

2680669 Russian Federation, RU 2 680 669 C1, IPC G01N 27/72 (2006.1). Applicant and patent holder is Irkutsk State University, No. 2018112518, appl. Apr 06, 2018, publ. Feb 25, 2019, bull. No. 6 – 7 p.

17. Zeveke G.V. et al. *Osnovy teorii tsepei* [Fundamentals of circuit theory]. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1989, 528 p.

18. Bessonov L.A. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki: Elektromagnitnoe pole* [Theoretical foundations of electrical engineering: Electromagnetic field]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1978, 231 p.

### Информация об авторах

**Степанов Максим Александрович** – к. т. н., доцент кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Stepanov\_MA@irgups.ru

**Степанов Александр Петрович** – к. т. н., доцент, профессор кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Stepanov\_AP@irgups.ru

### Information about the authors

**Maksim A. Stepanov** – Ph.D. in Engineering Science, Professor of the Subdepartment of Electric Power Engineering of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Stepanov\_MA@irgups.ru

**Aleksandr P. Stepanov** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Subdepartment of Electric Power Engineering of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Stepanov\_AP@irgups.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).52-60

УДК 62-523.6

## Методология автоматизированного исследования воздействия высокочастотной электротермии на разнополярные полимеры, используемые в транспортном машиностроении

Н. Г. Филиппенко ✉

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉ Pentagon@mail.ru

### Резюме

В работе на основе обобщенных данных анализируются ранее созданные автоматизированные системы научных исследований высокочастотной электротермии и обосновывается новый принцип построения автоматизированных систем научного исследования, позволяющий решать задачи определения параметров теплообмена, электрофизических параметров и фазовых пре-вращений в полимерных и композитных материалах при воздействии на них высокочастотного поля в реальном режиме времени. В разработанной методологии исключается характерная для стандартных методов определения характеристик и параметров полимеров и композитов необходимость сбора и обработки большого объема данных, не порождается суммирующаяся погрешность измерения, а исходные значения параметров при измерениях защищены от возмущающих воздействий. Построена методология нового (универсального) класса автоматизированных систем научных исследований высокочастотной электротермии. На основе разработанного и интегрированного в нее «банка знаний» и алгоритма его использования у исследователей появляется возможность оперативно определять направление построения как универсальных, так и узкоспециальных систем исследований в различных областях процессов воздействий высокочастотного поля на полимерные и композитные материалы. Разработанная автором методология нового (универсального) класса автоматизированных систем научных исследований высокочастотной электротермии, основанная на совокупности элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, позволила построить архитектуру «банка знаний», обеспечивающую возможность их абстракции, что в свою очередь позволяет не только пользоваться «банком знаний», но и оперативно поддерживать его независимость и вести базу различным группам пользователей. Предложенная автором методология помогает определить путь исследователя в области его изысканий по тематике электротермического воздействий высокочастотного поля на полимерные и композитные материалы.

### Ключевые слова

системы автоматизированных научных исследований, высокочастотная электротермия, полимерные изделия, методология построения систем исследований

### Для цитирования

Филиппенко Н.Г. Методология автоматизированного исследования воздействия высокочастотной электротермии на разнополярные полимеры, используемые в транспортном машиностроении // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 52–60. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).52-60

### Информация о статье

поступила в редакцию: 19.02.2020, поступила после рецензирования: 24.03.2020, принята к публикации: 10.04.2020

## A methodology of automated research of the impact of high-frequency Electrothermy on heteropolar polymers used in transport engineering

**N. G. Filippenko**✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ Pentagon@mail.ru

**Abstract**

Based on generalized data, this paper analyzes previously created automated systems of scientific researches of high-frequency electrothermy and justifies a new principle of building automated systems of scientific research, which allows solving the problems of determining the parameters of heat exchange, electrophysical parameters and phase transformations in polymer and composite materials when they are exposed to the high-frequency field in real time. The developed methodology eliminates the need for collecting and processing a large amount of data, which is typical for standard methods for determining the characteristics and parameters of polymers and composite materials. The combined measurement error is not generated, and the initial values of the measured parameters are protected from disturbing influences. A methodology of a new (universal) class of automatic systems of scientific researches of high-frequency electrothermy has been constructed. Based on the “knowledge bank” developed and integrated into it and the algorithm of its use, researchers can quickly determine the direction of building both universal and highly specialized research systems in various areas of high-frequency field effects on polymer and composite materials. The author-developed methodology of a new (universal) class of automatic systems of scientific researches of the high-frequency electrothermy is based on a set of interrelated and interconnected elements. It allowed building the architecture of the “knowledge bank” that provides the possibility of data abstraction. This makes it possible not only to use the “knowledge bank”, but also to promptly maintain its independence and handle the database by various groups of users. The methodology proposed by the author provides us an opportunity to determine the line of work of a scientist in the field of his research on the topic of electrothermal effects of the high-frequency field on polymer and composite materials.

