

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№8 2020

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

**Казань
2020**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №8 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 58 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № E12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

*С.В. Анаников – д.т.н., проф.; Т.Р. Дебердеев – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.;
В.А. Жихарев – д.ф.-м.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; А.Н. Николаев – д.т.н., проф.;
В.К. Половняк – д.х.н., проф.; В.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.*

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Рашин Сайнс, 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Д.С. Горбатенко</i> БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОТОТРАНСПОРТА	5
<i>В.Н. Костин, А.С. Боровский</i> ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ЧАСТНЫХ ВИДОВ ПОТЕРЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ	8
<i>Е.Е. Миргородская, Н.П. Митяшин, Е.В. Трегубова, Ю.Б. Томашевский, П.А. Ерюшев</i> СИСТЕМА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В СОСТАВЕ МИКРОГРИД	12

05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

<i>В.В. Болдырев, М.А. Горькавый</i> РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИХОДА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, ВХОДЯЩЕЙ В СТРУКТУРУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ ГЕЛИОСИСТЕМЫ	17
<i>Э.Л. Греков, Е.С. Шелихов</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ТЕТРАПОДА	21
<i>М.Л. Хазиев, Е.В. Зубков</i> МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СЕТИ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ТРУБООТРЕЗНОГО СТАНКА-АВТОМАТА	25
<i>Д.А. Яковлев</i> СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ БПЛА С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ	29

05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

<i>А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева</i> АЛГОРИТМ ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ ПУТЕМ ВЫДЕЛЕНИЯ ТРЕНДОВОЙ, ПЕРИОДИЧЕСКОЙ И СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ	32
<i>И.Ф. Киссельман, Д.Н. Кучев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В АППАРАТЕ СО ВЗВЕШЕННЫМ ТРАНСПОРТИРУЕМЫМ СЛОЕМ	36
<i>В.И. Курир</i> АНАЛИЗ ЗАПУСКА ВСУ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	41
<i>С.Э. Шаклеина, Е.Н. Тимашева, Д.Н. Кучев</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТА СО ВЗВЕШЕННЫМ ТРАНСПОРТИРУЕМЫМ СЛОЕМ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ	46

05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>С.Ю. Борзенкова, В.Л. Токарев</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОПАСНОСТИ ДЕСТРУКТИВНЫХ ДЕЙСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО НАРУШИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП	51
--	----

АННОТАЦИИ	54
------------------	----

THE RELEASE MAINTENANCE**05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING**

<i>D.S. Gorbatenko</i> SAFETY OF MOTOR VEHICLE OPERATION	5
<i>V.N. Kostin, A.S. Borovsky</i> ASSESSMENT OF THE SIGNIFICANCE OF PRIVATE TYPES OF LOSSES OF CRITICAL OBJECTS IN AN EMERGENCY	8
<i>E.E. Mirgorodskaya, N.P. Mityashin, E.V. Tregubova, Yu.B. Tomashevskiy, P.A. Eryushev</i> AUTOMATED SYSTEM FOR RELIABILITY CALCULATING OF POWER ELECTRONICS DEVICES OF MICROGRIDES	12

05.13.06 — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>V.V. Boldurev, M.A. Gorkavyi</i> DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF THE ARRIVAL OF SOLAR RADIATION INCLUDED IN THE STRUCTURE OF THE INTELLIGENT CONTROL MODULE OF AN AUTOMATED AUTONOMOUS SOLAR SYSTEM	17
<i>E.L. Grekov, E.S. Shelikhov</i> SOLVING TASKS OF AUTOMATED TETRAPOD MOVEMENT CONTROL	21
<i>M.L. Khaziev, E.V. Zubkov</i> TRAINING METHOD FOR THE HYBRID NETWORK OF THE PI-CONTROLLER OF THE HYDRAULIC DRIVE OF THE PIPE-CUTTING MACHINE	25
<i>D.A. Jakovlev</i> DINAMIC PROCESSES CONTROL IN STOCHASTIC ELECTROMECHANICAL SYSTEMS	29

05.13.18 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

<i>A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva</i> ALGORITHM OF LONG-TERM CONTROL BY DETECTING TREND, PERIODIC AND RANDOM COMPONENTS OF TIME SERIES	32
<i>I.F. Kisselman, D.N. Kuchev</i> MODELING OF HYDRODYNAMICS IN A DEVICE WITH A WEIGHED TRANSPORTABLE LAYER	36
<i>V.I. Kurir</i> ANALYSIS OF THE PROCESS OF LAUNCHING THE AIRCRAFT APU	41
<i>S.E. Shakleina, E.N. Timasheva, D.N. Kuchev</i> FEATURES OF DESIGNING APPARATUS WITH A WEIGHED TRANSPORTABLE LAYER AT HIGH TEMPERATURES	46

05.13.19 — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY, INFORMATION SECURITY

<i>S.U. Borzenkova, V.L. Tokarev</i> DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR DETERMINING HAZARD FACTORS OF DESTRUCTIVE ACTIONS OF POTENTIAL VIOLATOR OF INFORMATION SECURITY SYSTEM OF APCS	51
--	----

ABSTRACTS	54
------------------	----

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)**

05.13.01

Д.С. Горбатенко

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
кафедра «Системный анализ и управление»,
Москва, mai_kaf604@mail.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОТОТРАНСПОРТА

В статье рассматривается проблематика обеспечения безопасности движения при эксплуатации мототранспорта. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием мототранспорта. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности.

Ключевые слова: *безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие, мототранспорт, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.*

Аварийность с участием мототранспорта, число погибших и раненных в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) с участием мототранспорта, стабильно составляет десятую часть от всей дорожно-транспортной аварийности, числа погибших и раненных в ДТП.

Анализ статистических данных об аварийности с участием мототранспорта на территории Московской области за 2013-2019 гг. показал следующее.

В среднем 80 % ДТП с участием мототранспорта - это столкновения, в среднем 70 % ДТП произошли при отсутствии недостатков транспортно-эксплуатационного состояния дорог. В среднем 87 % ДТП произошли при сухом состоянии проезжей части, 77 % - в ясную погоду, в среднем 75 % произошли в светлое время суток.

Более половины ДТП с участием мототранспорта (в среднем 55 %) произошли на нерегулируемых и регулируемых перекрестках, и при выездах с прилегающих территорий. Почти 3 % ДТП происходили на пешеходных переходах, 2 % ДТП – на тротуарах, 1 % ДТП – ДТП во внутриворотовых территориях. Примерно четверть ДТП с участием мототранспорта произошли вблизи придорожных объектов торговли.

