., Badica A. An overview of smart home environments: architectures, technologies and Applications // Local Proceedings of the Sixth Balkan Conference in Informatics Thessaloniki, Greece, September 19–21. 2013. Pp. 78–86. Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-1036/p78-Badica.pdf>.
- 11 «Умные» среды, «умные» системы, «умные» производства. Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу. М. ; СПб., 2012. Вып. 4. 62 с.
12. Aldrich F.K. Smart homes: past present, and future // Inside the Smart Home / ed. Richard Harper. N.P. London : Springer, 2003. Pp. 17–39.
13. Smart Homes Market by Product (Energy Management System, Security & Access Control, Entertainment Control, and HVAC Control), Protocol and Technology (Protocol, Cellular Technology, and Communication Technology), Service (Installation, and Customization), and Geography (North America, Europe, APAC, and ROW) — Trend and Forecast to 2020. Режим доступа: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-homes-and-assisted-living-advanced-technologie-and-global-market-121.html>.
14. Growth G. Green smart sensor networks: technologies and applications for growth. Режим доступа: <http://www.oecd.org/internet/ieconomy/44379113.pdf>.
15. Muñoz C., Arellano D., Perales F.J., Fontanet G. Perceptual and intelligent domotic system for disabled people // Proceedings of the 6th IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing. 2006. Pp. 70–75.
16. Dengler S., Awad A., Dressler F. Sensor/actuator networks in smart homes for supporting elderly and handicapped people // 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW). 2007. Pp. 863–868.
17. Chandrasegaran S.K., Ramani K., Sriram R.D. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems // Computer-Aided Design. 2013. Vol. 45. Pp. 204–228.
18. Lihui Wang, Weiming Shen, Helen Xie et al. Collaborative conceptual design — state of the art and future trends // Computer-Aided Design. 2002. Vol. 34. Pp. 981–996.
19. COMSOL Модуль Разработка химических реакций (Chemical Reaction Engineering). Режим доступа: <https://www.comsol.com/>.
20. Виртуальный фонд естественнонаучных и научно-технических эффектов «Эффективная физика». Режим доступа: <http://ligis.ru/effects/list.html>.
21. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в ТРИЗ. 2-е изд. Новосибирск : Наука, 1991. 225 с.
22. Invention Machine Goldfire. Режим доступа: <http://invention-machine-goldfire.software.informer.com/>.
23. Карачунова Г.А., Фоменков С.А., Гонта Е.А., Коробкин Д.М. Автоматизированная система синтеза физических принципов действия «САПФИТ 2» // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 12 (139). С. 124–129.
24. Изобретающая машина «Новатор». Режим доступа: <http://www.metodolog.ru/01211/01211.html>.
25. Zaripov M., Petrova I., Zaripova V. Project of creation of knowledge base on physical and technological effects // IMEKO TC1 Symposium on Education in Measurement and Instrumentation 2002: Challenges of New Technologies.
26. Зарипова В.М., Цырульников Е.С., Киселев А.А. «Интеллект» для развития навыков инженерного творчества // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2012. № 1. С. 58–61.
27. Зарипова В.М. Модели и комплексы программ для синтеза датчиков с поддержкой многопользовательской работы в сети : дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2006. 162 с.
28. Zaripova V., Petrova I. System of conceptual design based on energy-informational model // Progress in Systems Engineering: Proceedings of the 23rd International Conference on Systems Engineering, August, 2014, Las Vegas, NV,. 2015. (Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 366)
29. Петрова И.Ю., Зарипов М.Ф. Структурно-параметрические методы повышения чувствительности, точности, быстродействия датчиковой аппаратуры // Датчики и системы. 2000. № 3. С. 17.

Поступила в редакцию 5 сентября 2017 г.

Принята в доработанном виде 25 октября 2017 г.

Одобрена для публикации 20 ноября 2017 г.

О Б А В Т О Р А Х: **Зарипова Виктория Мадияровна** — кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и моделирования, **Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ)**, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18; Vtempus2@gmail.com;

Петрова Ирина Юрьевна — доктор технических наук, профессор, первый проректор, **Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ)**, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18; Irapet49@gmail.com;

Шумак Кирилл Алексеевич — старший преподаватель кафедры систем автоматизированного проектирования и моделирования, **Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ)**, 414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 18; shumak.ka@ya.ru;

Лежнина Юлия Аркадьевна — кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и моделирования, **Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ)**, 414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 18; Lejninuau@gmail.com.