**Keywords**

automated research systems, high-frequency electrothermy, polymer products, methodology for building research systems

**For citation**

Filippenko N.G. Metodologiya avtomatizirovannogo issledovaniya vozdeystviya vysokochastotnoi elektrotermii na raznopolyarnye polimery, ispol'zuemye v transportnom mashinostroenii [A methodology of automated research of the impact of high-frequency electrothermy on heteropolar polymers used in transport engineering]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 66, No. 2, pp. 52–60. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).52-60

**Article Info**

Received: 19.02.2020, Revised: 24.03.2020, Accepted: 10.04.2020

**Введение**

Информация, сформированная на основе оперативных данных респондентов о производстве товаров и объеме отгруженной продукции, а также динамике промышленного производства, позволяет утверждать, что всемирный успех полимерной отрасли проявляется в основном в росте объемов сбыта пластмасс и качественного производственного сырья. Период с 1950 по 2019 г. характеризуется увеличением выпуска продукции из пластмассы и ее реализацией (в среднем на 8,5 % ежегодно). Сегодняшние темпы роста отличаются в сторону уменьшения показателей 50–70-х гг. прошлого столетия, но тем не менее с начала 2000-х гг. они сохраняются на уровне 4–5 % ежегодно [1].

Несмотря на то, что прогнозы по России на ближайшие четыре года предполагают рост объемов потребления пластмасс в среднем на 10 кг на душу населения (прогнозируемый рост с 39 кг в 2012 г. почти до 50 кг в 2019 г.), данный показатель существенно ниже, чем за рубежом. Для выравнивания этого уровня Россия должна потреблять в 1,5–3 раза больше пластика, чем в настоящее время. Одним из сдерживающих факторов развития отечественной индустрии полимеров является практически предельный уровень загрузки имеющихся мощностей

по производству и переработке полимерных материалов с применением традиционной технологии их обработки. Это означает, что дальнейшее развитие полимерной промышленности невозможно без совершенствования существующих технологических процессов и их автоматизации.

Некоторые авторы указывают на расхождение и противоречивость имеющихся данных о свойствах полимерных материалов [2–10].

Анализ состояния вопроса показал, что отставание промышленности России от развитых зарубежных стран при переводе технологий производства на полимерные конструкционные изделия обусловлено также и отсутствием современной и универсальной системы автоматизированных научных исследований в области изучения свойств полимерных и композитных материалов. Существующие методы и методики основаны на возможности проведения исследований определенной группы материалов с использованием дорогостоящего оборудования, требующего сложных подготовительных работ. Такое положение дел является проблемой для исследователей и производителей, поэтому решение данной проблемы – важная народнохозяйственная задача.

В связи с этим целью данной работы было построение методологии автоматизированной системы

научных и производственных исследований воздействия высокочастотной электротермии (АСНИ ВЧ) на свойства различных полимерных материалов в широком диапазоне температур.

### Анализ состояния автоматизированной системы научных и производственных исследований высокочастотной электротермии

Анализ решений выполненных задач и методов их реализации при организации АСНИ ВЧ [2–27] позволил сделать вывод, что некоторые решения хоть и можно считать авторскими, но по своей сути они являются повтором. При этом было замечено, что создаваемые аппаратные части не у всех авторов соответствуют принципам построения АСНИ. Не всегда использовались общедоступные элементы, а иногда применялись изделия, выполненные по оригинальным проектам. Например, емкостный измерительный преобразователь (рис. 1) для проведения измерения электрофизических параметров [17] выполнен по разработанной автором индивидуальной конструкции. Тем не менее хочется отметить, что специально для этих целей существуют стандартизированные измерительные ячейки [4, 5, 7], что, вероятнее всего, и необходимо было бы использовать. В этой работе представлена достаточно подробная методика проведения исследований и расчета результатов эксперимента с использованием резонансного метода, что в последствии нашло применение и в трудах ученых из других школ.

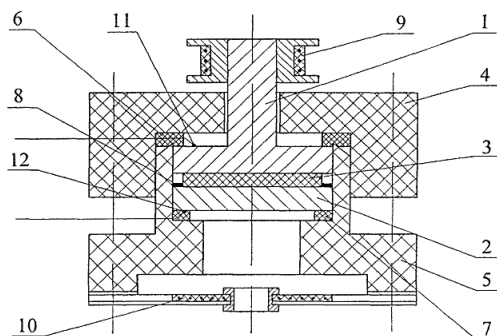


Рис. 1. Емкостный измерительный преобразователь:

1, 2 – дисковые электроды; 3 – исследуемый образец; 4, 5 – разъединяемый фторопластовый корпус; 6, 7 – герметизирующие прокладки; 8 – центровочное кольцо; 9, 10 – двусторонний обогреватель; 11, 12 – термопары

Fig. 1. Capacitive measuring transducer:

1, 2 – disk electrodes; 3 – test sample; 4, 5 – separable fluoroplastic case; 6, 7 – sealing gaskets; 8 – alignment ring; 9, 10 – two-sided heater; 11, 12 – thermocouples

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что за основу нельзя брать только одну АСНИ ВЧ, не принимая во внимание наработки других исследователей. Также большое количество данных, оби-

лие полученных знаний, новых научных результатов ставит перед научным сообществом задачу о насущной необходимости формирования дополнительной части АСНИ ВЧ – «базы знаний» (БЗ), в которой были бы аккумулированы полученные и получаемые сведения различных научных школ, групп и отдельных исследователей, занимающихся процессом ВЧ-электротермии.