В среднем в 60 % ДТП, произошедших с участием мототранспорта, именно водители мототранспорта нарушили правила дорожного движения (ПДД), что привело к возникновению ДТП. Самыми распространенными нарушениями ПДД водителями мототранспорта, приведшими к ДТП, являлись: нарушение правил расположения транспортного средства (ТС) на проезжей части (в среднем в 19 % ДТП); несоответствие скорости конкретным условиям движения (в среднем в 17 % ДТП); превышение установленной скорости движения (в среднем в 13 % ДТП); нарушение правил проезда пешеходных переходов (в среднем в 12 % ДТП); неправильный выбор дистанции (в среднем в 10 % ДТП); несоблюдение очередности проезда (в среднем в 8,5 % ДТП); выезд на полосу встречного движения (в среднем в 7 % ДТП); нарушение требований дорожных знаков и сигналов светофора (в среднем в 5 % ДТП); нарушение правил обгона (в среднем в 3 % ДТП); несоблюдение бокового интервала (в среднем в 2 % ДТП); и нарушения правил перестроения (в среднем в 5 % ДТП).

В среднем в 40 % ДТП по вине водителей мототранспорта, помимо нарушений ПДД, приведших к ДТП, водители мототранспорта либо не имели, либо были лишены права на управление ТС. В среднем в 40 % ДТП водительский стаж водителей мототранспорта составлял свыше 10 лет, в среднем в 9 % ДТП – от 5 до 10 лет, в 6 % ДТП – от 3 до 5 лет, и в

среднем в 5 % ДТП водительский стаж до 3 лет. Наиболее часто нарушали ПДД, приведшие к ДТП, водители мототранспорта в возрастной группе 30-40 лет (в среднем в 35 %), затем в возрасте 18-30 лет (в среднем в 30 % ДТП), потом в возрасте 40-50 лет (в среднем в 18 % ДТП), далее в возрасте 50-60 лет – 7 % ДТП, в возрасте 14-18 лет – 6 % ДТП, и в возрасте 60-70 лет в среднем в 2,5 % ДТП. Дети-водители в возрасте до 14 лет и пожилые водители в возрасте старше 70 лет являлись виновниками в 1, 3 % и 1 % ДТП соответственно.

В среднем в 35 % ДТП, помимо нарушения ПДД, приведших к ДТП, водители мототранспорта находились в состоянии алкогольного или наркотического опьянения. В свою очередь из них в среднем в 55 % ДТП водители не имели или были лишены права на управление ТС. Самыми «злоупотребляющими» оказывались возрастные группы водителей мототранспорта от 30 до 40 лет (в среднем 37 % ДТП), затем группа 18-30 лет (30 %) и возрастная группа от 40 до 50 лет (в среднем в 21 % ДТП) [1].

Анализ статистических данных об аварийности позволил сформулировать основные причины возникновения ДТП с участием мототранспорта, а именно:

- 1) незнание или игнорирование водителями мототранспорта требований ПДД;
- 2) слабая практическая подготовка водителей мототранспорта, выражающаяся в несоответствии выбираемого режима движения мотоцикла существующему транспортно-эксплуатационному состоянию дороги;
- 3) игнорирование водителями мототранспорта необходимости использовать прочную мотоэкипировку яркой окраски, которая делает их заметнее на дороге и может предотвратить серьезное травмирование.

Мотоциклист – полноправный участник дорожного движения, но при этом управляемое им транспортное средство отличается от легковых и грузовых тем, что обладает высокой скоростью, старт с места и набор скорости происходит гораздо быстрее. Мотоцикл очень чувствителен к скользкости, неровностям проезжей части, воздушным потокам. За счет сравнительно небольших габаритов мототранспорт может легко оказываться в т.н. «слепой зоне» водителя автомобиля. Поэтому управление таким транспортным средством требует огромной ответственности за выбор скоростного режима и расположения на проезжей части [2].

По мере развития автомобилизации накапливался опыт обеспечения безопасности, эффективности и удобства дорожного движения методами организации дорожного движения с применением соответствующих технических средств. Это будет продолжаться в соответствии с развитием наземного транспорта и дорожного строительства. Опыт позволил накопить широкий комплекс требований к дорожному строительству и специфических инженерных решений, позволяющих получить желаемый эффект – обеспечение безопасности движения транспорта и пешеходов [3].

Все разработки различных методов организации движения имеют тесную взаимосвязь и даже взаимопроникновение. Можно условно выделить пять наиболее значимых направлений, а именно [3]:

- разделение движения в пространстве;
- разделение движения во времени;
- формирование однородного транспортного потока;
- оптимизация скорости движения;
- разделение транспортных и пешеходных потоков.

Исходя из утверждения о том, что мотоциклист - это равноправный водитель-участник дорожного движения, разрабатываемые и внедряемые программы по профилактике аварийности будут относиться ко всему транспортному потоку.

Для разработки региональных программ безопасности дорожного движения на территории Московской области активно используется методика создания многофакторных регрессионных моделей аварийности. Интерпретация полученных моделей позволила определить [4]:

1) мероприятия, внедрение которых будет способствовать возникновению ДТП с пострадавшими, а именно: расширение границ населенных пунктов вдоль проезжих частей, демонтаж пешеходных ограждений, демонтаж тротуаров, создание перекрестков и примыканий без светофорного регулирования, равно как и создание выездов с второстепенных дорог или прилегающих территорий (с разрешенным движением только направо), внедрение наземных пешеходных переходов без светофорного регулирования, установка вдоль проезжих частей рекламных конструкций, внедрение в эксплуатацию объектов придорожной торговли, расположенных как с соблюдением, так и с нарушениями правил обустройства, автозаправочных станций, расположенных с нарушениями правил обустройства, и функционирование остановок общественного транспорта, не оборудованных заездным карманом;

2) мероприятия, внедрение которых будет способствовать предотвращению ДТП с пострадавшими, а именно: внедрение искусственного освещения проезжей части, создание разделительных полос, препятствующих выезду на полосу встречного движения, создание барьерных ограждений, пешеходных ограждений, создание тротуаров, оборудование имеющихся перекрестков и примыканий, наземных пешеходных переходов светофорным регулированием, внедрение надземных и подземных пешеходных переходов (взамен наземных), создание дополнительных полос для движения (включая переходно-скоростные), и (самые результативные) усиление надзора и контроля за движением, включающее в себя выставление нарядов ДПС, установка средств автоматической фиксации нарушений ПДД, увеличение размеров административной ответственности за нарушение ПДД, и обеспечение неотвратимости наказания.

Очень важно обеспечить читаемость государственных номерных знаков комплексами автоматической фиксации нарушений ПДД, поскольку государственный номерной знак на мототранспорте располагается сзади. Это можно осуществить путем перестройки работы комплекса автоматической фиксации по надзору за движением транспортного потока с встречного направления на попутное.

Заключение. К сожалению, в большинстве ДТП с участием мототранспорта именно водители-мотоциклисты являются виновниками ДТП, утверждение о злонамеренных действиях со стороны автомобилистов на дороге в отношении мотоциклистов это миф. Мотоциклистам при выезде на дорогу необходимо быть предельно собранными, внимательными, обеспечить свою яркую видимость на дороге. И, самое главное, водители мототранспорта должны понимать, что в случае ДТП (столкновения с автомобилями, наезды на препятствия, опрокидывания) именно они окажутся в числе пострадавших, и, возможно, в числе погибших.