REFERENCES

1. Anufriev D.P., Zaripova V.M., Lezhnina Yu.A. et al. *Proektirovanie elementov informatsionno-izmeritel'nykh i upravlyayushchikh sistem dlya intellektual'nykh zdaniy* [Design of information-measuring and control systems for intelligent buildings]. Astrakhan', 2015. 230 p. (In Russian)
2. Petrova I.Yu., Zaripova V.M., Lezhnina Yu.A. *Proektirovanie informatsionno-izmeritel'nykh i upravlyayushchikh sistem dlya intellektual'nykh zdaniy. Napravleniya dal'neyshego razvitiya* [Designing information-measuring and control systems for intelligent buildings. Areas for further development]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 12, pp. 147–159. (In Russian)
3. Tetushkin V.A., Gerasimov B.I. *Sistema upravleniya intellektual'nym zdaniem kak innovatsionnyy element servisa nedvizhimosti* [Smart building management system as an innovative element of real estate service]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University]. 2016, no. 3 (61), pp. 153–170. (In Russian)
4. Khomenko T.V., Petrova I.Yu., Lezhnina Yu.A. *Metodologiya vybora optimal'nykh tekhnicheskikh resheniy na etape kontseptual'nogo proektirovaniya* [Methodology for selecting the optimal technical solutions at the stage of conceptual design]. Astrakhan, 2014. 174 p. (In Russian)
5. Dibley M., Li H., Rezgui Y., Miles J. Cost effective and scalable sensor network for intelligent building monitoring. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*. 2012, vol. 8 (12), pp. 8415–8433.
6. Evdoshenko O.I., Kravets A.G. *Postroenie ontologii dlya polucheniya znaniy o vzaimosvyazi mezhdu priemami uluchsheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik, fiziko-tekhnicheskimi effektami i patentnoy dokumentatsiei* [Development of ontologies for acquiring knowledge on the relationship between methods of improvement of operational characteristics, physical-technical effects and patent documentation]. *Sovremennyy vzglyad na problemy tekhnicheskikh nauk : sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern view on problems of technical sciences : collection of scientific papers of the international scientific and practical conference]. Saint-Petersburg, 2015, pp. 11–15. (In Russian)
7. Zaripova V., Petrova I. Knowledge-based support for innovative design on basis of energy-information method of circuits. *Communications in Computer and Information Science*. 2014, vol. 466, pp. 521–532.
8. Endress K. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya priborostroeniya dlya tekhnologicheskikh protsessov* [State and prospects of development of instrumentation for the process]. *Promyshlennyye ASU i kontrollery* [Industrial Automated Control Systems and Controllers]. 2004, no. 1, pp. 45–48. (In Russian)
9. Nakashima H., Aghajan H., Augusto J. C. *Handbook of ambient intelligence and smart environments*. New York : Springer, 2010. P. 4.
10. Badica C., Brezovan M., Badica A. An overview of smart home environments: architectures, technologies and applications. *Local Proceedings of the Sixth Balkan Conference in Informatics Thessaloniki, Greece, September 19–21. 2013*. Pp. 78–86. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-1036/p78-Badica.pdf>.
11. «Umnye» sredy, «umnye» sistemy, «umnye» proizvodstva. *Promyshlennyy i tekhnologicheskii forsayt Rossiyskoy Federatsii na dolgosrochnuyu perspektivu* [Industrial and technological foresight of the Russian Federation in the long term. Smart environment, smart systems, “smart” production]. Moscow ; Saint-Petersburg., 2012, issue 4, 62 p. (In Russian)
12. Aldrich F.K. Smart homes: past present, and future. *Inside the Smart Home*. N.P. London, Springer, 2003. Pp. 17–39.
13. *Smart Homes Market by Product (Energy Management System, Security & Access Control, Entertainment Control, and HVAC Control), Protocol and Technology (Protocol, Cellular Technology, and Communication Technology), Service (Installation, and Customization), and Geography (North America,*

Europe, APAC, and ROW) — Trend and Forecast to 2020. Available at: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-homes-and-assisted-living-advanced-technologie-and-global-market-121.html>.

14. Growth G. *Green smart sensor networks: technologies and applications for growth*. Available at: <http://www.oecd.org/internet/ieconomy/44379113.pdf>.