Все эти знания, собранные в одной базе, позволят не только сохранить накопленные сведения, но и дадут возможность заинтересованным специалистам пользоваться ими, что значительно ускорит работы по научным изысканиям других ученых при проведении литературного обзора, различных исследований, проведении аналитической и обзорной работы.

Причем особенностью данной базы должна быть ее открытость, доступность и возможность пополнять ее различными научными группами (НГ), т. е. она должна являться в целом вариативной. Поэтому дальнейшая работа была направлена на создание БЗ и интегрирование в существующую структурную схему базовой АСНИ ВЧ (рис. 2) (состоящей из аппаратной, программной и математической частей).



Рис. 2. Схема базовой автоматизированной системы научных и производственных исследований высокочастотной электротермии  
Fig. 2. The scheme of the basic automated system of scientific and industrial research of high-frequency electrometry

### Построение методологии автоматизированной системы научных и производственных исследований высокочастотной электротермии

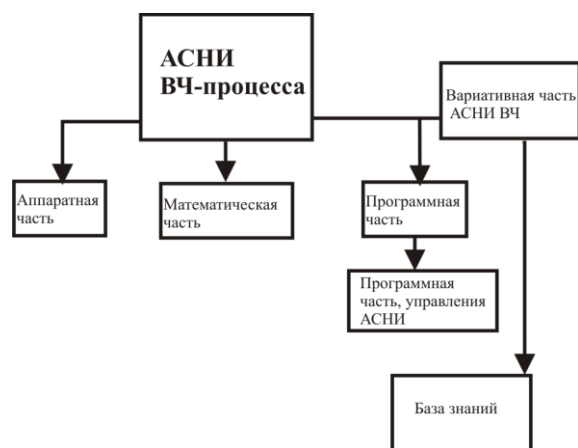
Формирование БЗ осуществлялось на основе разработок кафедры автоматизации производственных процессов Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС) с опорой на работы ученых, входящих в школу университета, ученых школы Санкт-Петербургского технологического университета (Ю.П. Юленец), научной группы Саратовского государственного технологического университета имени Ю. А. Гагарина (С. Г. Калганова), работ Восточно-Сибирского филиала Всероссийского НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (В.Н. Егоров). Сокращенное наименование базы данных было определено, как БЗАППВЧ. Тогда методология АСНИ ВЧ электро-

термии различных полимеров будет иметь другой вид (рис. 3).

Для полноты понимания и структурирования систем, которые лежат в основе создания АСНИ теплового и комбинированного воздействия ВЧ-поля на различные полимеры и композиты, необходимо более подробно остановиться на основных элементах БЗАППВЧ.

Аппаратная часть АСНИ ВЧ включает перечень оборудования и его комплектацию. Базовая ее часть определена из необходимого оптимально-подобранного комплекта оснащения для бесперебойного и помехоустойчивого выполнения работ следующими системами:

- энергообеспечения, сбора и передача сигналов;
- сбора данных;
- исполнительных механизмов;
- нагрева образца;
- генерации ВЧ-сигнала;
- принятия решения (экспертная система);
- визуализации, хранения, обработки и анализа данных.



**Рис. 3.** Структурная схема методологии автоматизированной системы научных и производственных исследований высокочастотной электротермии с интегрированной в нее «базой знаний»

**Fig. 3.** The structural diagram of the methodology of an automated system of scientific and industrial research of high-frequency electrometry with an integrated "knowledge base"

Система энергообеспечения, сбора и передачи сигналов предназначена для бесперебойного энергообеспечения заданного уровня силового и опорного напряжения в течение всего времени проведения экспериментальных исследований. Она поддерживает высоко стабилизированное опорное напряжение 3,3 В и силовое напряжение питания устройств и датчиков 12 В и 5 В. В качестве источника постоянного тока использовался комплект аккумуляторных батарей GP 1272, а также источник питания

постоянного тока АТХ, мощностью 450 Вт с выводами напряжения 5 В, 12 В. Для исключения паразитного воздействия силовых высокочастотных полей авторами были проанализированы существующие методы борьбы с подобными явлениями. Ряд методик, например, методика М.Л. Волина [3], методика экранирующего эффекта паразитной емкости и симметрии заземления сети приняты в качестве основных при проектировании блоков [8, 18]. Для этого все блоки и кабельные линии были снабжены коаксиальной и экранирующей защитой.