Список литературы

1. Статистические данные о дорожно-транспортной аварийности на территории Московской области за 2013-19 г. М. УГИБДД ГУ МВД России по Московской области, 2013-19;
2. Лукьянов В.В. Безопасность дорожного движения. М. Транспорт, 2008, -106 с.;
3. Климовитейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. М. Транспорт, 2001, -248 с.;
4. Кузнецов В.В., Горбатенко Д.С., Порташников О.М. Математическое моделирование как основа разработки программ мероприятий по повышению безопасности движения на улично-дорожной сети. М.: Безопасность дорожного движения: сборник научных трудов, ФКУ «НЦ БДД МВД России», Выпуск № 18, 2019 г., с. 110-114.

05.13.01

В.Н. Костин канд. техн. наук, А.С. Боровский д-р техн. наук

Оренбургский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизации систем,
Оренбург, vladimirkostin5@mail.ru, borovski@mail.ru

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ЧАСТНЫХ ВИДОВ ПОТЕРЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

В статье рассматриваются вопросы оценки значимости частных видов потерь критически важных объектов при возникновении чрезвычайной ситуации. Данная задача актуальна при определении категории критически важных объектов и оценке потенциалов опасности нарушителей при определении базовых нарушителей.

Для оценки значимости частных видов потерь использовался информационно-вероятностный метод. Критически важные объекты и типовые нарушители описывались множеством общих характеристик - частными видами потерь объектов от воздействия нарушителей в виде энтропийных потенциалов, которые сведены в таблицу. Используя для данных таблицы информационно-вероятностный метод, определена оценка значимости частных видов потерь. Полученные результаты могут использоваться для повышения достоверности оценки категории объектов и определении базовых типовых нарушителей для объектов защиты.

Ключевые слова: частные виды потерь критически важных объектов; информационно-вероятностный метод; энтропия.

Введение

Анализ источников [1 - 3] показал, что каждый критически важный объект (КВО) при категорировании имеет потенциал опасности при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС), который определяется соответствующими частными видами потерь. Каждый типовой нарушитель обладает потенциалом подготовленности, который определяет его степень возможностей по воздействию на критически важный объект в виде частных видов потерь.

В источнике [1, 2] описаны частные виды потерь для каждой категории объектов в виде энтропийных потенциалов (таблица 1).

Для оценки потенциальной опасности объекта от действий нарушителей введены шесть частных видов и масштабов потерь [4]. Частные виды потерь:

- политические (определяются снижением всех уровней авторитета властей и общей нестабильностью);
- людские (потери в утрате жизни людей и здоровья);
- финансовые (закljučаются в утрате материальных ценностей);
- экономические (учитывают затраты на переселение людей из зоны аварий и связанные с этим компенсационные выплаты);
- экологические (потери природных ресурсов, приводящие к ухудшению экологической обстановки в регионе);
- информационные (потери, заключающиеся в утрате передовых технологий, конфиденциальной информации).

Для каждого частного вида потерь определяется один из шести масштабов потенциальных потерь в виде энтропийной шкалы опасности [5] (Н – соответствующая энтропийная величина ущерба):

- 1 - локальный (ущерб в пределах территории объекта) – $H=0,007$;
- 2 - местный (ущерб в пределах территории населенного пункта) - $H=0,116$;
- 3 - территориальный (ущерб в пределах территории субъекта РФ) - $H=0,173$;
- 4 - региональный (ущерб в масштабе двух субъектов РФ) – $H=0,555$;
- 5 - государственный (ущерб в пределах более двух субъектов РФ) - $H=0,621$;
- 6 - межгосударственный (ущерб выходит за пределы РФ) - $H=0,878$.

Таблица 1 – Характеристики частных видов потерь объектов по энтропийной шкале

Категории объектов	Характеристики частных видов потерь объектов					
	Политические	Людские	Финансовые	Экономические	Экологические	Информационные
1 - кат.	0.621	0.621	0.621	0.878	0.878	0.878
2 - кат.	0.555	0.555	0.621	0.621	0.621	0.621
3 - кат.	0.173	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555
4 - кат.	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173
5 - кат.	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.173
6 - кат.	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116
7 – кат.	0.007	0.007	0.007	0.007	0.116	0.116

Энтропийный потенциал опасности нарушителей по нанесению частных видов потерь КВО определен в статье [3]. В таблице 2 приведены характеристики типовых нарушителей по такой же энтропийной шкале для определения значимости частных видов потерь для КВО.

Таблица 2 – Последствия действий типовых нарушителей на КВО по энтропийной шкале

Типовые нарушители	Характеристики частных видов потерь от действий типовых нарушителей					
	Политические	Людские	Финансовые	Экономические	Экологические	Информационные
X1	0.878	0.878	0.173	0.878	0.878	0.173
X2	0.621	0.621	0.116	0.621	0.621	0.116
X3	0.555	0.555	0.116	0.555	0.555	0.007
X4	0.007	0.007	0.173	0.116	0.007	0.116
X5	0.116	0.116	0.621	0.116	0.173	0.621
X6	0.173	0.173	0.555	0.173	0.116	0.621

Авторы статьи предлагают на основе использования информационно-вероятностного метода определить значимость частных видов потерь, то есть определить их весовой вклад в формирование потенциала опасности КВО при возникновении ЧС, а так же в формирование потенциала опасности последствий действий типовых нарушителей.

В настоящее время эта задача определяется в основном экспертными методами [5], где присутствует элемент субъективизма, или на основе теории нечеткой логики и нечетких гиперграфов [6].

Постановка задачи. Необходимо на основе обработки объединенного общего информационного поля характеристик нарушителей и категорируемых объектов информационно-вероятностным методом определить значимость частных видов потерь для категорируемых объектов. Результатом решения будет величина энтропийного потенциала значимости каждого частного вида потерь.

Решение задачи. Объединив информационное поле таблиц 1 и 2, получим таблицу 3 с общим однородным информационным полем (единая шкала).

Математический аппарат информационно-вероятностного метода опирается на положения, изложенные в монографии [7].

Таблица 3 – Характеристики опасности объектов и нарушителей по энтропийной шкале

Типовые нарушители и объекты	Характеристики типовых нарушителей и объектов					
	Политические	Людские	Финансовые	Экономические	Экологические	Информационные
X1	0.878	0.878	0.173	0.878	0.878	0.173
X2	0.621	0.621	0.116	0.621	0.621	0.116
X3	0.555	0.555	0.116	0.555	0.555	0.007
X4	0.007	0.007	0.173	0.116	0.007	0.116
X5	0.116	0.116	0.621	0.116	0.173	0.621
X6	0.173	0.173	0.555	0.173	0.116	0.621
1 - кат.	0.621	0.621	0.621	0.878	0.878	0.878
2 - кат.	0.555	0.555	0.621	0.621	0.621	0.621
3 - кат.	0.173	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555
4 - кат.	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173
5 - кат.	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.173
6 - кат.	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116
7 – кат.	0.007	0.007	0.007	0.007	0.116	0.116

Степень структурной организованности и упорядоченности любой системы можно описать с помощью энтропии [7]. По аналогии - степень опасности частных видов потерь опишем в виде оценочного потенциала – энтропии Н. Алгоритм определения энтропии представлен на рисунке 1.