15. Muñoz C., Arellano D., Perales F.J., Fontaned G. Perceptual and intelligent domotic system for disabled people. *Proceedings of the 6th IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing*. 2006. Pp. 70–75.

16. Dengler S., Awad A., Dressler F. Sensor/actuator networks in smart homes for supporting elderly and handicapped people. *21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW)*. 2007. Pp. 863–868.

17. Chandrasegaran S.K., Ramani K., Sriram R.D. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*. 2013. Vol. 45. Pp. 204–228.

18. Lihui Wang, Weiming Shen, Helen Xie et al. Collaborative conceptual design — state of the art and future trends. *Computer-Aided Design*. 2002. Vol. 34. Pp. 981–996.

19. COMSOL Modul' Razrabotka khimicheskikh reaktsiy [Chemical Reaction Engineering]. Available at: <https://www.comsol.com/>. (In Russian)

20. Virtual'nyy fond estestvennonauchnykh i nauchno-tekhnicheskikh effektivov «Effektivnaya fizika» [Virtual foundation of natural and scientific and technical effects “Effective physics”]. Available at: <http://ligis.ru/effects/list.html>. (In Russian)

21. Al'tshuller G.S. *Nayti ideyu. Vvedenie v TRIZ* [Finding the idea. Introduction to TRIZ]. 2nd ed. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 225 p. (In Russian)

22. *Invention Machine Goldfire*. Available at: <http://invention-machine-goldfire.software.informer.com/>.

23. Karachunova G.A., Fomenkov S.A., Gop-ta E.A., Korobkin D.M. Avtomatizirovannaya sistema

sinteza fizicheskikh printsiptov deystviya «SAPFIT 2» [Automated synthesis of the physical principles of operation “SAPFIT 2”]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State Technical University]. 2014, no. 12 (139), pp. 124–129. (In Russian)

24. *Izobretayushchaya mashina «Novator»* [Inventing machine “Novator”]. Available at: <http://www.metodolog.ru/01211/01211.html>. (In Russian)

25. Zaripov M., Petrova I., Zaripova V. Project of creation of knowledge base on physical and technological effects. *IMEKO TC1 Symposium on Education in Measurement and Instrumentation 2002: Challenges of New Technologies*.

26. Zaripova V.M., Tsyrul'nikov E.S., Kiselev A.A. «Intellekt» dlya razvitiya navykov inzhener-nogo tvorchestva [“Intelligence” to develop skills in engineering creativity]. *Alma Mater (Vestnik vysshey shkoly)* [Alma Mater (Herald of Higher School)]. 2012, no. 1, pp. 58–61. (In Russian)

27. Zaripova V.M. *Modeli i komplekсы pro-gramm dlya sinteza datchikov s podderzhkoy mnogo-pol'zovatel'skoy raboty v seti : dis. ... kand. tekhn. nauk* [Models and program complexes for the synthesis of sensors with multi-user network operation : thesis of candidate of technical sciences]. Astrakhan', 2006. 162 p. (In Russian)

28. Zaripova V., Petrova I. System of conceptual design based on energy-informational model. *Progress in Systems Engineering: Proceedings of the 23rd International Conference on Systems Engineering, August, 2014, Las Vegas, NV, 2015*. (Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 366)

29. Petrova I.Yu., Zaripov M.F. Ctrukturno-parametricheskie metody povysheniya chuvstvitel'nosti, tochnosti, bystrodeystviya datchikovoy apparatury [Structural and parametric methods for increasing the sensitivity, accuracy, speed of sensor equipment]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems]. 2000, no. 3, pp. 17. (In Russian)

Received September 5, 2017.

Adopted in final form on October 25, 2017.

Approved for publication on November 20, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Zaripova Victoria Madiyarovna** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Aided Design and Modeling Systems, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUASE)**, 18 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Vtempus2@gmail.com;

Petrova Irina Yur'evna — Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUASE)**, 18 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Irapet49@gmail.com;

Shumak Kirill Alekseevich — Senior Lecturer of the Department of Computer Aided Design and Modeling Systems, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUASE)**, 18 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, shumak.ka@ya.ru;

Lezhnina Yulia Arkad'evna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Aided Design and Modeling Systems, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUASE)**, 18 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Lejninanau@gmail.com.