Система исполнительных механизмов предназначена для управления АСНИ ВЧ, а именно ее электрической и механической частями. Так, при решении вопроса автоматизированного поддержания необходимой мощностью ВЧ-генератора использовались реактивные пентодные лампы (электронное устройство) и шаговые двигатели (сервоприводы) с обратной связью (электромеханические устройства). Для нагрева образца полимерного материала в качестве нагревателей применялись трубчатые нагревательные элементы, подача переменного силового напряжения на которые осуществлялась электромеханическими реле или ШИМ регулируемым семисторным твердотельным реле.

Необходимо отметить, что в системе нагрева образца использовались нагревательные столы из материала с минимальными энергоинерционными параметрами.

Система генерации ВЧ-сигнала основана на источнике высокочастотного, высоковольтного электромагнитного поля, вырабатываемого базовой станцией промышленного типа модели УЗП 2500. Особенностью станции является ее достаточно высокая мощность (2 500 Вт), простота обслуживания и универсальность.

Система принятия решения (экспертная) основана на возможности поддержания максимально эффективного уровня работы оборудования в режиме предпробойного состояния с дополнительно организованной системой защиты от пробоя и прогара как образца, так и электрода. Причем организована она была по двум схемам. Локационно-акустическая схема обеспечивалась информацией, получаемой с акустических датчиков. Высокоточные датчики анодного тока (фирмы «Honeywell») применялись для контроля (с большой частотой получения сигнала по отдельному каналу) динамических амперометрических показателей работы высокочастотного генератора, а именно анодного тока, который, как было определено ранее, может использоваться как для отработки алгоритмов управления процессами электротермии вычислительными средствами микроконтроллера, так и для передачи сигнала на электронно-вычислительную машину для дальнейшего анализа.

Система визуализации, хранения, обработки и анализа данных была выполнена с использованием

программируемого логического контроллера (ПЛК) на базе «AtMega 2560».

Возможности ПЛК считывать и обрабатывать как аналоговые, так и цифровые данные позволили установить в существующую систему контроля и управления датчики и контролируемые устройства с различными функциями измеряемой величины [1, 12, 14, 15].

Расчет скорости передачи данных подтвердил возможность уверенной их передачи (9 600 бит/с), однако было предусмотрено ее увеличение до 111 000 бит/с, например, при контроле ЧР, по анодному току. Организованная передача данных по порту USB позволила создать универсальный интерфейс ПЛК – ПК со скоростью обмена данными до 115 200 бит/с. Такое решение позволило организовать новый, более качественный процесс сбора данных с целью их последующего анализа [13, 23].

В результате анализа данных по анодному току установлено, что при переходе на частоту 115 200 бит/с появляется высокочастотный информационный сигнал, не позволяющий без дополнительных алгоритмов объективно оценивать процесс нагрева и воздействовать на управление. Возможность быстрого перепрограммирования контроллера позволяет оперативно отстраиваться от помех и отлаживать программу управления в реальном режиме времени, а при необходимости менять программу при реализации различных технологических процессов ВЧ-нагрева.

Функциональные возможности по сбору данных с различных измерительных устройств и приборов, регистрации, визуализации и обработки сигналов в режиме реального времени, редактировании, математической обработке и анализу данных, хранение, импорт и экспорт данных были реализованы с помощью программного обеспечения «PowerGraph» или программный модуль HyperTerminal MS Windows.

Для обеспечения использования программы «PowerGraph» с АСНИ ВЧ после проведения совместной работы с разработчиком данного ПО был создан оригинальный драйвер COMASCII.adc, способный принимать в режиме реального времени данные с ПЛК и представлять их в аудио, текстовом и графическом формате. Данный драйвер вошел и инсталляционный пакет «PowerGraph», начиная с версии 3.х.

С помощью комплекса «PowerGraph» можно

осуществлять:

- сбор данных с различных измерительных устройств и приборов;
- регистрацию, визуализацию и обработку сигналов в режиме реального времени;
- редактирование, математическую обработку и анализ данных;
- хранение, импорт и экспорт данных.

Это значительно расширяет возможности АСНИ ВЧ и позволяют ей решать широкий круг задач в области ВЧ-нагрева [20–27].

Необходимо отметить, что базовая комплектация аппаратной части в зависимости от решаемых задач не всегда позволяет обеспечить все необходимые варианты построения системы исследований. С этой целью было принято решение о расширении схемы АСНИ ВЧ за счет включения в ее структуру вариативной части, что позволило унифицировать и увеличить возможности системы АСНИ ВЧ.

Согласно разработанной методологии система также обеспечивается программной частью АСНИ ВЧ и математической частью.

Систематизация БЗ производилась на основе анализа полученных результатов с учетом основных наиболее наукоемких позиций (табл.).

Работы по оптимизации и организации логической структуры БЗ проводились при проектировании ее концептуального уровня [11]. Все сущности, их атрибуты и связи показывают системное расположение данных, хранящихся в справочниках.