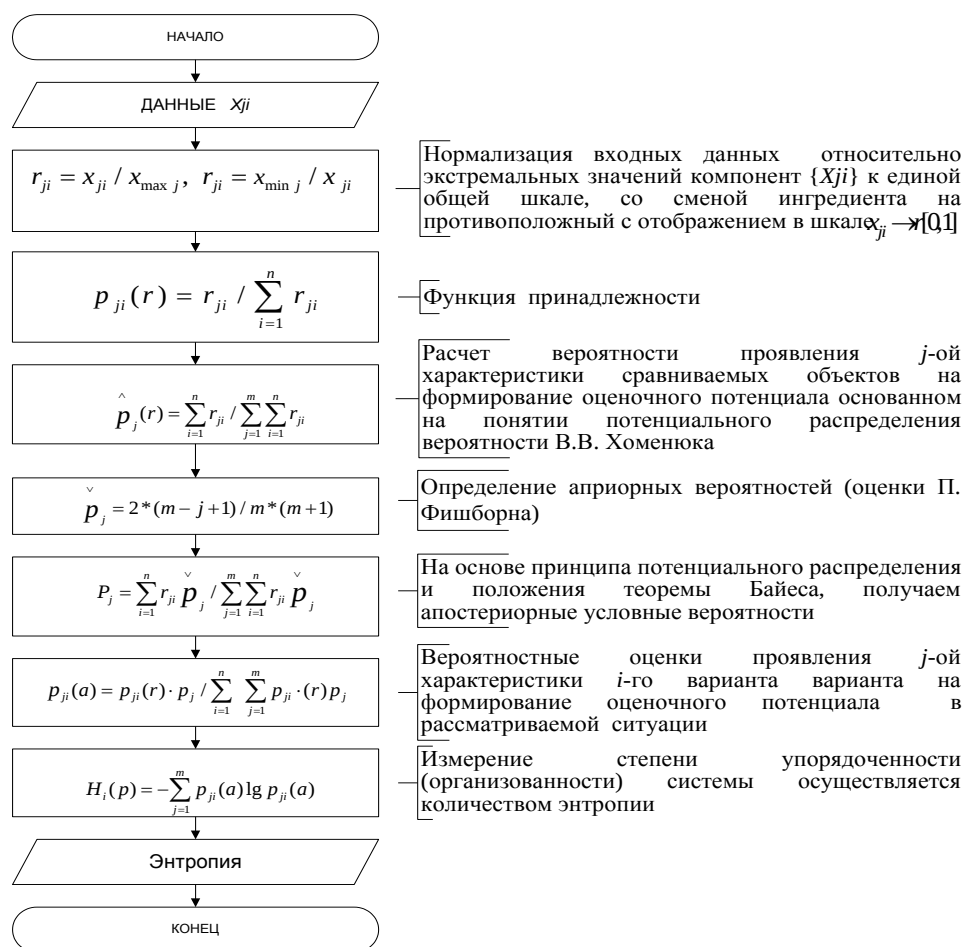


Рис. 1 – Алгоритм определения энтропии

Применение математического аппарата рассмотрим на примере данных таблицы 3. Результаты расчетов энтропийной шкалы оценки частных видов потерь КВО приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Энтропийные потенциалы частных видов потерь критически важных объектов

Характеристика	Характеристики частных видов потерь объектов					
	Политические	Людские	Финансовые	Экономические	Экологические	Информационные
Энтропийный потенциал Н	0,701	0,708	0,672	0,794	0,781	0,737

Из таблицы видно, что энтропийные потенциалы характеристик почти равновесны. Наименьший потенциал имеет финансовая характеристика.

Вывод. Определены весовые значения характеристик частных видов потерь для КВО при возникновении ЧС. Энтропийные потенциалы характеристик почти равновесны. Информационные потери по значимости не уступают политическим и людским потерям. Полученные результаты могут быть использоваться при определении категории КВО и назначении базовых типовых нарушителей.

Список литературы

1. Костин, В.Н. Оценка потенциала опасности критически важных объектов при возникновении чрезвычайной ситуации на основе информационно вероятностного метода и главных компонент. / В.Н. Костин // «Информационные технологии» 2020г. N5 (Т. 26) с. 297 - 301.
2. Костин, В.Н. Информационно вероятностный метод формирования категорий потенциально опасных объектов / В.Н. Костин, А.К. Пономарев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2015. – №6 (132) – с. 34 – 42.
3. Костин, В.Н. Оценка потенциала опасности нарушителей на основе информационного метода и метода главных компонент. / В.Н. Костин // Информационные технологии и вычислительные системы. 2016. № 3 с. 74 – 81.
4. Костин В.Н. Оценка величины значимости чрезвычайных ситуаций на основе информационно-вероятностного метода. / В.Н. Костин // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2019. N3 с. 17 - 23
5. Бояринцев, А.В. Проблемы антитерроризма: Категорирование и анализ уязвимости объектов / А.В. Бояринцев, А.Н. Бражник, А.Г. Зуев – СПб.: ЗАО «ИСТА – Системс», 2006 – 252с.
6. Боровский, А.С. Автоматизированное проектирование и оценка систем физической защиты потенциально опасных (структурно сложных) объектов. Часть 1. Системный анализ проблемы проектирования и оценки систем физической защиты: монография / А. С. Боровский, А. Д. Тарасов. – Самара; Оренбург: СамГУПС, 2012. – 155 с.
7. Андреев, Г.И. Основы теории принятия решений. Монография / Г.И. Андреев, П.А. Созинов, В.А. Тихомиров – М.: Радиотехника, 2017. – 648 с.

05.13.01

**Е.Е. Миргородская канд. техн. наук, Н.П. Митяшин д-р техн. наук, Е.В. Трегубова,
Ю.Б. Томашевский д-р техн. наук, П.А. Ерюшев**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Институт электронной техники и приборостроения,
кафедра «Системотехника и управление в технических системах»,
Саратов, mee85@inbox.ru

СИСТЕМА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В СОСТАВЕ МИКРОГРИД

В работе представлена система автоматизированного расчета надежности устройств силовой электроники в составе распределенных систем интеллектуальной электроэнергетики микрогрид на основе возобновляемых источников энергии, позволяющая оценить их суммарную интенсивность отказов и среднее время наработки на отказ. С помощью предлагаемой системы произведен расчет показателей надежности трех вариантов групповых трехфазных инверторов. Сравнительный анализ произведенных расчетов показал преимущество схемы инвертора тока с двуканальным регулированием выходного напряжения.

Ключевые слова: *надежность, инверторы, микрогрид, интенсивность отказов, среднее время наработки на отказ.*

Введение. Увеличение электропотребления и ограниченность невозобновляемых источников энергии являются одной из главных проблем, стоящей перед электроэнергетикой в настоящее время. Перспективным решением данной проблемы является использование распределенных систем интеллектуальной электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – микрогрид [1].