Решение относительно способа хранения (внутренний уровень) БЗ находится на стадии утверждения, но предварительно проблема была решена путем размещения БЗ на сервере ИрГУПС в системе дистанционного обучения, направления подготовки аспирантов 09.06.01. «Информатика и вычислительная техника», направленность программы «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» (<https://sdo2.irgups.ru/course/view.php?id=2905>) и уже проходит ее апробация администраторами и менеджерами из состава научной группы ИрГУПС. Контроль на физическом уровне БЗ осуществляется под управлением СУБД операционной системой Windows, не ниже XP. Акт внедрения в учебный процесс и государственная регистрация БЗ

**Таблица.** Систематизированная база знаний  
**Table.** Systematized knowledge base

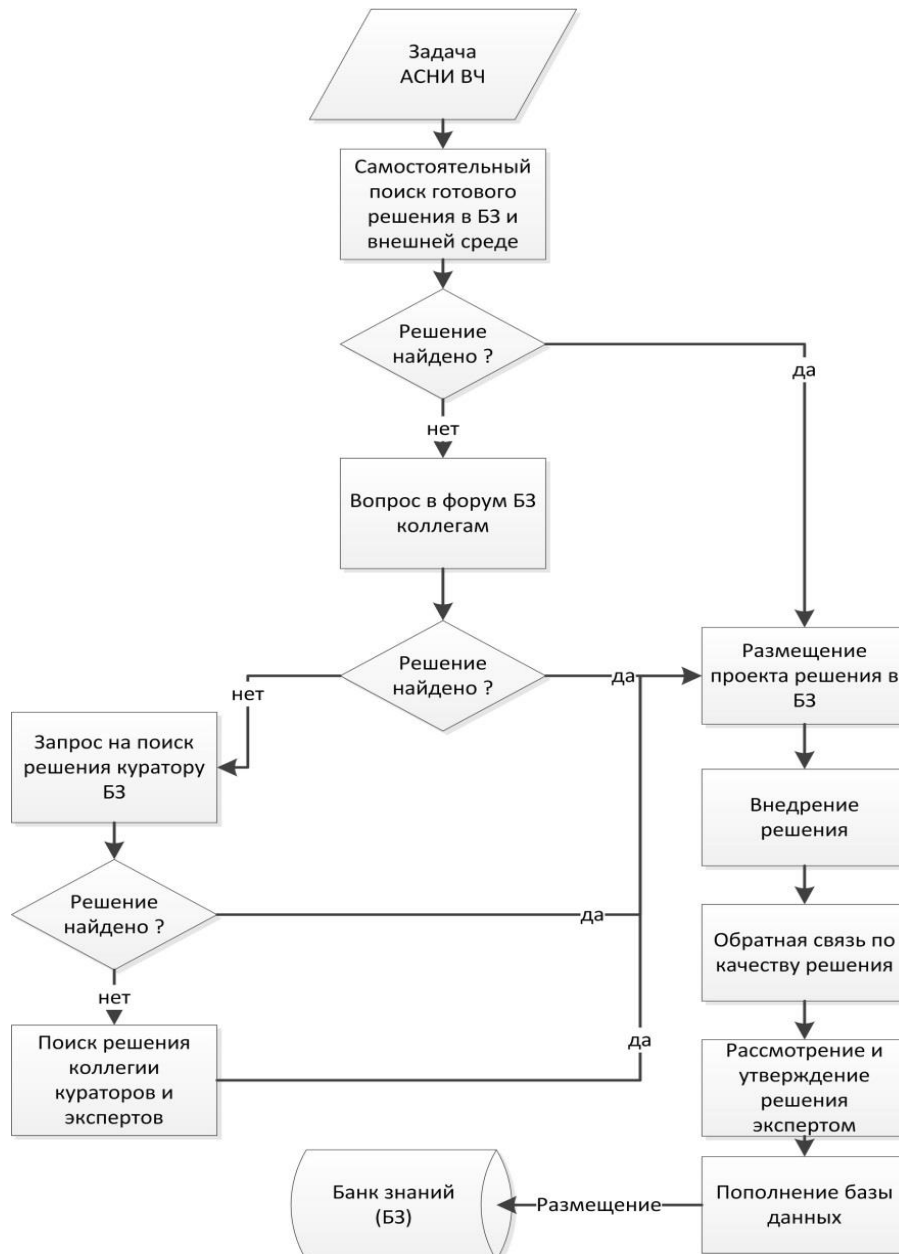
Банк знаний								
Исследуемые процессы	Исследуемые свойства	Решаемые задачи	Информация о математическом инструментарии			Полученные результаты	Ссылка на первоисточник	Экспертная отметка по данной задаче
			Математические модели	Математическая зависимость	Программная часть реализующая математические зависимости			
Справочник №1	Справочник №2	Справочник №3	Справочник №4	Справочник №5	Справочник №6	Справочник №7	Справочник №8	Справочник №9

как интеллектуальной собственности находятся на этапе оформления.

Необходимо отметить, что на этапе внедрения БЗ в учебный процесс было принято решение о возможности ее обработки, внесения изменений, исправлений только силами научной группы ИрГУПС. С этой целью проведено администрирование и разработан алгоритм по внесению дополнений и изменений в разработанную БЗ. Далее представлена блок-схема алгоритма (рис. 4). Таким образом, изучение существующих систем, принципов и спо-

собов организации автоматизированных научных исследований воздействия ВЧ-электромагнитного поля на полимерные и композитные материалы позволило определить принципы построения и сформировать методологию нового (универсального) класса АСНИ ВЧ при исследовании изменяемых свойств полимеров и композитов.

Таким образом, в рамках настоящего исследования построена методология нового (универсального) класса АСНИ ВЧ. На основе разработанного и интегрированного в нее БЗ и алгоритма его использова-



**Рис. 4.** Блок-схема алгоритма поиска решений и внесения изменений и дополнений в базе знаний

**Fig. 4.** The schematic block diagram of the algorithm for finding solutions and making changes and additions to the knowledge base



ния исследователи получают возможность оперативно определять направление построения как универсальных, так и узкоспециальных систем исследований в различных областях процессов воздействий ВЧ-поля на полимерные и композитные материалы.

### Заключение

Разработанная методология нового (универсального) класса АСНИ ВЧ, основанная на совокупности элементов, находящихся в отношениях и связях друг

с другом, позволила построить архитектуру БЗ, обеспечивающую возможность абстракции данных, что позволяет не только пользоваться банком знаний, но и оперативно поддерживать его независимость и вести базу различными группами пользователей.

Разработанная методология позволяет определить путь исследователя в области его изысканий по тематике электротермического воздействий ВЧ-поля на полимерные и композитные материалы.

### Список литературы

1. Karl-Heinz J. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. Concepts and Programming Languages, Requirements for Programming Systems, Decision-Making Tools // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2001.
2. Пат. № 118916 РФ МПК В29С 65/04. Блок автоматизации устройства высокочастотной термообработки полимерных материалов. Н.Г. Филиппенко, А.В. Лившиц, А.Я. Машович, С.К. Каргапольцев Заявлен 21.10.2011.
3. Волин М.Л. Паразитные связи и наводки. Издание второе исправленное и дополненное. М.: Издательство «Советское Радио», 1965.
4. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М.: Изд-во стандартов, 1969. 50 с.
5. ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Метод определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до 5·10(6) Гц. М.: Изд-во стандартов, 1977. 52 с.
6. ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. М.: Изд-во стандартов, 1977. 9 с.
7. ГОСТ Р 8.623-2015. ГСИ. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков. Методики измерений в диапазоне сверхвысоких частот, отраслевым стандартам (ОСТ) и аттестованным методикам измерения  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ . М.: Изд-во стандартов, 2015. 68 с.
8. Денисенко В. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации // Современные технологии автоматизации. 2001. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cta.ru/cms/f/366703.pdf>
9. Ларченко А.Г. Система автоматизированного управления высокочастотным диагностированием при производстве и эксплуатации изделий из полимерных материалов: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.06. Иркутск, 2014. 164 с.
10. Лившиц А.В. Автоматизированное управление технологическими процессами высокочастотной электротермии полимеров: дис. ... док. тех. наук 05.13.06. Иркутск, 2016. 351 с.
11. Малыгина М.П. Базы данных: основы, проектирование, использование, 2-е изд. перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 528 с.
12. Минаев И.Г., Самойленко В.В. Программируемые логические контроллеры. Ставрополь: АРГУС, 2009. 100 с.
13. Парк Дж. Передача данных в системах контроля и управления: практическое руководство. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 480 с.
14. Филиппенко Н.Г., Буторин Д.В., Лившиц А.В. Комплексированный метод автоматизированного высокочастотного контроля фазовых превращений в полимерных материалах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. № 10. С. 10–18.
15. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного программирования. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 246 с.
16. Применение полимеров в машиностроении [Электронный ресурс]. URL: <https://mplast.by/encyklopedia/primeneniye-polimerov-v-mashinostroenii/> (дата обращения: )
17. Румынский С.Н. Автоматизированная система управления процессом высокочастотной сварки изделий из полиамида: дис. ... кан. тех. наук 05.13.06, 05.09.10. Санкт-Петербург, 2005. 133 с.
18. Корицкий Ю.В. Справочник по электротехническим материалам. в 3 т. Т. 1. М.: Энергия, 1974. 583 с.
19. Трофимов Н.В. Управление режимом высокочастотной сварки изделий из пластмасс сложной формы: дис. ... кан. тех. наук 05.13.06. Санкт-Петербург, 2011. 112 с.
20. Уильсон К. Разработка графических пользовательских интерфейсов для АСУТП // Сайт. АСУ ТП. URL: <http://asutp.ru/?p=600212>.
21. Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V. Mathematical modeling of the technological process of improving the quality of polymeric products of machine-building // Сибирский журнал науки и технологий. 2019. Т. 20. № 1. С. 106–111.
22. Филиппенко Н.Г. Автоматизация управления процессом высокочастотной обработки полимерных материалов: дис. ... кан. тех. наук 05.13.06. Иркутск, 2012. 161 с.
23. Филиппенко Н.Г., Буторин Д.В., Лившиц А.В. Автоматизация процесса контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах // Информационные системы и технологии. 2017. № 1 (99). С. 44–53.
24. Ларченко А.Г. Оценка качества изделий из полимерных материалов машиностроительного назначения // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – Т. 23 (№ 3). С. 463–471.