В состав микрогрид, помимо одного или нескольких генерирующих объектов на основе ВИЭ (ветроустановки, фотоэлектрические панели, микро-гэс и др.), количество и комбинация которых определяется местоположением микрогрид и зависит от наличия того или иного вида местных энергоресурсов, входят подключение к системе централизованного электроснабжения и гарантирующие источники генерации электроэнергии (дизель и газогенераторы), которые подключаются к микрогрид в случае дефицита мощности, вырабатываемой генераторами на основе ВИЭ, или отсутствия подключения к системе централизованного электроснабжения. Кроме того, в состав системы входят устройства накопления энергии и силовой электроники (выпрямители, инверторы, преобразователи и др.).

Как показано в [2–4], подобные системы способны не только решить проблемы увеличивающегося спроса на электроэнергию и снизить загрязнение окружающей среды, но и обеспечить надежное и устойчивое электропитание для потребителей.

Разработка системы расчета надежности устройств силовой электроники в составе микрогрид. Надежность функционирования микрогрид должна обеспечиваться системно и охватывать все стадии жизненного цикла. Следует отметить, что расчет показателей надежности является одним из обязательных мероприятий и входит в состав работ на стадии проектирования электроэнергетических систем и комплексов [5].

Согласно [6] под надежностью подразумевается свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Применительно к системам электроснабжения эти функции заключаются в обеспечении потребителей генерируемой электроэнергией в требуемом количестве и требуемого качества [7].

Свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения называется безотказностью [6]. Это свойство характеризуется рядом показателей.

В данной работе в качестве основного показателя, характеризующего безотказную работу электрооборудования микрогрид, будет использоваться интенсивность отказов, что обосновано в [8].

Согласно [6] интенсивность отказов – это условная плотность вероятности возникновения отказа, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Тогда на основе определений и положений теории вероятностей количество отказов элемента на каком-либо достаточно малом промежутке времени представляет собой физический смысл плотности вероятности отказа.

Для расчета интенсивности отказов микрогрид в целом необходимо иметь справочные данные об интенсивности отказов элементов в составе данной системы.

Наименее надежной компонентой микрогрид можно считать инвертор, поскольку нарушение его работоспособного состояния вследствие производственного брака, отказа его электронных компонентов или системы управления является основной причиной отказов подобных систем [9, 10]. Поэтому разработана программа, позволяющая оценить надежность инверторов еще на этапе проектирования микрогрид с целью выбора удовлетворяющего требованиям надежности варианта. Достоинством предлагаемой программы, главное интерфейсное окно которой представлено на рисунке 1, является универсальность, так как ее можно использовать для расчета надежности любых устройств силовой электроники.

Рис. 1 – Главное окно системы расчета надежности устройств силовой электроники

№ п/п	Группа	Базовая интенсивность, $\cdot 10^{-6} 1/ч$	Количество
1	Транзистор полевой	0,065	24
2	Диод выпрямительный	0,091	3
3	Трансформатор пита	0,0035	3
4	Конденсатор керами	0,0207	3

Параметры расчета

Обобщенный эксплуатационный коэффициент $K_{з.об.}$ 1 - лабораторные условия

Коэффициент нагрузки K_n 0,5

Температура окружающей среды t 25

☐ Рассчитать суммарную интенсивность отказов
☐ Рассчитать суммарную эксплуатационную интенсивность отказов

Выбрать элементы из базы Добавить элемент в базу Произвести расчет

Рис. 1 – Главное окно системы расчета надежности устройств силовой электроники

Как было отмечено ранее, за основной показатель надежности в разработанной системе принята интенсивность отказов. Типичная кривая интенсивности отказов $\lambda(t)$ для многих элементов электронного оборудования, зависящая от времени их эксплуатации, включает в себя три интервала. Первый из них, характеризуемый высокой интенсивностью отказов вследствие дефектов производства, называется периодом приработки. С течением времени эксплуатации интенсивность отказов на этом периоде уменьшается до определенной величины. На втором участке или периоде нормальной эксплуатации интенсивность отказов

имеет постоянное значение. За ним следует период износа, на котором интенсивность отказов возрастает, но уже вследствие процессов старения. Так как у большинства элементов устройств силовой электроники достаточно длительный по продолжительности период нормальной эксплуатации, а периодом приработки можно пренебречь, полагая, что эксплуатация устройства начинается после его окончания, в предлагаемой программе интенсивность отказов принята постоянной величиной $\lambda(t) = \lambda = const$.

Используемые для расчета значения интенсивностей отказов, соответствующие номинальному электрическому режиму и нормальным условиям эксплуатации, элементов инверторов взяты из [11]. Их реальная величина зависит от условий работы, электрического режима, конструктивно-технологические, функциональных и других особенностей элементов.

Ориентировочное значение суммарной интенсивности отказов устройства λ_{Σ} с приближенным учетом электрического режима, условий окружающей среды и других факторов, влияющих на эксплуатационную безотказность, определение которого характерно для стадии проектирования, находят по выражению [8]:

$$\lambda_{\Sigma} = K_{э.об.} \cdot \sum_{j=1}^k \lambda_{0j} n_j, \quad (1)$$

где $K_{э.об.}$ – обобщенный эксплуатационный коэффициент, λ_{0j} – среднегрупповое значение интенсивности отказов элементов j -й группы, k – число сформированных групп однотипных элементов, n_j – количество элементов в j -й группе.

Как показано в [11], при уточненном расчете значения эксплуатационной суммарной интенсивности отказов устройства $\lambda_{\Sigma_{э}}$ используют выражение:

$$\lambda_{\Sigma_{э}} = \sum_{j=1}^k n_j \lambda_{эj} = \sum_{j=1}^k \left(n_j \cdot \lambda_{0j} \prod_{i=1}^m K_{ij} \right), \quad (2)$$

где λ_{0j} – базовое значение интенсивности отказов элементов j -й группы, K_{ij} – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов элементов $\lambda_{эj}$ j -й группы в зависимости от различных факторов, m – число учитываемых факторов.

В разработанной системе реализован расчет обоих показателей безотказной работы λ_{Σ} и $\lambda_{\Sigma_{э}}$. Помимо этого, система позволяет оценить средние времена наработки на отказ, которые рассчитываются на основе выражений (1) и (2):

$$T_{ср.} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}; \quad T_{ср.э} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma_{э}}}. \quad (3)$$

В предлагаемую систему расчета надежности внесена база наиболее распространенных электронных компонентов устройств силовой электроники, включающая их тип, группу и необходимые для расчета характеристики. Для расчета интенсивности отказов и среднего времени наработки на отказ пользователю необходимо отметить в имеющейся базе элементы, входящие в состав устройства, и указать их количество. В случае отсутствия в базе требуемого для расчета элемента в системе реализована возможность добавления, для этого нужно указать его тип, характеристики и выбрать группу, к которой относится данный элемент. Если параметры надежности добавляемого элемента точно не определены и не указаны, программа будет использовать среднее значение интенсивности отказов по группе этого элемента.

Практическое применение. С помощью разработанной системы были оценены для последующего сравнения показатели надежности трех вариантов групповых трехфазных инверторов в соответствии с составом входящих в них элементов и с учётом значений интенсивностей отказов этих элементов.