25. Фарзалиев Э.Ф., Ларченко А.Г., Грамаков Д.С., Баканин Д.В. Технология автоматизации процессов ВЧ-сушки многокомпонентных полимерных и композиционных материалов // Молодая наука Сибири. 2019. № 4 (6). С. 31–38.
26. Ларченко А.Г. Система автоматизированного управления высокочастотным диагностированием изделий из полимерных материалов // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 8. С. 3–8.
27. Ларченко А.Г. Автоматизированное устройство диагностирования полимерных изделий сложной конфигурации методом высокочастотного излучения // Контроль. Диагностика. 2016. № 2. С. 61–65.

### References

1. Karl-Heinz J. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. Concepts and Programming Languages, Requirements for Programming Systems, Decision-Making Tools. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
2. Filippenko N.G., Livshits A.V., Mashovich A.Ya., Kargapol'tsev S.K. Blok avtomatizatsii ustroystva vysokochastotnoi termoobrabotki polimernykh materialov. [The automation unit for high-frequency heat treatment of polymer materials]. Patent RF No. 118916, IPC B29C 65/04. Applied Oct 21, 2011.
3. Volin M.L. Parazitnye svyazi i navodki. Izdanie vtoroe ispravlennoe i dopolnennoe. [Spurious communications and interference. Second edition, corrected and supplemented]. Sovetskoe Radio Publ., 1965.
4. GOST 15150-69. Mashiny, pribory i drugie tekhnicheskie izdeliya. Ispolneniya dlya razlichnykh klimaticheskikh rayonov. Kategorii, usloviya ekspluatatsii, khraneniya i transportirovaniya v chasti vozdeystviya klimaticheskikh faktorov vneshnei sredy [GOST 15150-69. Machines, devices and other technical products. Versions for different climatic regions. Categories, operating conditions, storage and transportation regarding the impact of climatic environmental factors]. Izd-vo standartov Publ., 1969.
5. GOST 22372-77. Materialy dielektricheskie. Metod opredeleniya dielektricheskoi pronitsaemosti i tangensa ugla dielektricheskikh poter' v diapazone chastot ot 100 do 5·10(6) Gts [GOST 22372-77. Dielectric materials. The method for determining the dielectric constant and the dielectric loss tangent in the frequency range from 100 to 5 · 10 (6) Hz]. Izd-vo standartov Publ., 1977, 52 p.
6. GOST 22372-77. Materialy dielektricheskie. Metody opredeleniya dielektricheskoi pronitsaemosti i tangensa ugla dielektricheskikh poter' [GOST 22372-77. Dielectric materials. Methods for determining the dielectric constant and dielectric loss tangent]. Izd-vo standartov Publ., 1977, 9 p.
7. GOST R 8.623-2015. GSI. Otnositel'naya dielektricheskaya pronitsaemost' i tangens ugla dielektricheskikh poter' tverdykh dielektrikov. Metodiki izmerenii v diapazone sverkhvysokikh chastot, otrasle-vym standartam (OST) i attestovannym metodikam izmereniya  $\epsilon$  i  $\tan\delta$  [GOST R 8.623-2015. GSI. Relative permittivity and dielectric loss tangent of solid dielectrics. Measurement procedures in the ultra high frequency range, industry standards (OST) and certified methods for measuring  $\epsilon$  and  $\tan\delta$ ]. Izd-vo standartov Publ., 2015, 68 p.
8. Denisenko V. Zashchita ot pomekh datchikov i soedinitel'nykh provodov sistem promyshlennoi avtomatizatsii [Protection against interference from sensors and connecting wires of industrial automation systems]. Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii [Modern automation technologies], 2001, No. 1 [Electronic media]. URL: <http://www.cta.ru/cms/f/366703.pdf>.
9. Larchenko A.G. Sistema avtomatizirovannogo upravleniya vysokochastotnym diagnostirovaniem pri proizvodstve i ekspluatatsii izdelii iz polimernykh materialov: dis. ... kand. tekhn. nauk [Automated control system for high-frequency diagnostics in the production and operation of products from polymeric materials: Ph.D. (Engineering) diss.]. 05.13.06. Irkutsk, 2014, 164 p.
10. Livshits A.V. Avtomatizirovannoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami vysokochastotnoi elektrotermii polimerov: dis. ... dok. tekhn. nauk [Automated process control of high-frequency electrothermal polymers: Ph.D. (Engineering) diss.]. 05.13.06. Irkutsk, 2016, 351 p.
11. Malykhina M.P. Bazy dannykh: osnovy, proektirovanie, ispol'zovanie [Databases: fundamentals, design, use]. St.Petersburg: BKhV-Peterburg Publ., 2006, 528 p.
12. Minaev I.G., Samoilenko V.V. Programmiruyemye logicheskie kontrollery. [Programmable Logic Controllers]. Stavropol': ARGUS Publ., 2009, 100 p.
13. Park Dzh. Peredacha dannykh v sistemakh kontrolya i upravleniya: prakticheskoe rukovodstvo [Data transfer in control systems: a practical guide]. Moscow: Gruppya IDT OOO Publ., 2007, 480 p.
14. Filippenko N.G., Butorin D.V., Livshits A.V. Kompleksirovannyi metod avtomatizirovannogo vysokochastotnogo kontrolya fazovykh prevrashchenii v polimernykh materialakh [An integrated method of automated high-frequency control of phase transformations in polymeric materials]. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika [Devices and Systems. Management, control, diagnostics], 2016, No. 10, pp. 10–18.
15. Petrov I.V. Programmiruyemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo programmirovaniya [Programmable Controllers. Standard languages and techniques of applied programming]. SOLON-Press Publ., 2004, 246 p.
16. Primenenie polimerov v mashinostroenii [The use of polymers in mechanical engineering] [Electronic media]. URL: <https://mplast.by/encyklopedia/primenenie-polimerov-v-mashinostroenii/>. Accessed ...
17. Rumynskii S.N. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya protsessom vysokochastotnoi svarki izdelii iz poliamida: dis. ... kan. tekhn. nauk [Automated control system for the process of high-frequency welding of products made of polyamide: Ph.D. (Engineering) diss.]. 05.13.06; St. Petersburg, 2005, 133 p.
18. Koritskii Yu.V. Spravochnik po elektrotekhnicheskim materialam: v 3 t. T. 1 [The handbook of electrical materials: in 3 vols, Vol. 1]. Energiya Publ., 1974, 583 p.
19. Trofimov N.V. Upravlenie rezhimom vysokochastotnoi svarki izdelii iz plastmass slozhnoi formy: dis. ... kan. tekhn. nauk. [Control of high-frequency welding of plastic products of complex shape: Ph.D. (Engineering) diss.]. 05.13.06. St. Petersburg, 2011, 112 p.