На рисунке 2 приведена упрощенная схема группового трехфазного инвертора тока с двуканальным регулированием выходного напряжения, используемого для сравнительного анализа. Остальные включенные в анализ групповые трехфазные инверторы представляют собой многоуровневый инвертор напряжения, получающий питание от трех двуканальных импульсных преобразователей постоянного напряжения [12], и многоуровневый инвертор напряжения, получающий питание от трех реверсивных импульсных преобразователей постоянного напряжения [13].

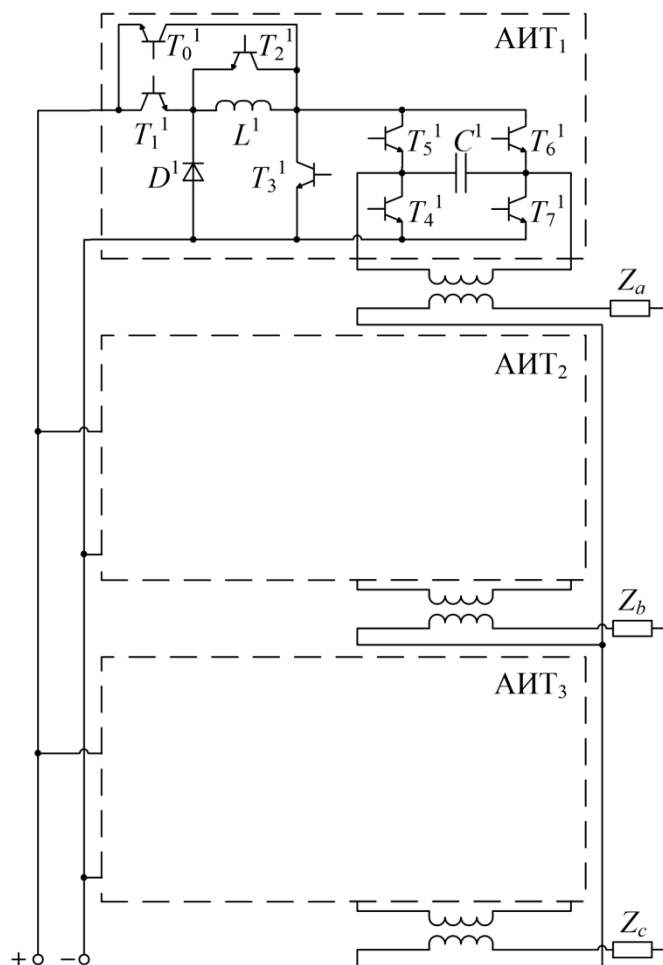


Рис. 2 – Упрощенная схема трехфазного инвертора тока с двуканальным регулированием выходного напряжения

В таблице 1 приведены ориентировочные и эксплуатационные значения суммарных интенсивностей отказов и среднего времени наработки на отказ как результаты автоматизированных расчетов показателей надежности разработанной системы по указанным схемам инверторов в порядке их упоминания в работе. Расчеты проводились при следующих условиях: $K_{э.об.} = 1$ [8], коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов элементов, выбирались при $K_n = 0,5$ и $t = 25^\circ C$.

Как показали результаты расчетов, наиболее надежным оказался инвертор тока, который обладает наименьшим числом силовых элементов по сравнению с рассматриваемыми аналогами, и может быть рекомендован для использования в системах микрогрид.

Таблица 1 Показатели надежности групповых трехфазных инверторов

Номер инвертора	λ_{Σ} , 1/ч	$T_{cp.}$, ч	$\lambda_{\Sigma_{\phi}}$, 1/ч	$T_{cp.\phi}$, ч
1	$1.91 \cdot 10^{-6}$	522957	$0.07 \cdot 10^{-6}$	12812723
2	$5.06 \cdot 10^{-6}$	197554	$0.15 \cdot 10^{-6}$	6833488
3	$19.67 \cdot 10^{-6}$	50835	$0.17 \cdot 10^{-6}$	5779194

Полученные результаты можно оценить, как адекватные, поскольку они соответствуют приблизительной оценке надежности инвертора в составе микрогрид, равной $1.29 \cdot 10^{-6}$ 1/ч [14]. Разница объясняется различным составом и числом элементов, применением иных аналитических методов оценки показателей надежности, а также поправочных коэффициентов, оценивающих условия эксплуатации.

Заключение.

1. Разработана система автоматизированного расчета надежности устройств силовой электроники в составе распределенных систем интеллектуальной электроэнергетики микрогрид на основе ВИЭ, позволяющая оценить их суммарную интенсивность отказов и среднее время наработки на отказ уже на этапе проектирования.

2. Сравнительный анализ показателей надежности трех вариантов групповых трехфазных инверторов для микрогрид, рассчитанных с помощью предлагаемой системы, показал преимущество схемы инвертора тока с двуканальным регулированием выходного напряжения.

Список литературы

1. *Marnay C. et al.* Evolution Roadmap // International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). – 2015. – pp. 139-144.
2. *Shuhui L., Proano J., Dong Z.* Microgrid power flow study in grid-connected and islanding modes under different converter control strategies // 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2012. – pp. 1-8.
3. Smart Power Grids 2011 / Ali Keyhani, Muhammad Marwali (Ed.). – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 701 p.
4. *Ritwik M.* Some Aspects of Stability in Microgrids // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – vol. 28. – no. 3. – pp. 3243-3252.
5. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
6. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
7. *Беляев Ю.К. и др.* Надежность технических систем: справочник / Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985.
8. *Боровиков С.М.* Теоретические основы конструирования, технологии и надежности: учеб. для студ. инж.-тех. спец. вузов. – Минск: Дизайн ПРО, 1998.
9. *Brock K.R. et al.* PV inverter performance and reliability: What is the role of the IGBT? // 37th IEEE Photovoltaic specialists conference (PVSC). – 2011. – pp. 1842-1847.
10. *Harb S., Balog R.S.* Reliability of a PV-module integrated inverter (PV-MII): A usage model approach // 38th IEEE Photovoltaic specialists Conference (PVSC). – 2012. – pp. 1756-1761.
11. Справочник «Надежность ЭРИ». – М.: МО РФ, 2006.
12. *Миргородская Е.Е. и др.* Универсальный источник питания многоуровневого инвертора напряжения с заданным гармоническим составом выходной кривой // Вопросы электротехнологии. – 2019. – № 4. – С. 65-73.
13. *Миргородская Е.Е. и др.* Универсальный источник питания однофазного инвертора с многоуровневой кривой выходного напряжения // Проблемы управления, обработки и передачи информации (УОПИ-2017): сб. тр. V междунар. юбилейн. науч. конф., г. Саратов, сент. 2017 г. – Саратов, 2017. – С. 168-172.
14. *Кривенко Т.В.* Развитие моделей и методов оценки надежности автономных систем генерации, использующих возобновляемые источники энергии. Дис.... кандидата техн. наук Красноярск, 2018.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (05.13.06)**

05.13.06

В.В. Болдырев, М.А. Горькавый канд. техн. наук

Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
факультет энергетики и управления,
кафедра управления инновационными процессами и проектами,
Комсомольск-на-Амуре, Boldurev16@gmail.com, Uipp@knastu.ru

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИХОДА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ,
ВХОДЯЩЕЙ В СТРУКТУРУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ ГЕЛИОСИСТЕМЫ**

В работе представлены результаты разработки имитационной модели прихода солнечной радиации с генератором случайного уровня облачности. Предложена функция, реализованная в среде MATLAB. Применима для вычисления прихода солнечной радиации на поверхность, с учетом текущего уровня облачности, значения которой, дискретизированы по времени в течении календарного года. Предложен способ получения структурированного массива вычисленных значений радиации, исключающий ошибочные результаты автоматизированного расчета.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, солнечная радиация, гелиосистемы, имитационное моделирование, автоматизация.

Стимулируемые мировыми трендами исследования в области повышения эффективности солнечных технологий, приближают их применимость на любых территориях [1]. Но все достижения в части эффективности конечных элементов могут быть полностью нивелированы потерями не эффективного процесса преобразования энергии средствами современных гелиоустановок. Для решения этой проблемы в работе [2] предложена концепция интеллектуального модуля управления автоматизированной автономной гелиосистемы [3]. Предложенный модуль повышает эффективность процесса преобразования за счет обеспечения работы преобразователей с различными источниками электромагнитного излучения, потенциал которых оценивается в реальном времени.

Имитационная модель, является важной частью интеллектуального модуля, к ключевым подсистемам которой, относится модель прихода солнечной радиации на приемную поверхность.

Приход солнечной радиации можно охарактеризовать как стохастический процесс, который сложно интегрировать по времени с достаточной точностью. Тем не менее в настоящей работе применены наиболее актуальные методы теоретического расчёта [4].

Для вычисления горизонтального излучения при ясном небе на наклонную поверхность в Вт/м² применим формулу [4]:

$$G_{cb} = G_{on} t_b \cos \theta_z, \quad (1)$$

где G_{on} – внеатмосферное излучение Солнца, t_b – коэффициент пропускания атмосферы, θ_z - угол падения лучевого излучения на горизонтальную поверхность. Вычисление внеатмосферного излучения [3]:

$$G_{on} = G_{sc}(1.00011 + 0.034221 \cos B + 0.00128 \sin B + 0.000719 \cos 2B + 0.000077 \sin 2B), \quad (2)$$

где G_{sc} - Солнечная постоянная (1367 Вт/м²), B – коэффициент, зависящий от порядкового номера дня года (n) [4]:

$$B = (n - 1) \frac{360}{365}, \quad (3)$$

Для того, чтобы вычислить коэффициент пропускания атмосферы использован метод [4], который учитывает зенитный угол и высоту для стандартной атмосферы, а также поправки для четырех типов климата:

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right), \quad (4)$$

где a_0 , a_1 , k – константы для стандартной атмосферы, зависящие от высоты приемной поверхности над уровнем моря (A) [4]:

$$a_0 = 0.4237 - 0.00821(6 - A)^2, \quad (5)$$

$$a_1 = 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2, \quad (6)$$

$$k = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2, \quad (7)$$

Для корректировки констант под определенные типы климата необходимо умножить их значения на соответствующие коэффициенты. В данной работе применены коэффициенты [4] ($r_0 = 0.97$, $r_1 = 0.99$, $r_k = 1.02$). Далее определим угол падения лучевого излучения — это зенитный угол солнца θ_z . Найдем косинус θ_z [4]:

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta, \quad (8)$$

где φ – широта - угловое положение приемной площадки к северу или югу от экватора ($-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$), δ - склонение - угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора ($-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$), ω - часовой угол - угловое смещение Солнца к востоку или западу от местного меридиана. Склонение находится по формуле [4]:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right), \quad (9)$$

Часовой угол ω вычисляется методом предложенном в [5] (применим для автоматизированных вычислений). Нахождение часового угла:

$$\omega = 15(t - 12 - T_{UB} - \Delta T_{UTC}) + \psi, \quad (10)$$

где t – порядковый номер часа (местное время), T_{UB} - временная поправка на уравнение времени, ΔT_{UTC} - разница между местным официальным временем и средним временем по Гринвичу, ψ - географическая долгота точки размещения приемной поверхности. Для нахождения временной поправки используется [5]:

$$T_{UB} = \frac{1}{60} \left[9.87 \sin\left(2 \frac{360}{365} (n-81)\right) - 7.53 \cos\left(\frac{360}{365} (n-81)\right) - 1.5 \sin\left(\frac{360}{365} (n-81)\right) \right], \quad (11)$$

В настоящей работе, имитационная модель настроена для поверхности, расположенной на территории Хабаровского края в городе Хабаровск, поэтому: $\varphi = 48.4725840$, $A = 0.072$, $\psi = 135.0577320$, $\Delta T_{UTC} = 10$.

Функция реализованная в среде MATLAB (function $G_{cb} = \text{Prim_rad}(N, t)$), включает выше перечисленные формулы, имеет входные переменные – порядковый номер дня и часа, возвращает значение горизонтального излучения при ясном небе на наклонную поверхность в Вт/м². Для формирования массива почасовых значений излучения на календарный год реализован скрипт, формирующий матрицу размерностью $q = [365 \times 50]$ для записи вычисленных значений.

Т.к. «q» заполняется значениями, полученными автоматизированным расчетом, при значениях ω превышающих 3600, происходит цикличное смещение столбцов, а значения ω соответствующие ночному времени суток, приводят к отрицательным значениям излучения (ошибкам). Поэтому необходимо преобразовать полученный массив, таким образом чтобы столбцы матрицы соответствовали порядковому номеру часа, строки порядковому номеру дня, а значения меньше нуля были исключены. Начальный столбец заполнения структурированного массива определяется дополнительной матрицей размерности 365×1 , в которой содержатся номера часов восхода солнца на территории города Хабаровск, полученные статистическим методом с применением измерительных устройств. В таблице 1 приведена структура скрипта.

Таблица 1 – скрипт для формирования массива значений излучения

Структура	Комментарии
Скрипт для формирования массива «q»	
<pre> k1=0; n=0; l=0; for N=1:360 n=n+1; k1=0; for i = 1:50 l=l+1; k1=k1+1; q(n,k1)=Prim_rad(N, t); end </pre>	N – счетчик дней, i – счетчик часов Увеличенный до 48 счетчик часов, позволяет вместить все вычисленные значения для последующей фильтрации массива. Скрипт заполняет матрицу $q(n, k1)$, вычисленными значениями G_{cb} функции $\text{Prim_rad}(N, t)$.
Скрипт для преобразования структуры «q»	
<pre> q=[365x48]; c=[365x1]; B = zeros (360, 24); for i=1:360 k=0; for j = 1:50 if A(i,j)>0 B(i,c(i,1)+k)=q(i,j); k=k+1; end end end </pre>	Объявляем два массива («q» – рассчитанные значения излучения, «с» – номера часов восхода на каждый календарный день); Создаем пустую матрицу 360x24; Создаем счетчики для строк и столбцов; Проверяем на наличие в матрице «q» не нулевого элемента; Записываем не нулевой элемент матрицы «q» в матрицу «B» с учетом позиции, отраженной в матрице «с».