20. Uil'son K. Razrabotka graficheskikh pol'zovatel'skikh interfeysov dlya ASUTP [Development of graphical user interfaces for process control systems]. ASU TP [APCS] [Electronic media]. URL: <http://asutp.ru/?p=600212>. Accessed ...

21. Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V. Mathematical modeling of the technological process of improving the quality of polymeric products of machine-building. *Sibirskii nauchno-tehnicheskii zhurnal* [Siberian Scientific and Technical Journal], 2019, No. 20, pp. 106–111.

22. Filippenko N.G. Avtomatizatsiya upravleniya protsessom vysokochastotnoi obrabotki polimernykh materialov: dis. ... kan. tekh. nauk [Automation of process control of high-frequency processing of polymer materials: Ph.D. (Engineering) diss.], 05.13.06. Irkutsk, 2012, 116 p.

23. Filippenko N.G., Butorin D.V., Livshits A.V. Avtomatizatsiya protsessa kontrolya fazovykh i relaksatsionnykh prevrashchenii v polimernykh materialakh. [Automation of the process of monitoring phase and relaxation transformations in polymeric materials]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies], 2017, No. 1 (99), pp. 44–53.

24. Larchenko A.G. Otsenka kachestva izdelii iz polimernykh materialov mashinostroitel'nogo naznacheniya [Evaluation of the quality of products from polymeric materials for engineering purposes]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2019, Vol. 23, No. 3, pp. 463–471.

25. Farzaliyev E.F., Larchenko A.G., Gramakov D.S., Bakanin D.V. Tekhnologiya avtomatizatsii protsessov VCH-sushki mnogokomponentnykh polimernykh i kompozitsionnykh materialov [Technology for the automation of high-frequency drying processes of multicomponent polymeric and composite materials]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia], 2019, No. 4 (6), pp. 31–38.

26. Larchenko A.G. Sistema avtomatizirovannogo upravleniya vysokochastotnym diagnostirovaniem izdelii iz polimernykh materialov [Automated control system for high-frequency diagnosis of products from polymeric materials]. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2015, No. 8, pp. 3–8.

27. Larchenko A.G. Avtomatizirovannoe ustroystvo diagnostirovaniya polimernykh izdelii slozhnoi konfiguratsii metodom vysokochastotnogo izlucheniya [Automated device for diagnosing polymeric products of complex configuration by the method of high-frequency radiation]. *Kontrol'. Diagnostika* [Control. Diagnostics], 2016, No. 2, pp. 61–65.

#### Информация об авторах

**Филиппенко Николай Григорьевич** – к. т. н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [Pentagon@mail.ru](mailto:Pentagon@mail.ru)

#### Information about the authors

**Nikolai G. Filippenko** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [Pentagon@mail.ru](mailto:Pentagon@mail.ru)