На рис. 1,2 приведены графики, построенные на основе данных, содержащихся в полученном массиве.

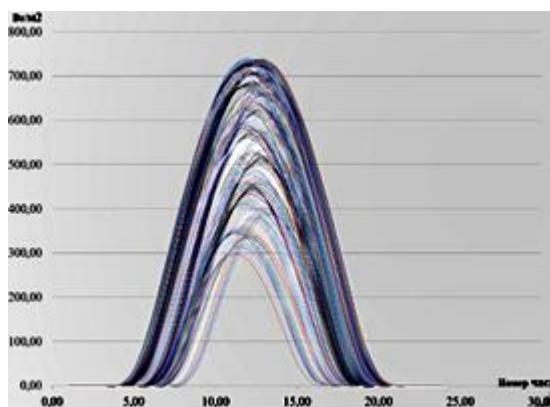


Рис. 1 – График прихода солнечной радиации на 365 дней для Хабаровска

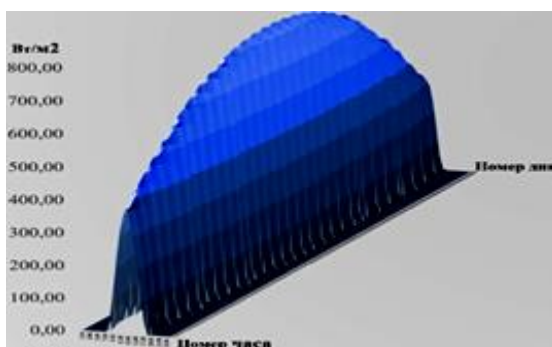


Рис. 2 – График прихода солнечной радиации на 255 дней в середине года для Хабаровска (общий вид)

В результате эмпирических исследований источников [4], был сформирован подход к разработке и настройке генератора случайной облачности. Результаты статистического анализа [4] были совмещены с классификацией облаков по отражательной способности прямого солнечного излучения [4] (наиболее плотные облака снижают интенсивность до 80%, облака низкой плотности до 10%). На рисунке 3 приведен график прихода солнечной радиации с разным уровнем облачности в течении 3 дней марта.

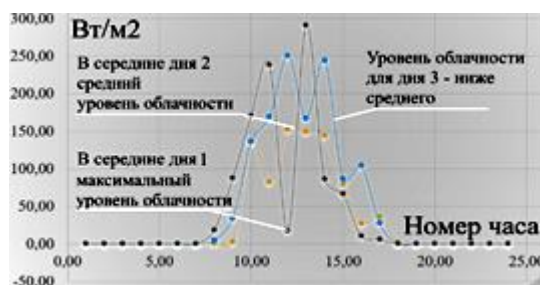


Рис.3 – График прихода солнечной радиации с разной облачностью на 3 дня в марте для Хабаровска

Предложенная имитационная модель прихода солнечной радиации с учетом облачности, позволит обеспечить работу прогнозирующего модуля, входящего в состав интеллектуального модуля управления автономной автоматизированной гелиосистемы [2,3], поддерживающей ориентирование рабочих поверхностей преобразователей на источник электромагнитного излучения. Спрогнозированные значения солнечной радиации, позволят синтезировать решение о регулировке режима работы исполнительных механизмов таким образом, чтобы преобразователь получил максимум энергии от источника, затратив при этом минимум не возобновляемой энергии на регулировку положения рабочей поверхности.

Список литературы

1. *Protsishen A.A., Ulitskaya E.O.*, Development of the algorithm of management of the heating system and hot water supply using renewable energy sources, Stockholm, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, 2017. - pp. 22.
2. *Болдырев В.В. Горькавый М.А.*, Разработка интеллектуального модуля управления автоматизированной автономной системой энергообеспечения, Комсомольск-на-Амуре, Учёные записки КнАГТУ 2020 № II-1(42) Науки о природе и технике, 2020. – С. 9-18.
3. *Boldyrev V.V., Gorkavyu M.A., Solovev D.B.*, Designing an adaptive software and hardware complex for converting solar energy, Vladivostok International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2019. – pp. 1-4.
4. *John A.D., William A.B.*, Solar Engineering of Thermal Processes 4th, Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada, 2017. – pp. 10,14,36,68,78,100.
5. *Обухов С.Г., Плотников И.А.*, Имитационная модель режимов работы автономной фотоэлектрической станции с учетом реальных условий эксплуатации, Томск, Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2017. – С.40.

05.13.06

Э.Л. Греков канд. техн. наук, Е.С. Шелихов канд. техн. наук

Оренбургский государственный университет,
электроэнергетический факультет,
кафедра автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники,
Оренбург, aertpm@mail.ru, shelevgen@mail.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ТЕТРАПОДА

В работе представлена универсальная математическая модель, описывающая одновременное поступательное движение в разные стороны и разворот робота-тетрапода. Приведены методики определения координат перемещения и формирования задания на отклонение сервоприводов. Алгоритмы управления реализованы на основе микроконтроллера серии STM32F407 с использованием операционной системы реального времени FreeRTOS.

Ключевые слова: микроконтроллер, тетрапод, алгоритм управления, кинематика перемещения, математическая модель.

Высокий уровень автоматизации задаёт новые требования к продукции на всех уровнях современного производства, что обусловило значительное развитие микропроцессорных систем и электроники. Так одним из наиболее популярных и распространённых направлений стала робототехника [1].

Современные роботы разрабатываются и внедряются повсеместно для выполнения широкого спектра задач: погрузочных, сортировочных и транспортных работ, диагностики, сборки и ремонта оборудования и многих других. Главным преимуществом таких устройств является способность передвигаться по неровным поверхностям, перешагивать через преграды или подниматься и спускаться по ступеням. Однако их работа осложнена рядом практических задач, которые в большинстве случаев зависят от сложности кинематики и алгоритмов управления [2]. Поэтому на разных этапах проектирования таких устройств необходимо учитывать особенности механизма передвижения и алгоритмов его работы.

Целью данной публикации является решение таких задач автоматизированного управления перемещением тетрапода, как разработка универсальной математической модели и блок-схем программного кода, позволяющих применять её на практике.

Особенностью процесса шагания робота-тетрапода является перемещение центра тяжести тела внутрь фигуры, образованной точками касания опорных ног, для обеспечения статической устойчивости [3]. Лапы робота перемещаются последовательно по одной за цикл. Тогда алгоритм шагания робота для n -го шага можно описать [4,5]:

1) Определение номера j перемещаемой ноги. В простейшем случае возможен последовательный перебор номеров ног, например 4, 1, 3, 2.

2) Определение вектора координат задания центра тяжести тела B_n , совпадающей с центром C_j опорного треугольника, не включающего перемещаемую ногу:

$$B_n = C_j = \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot L_n \cdot J_{e \cdot j}, \quad (1)$$

где L_n - текущие координаты точек касания ног, в осях, не связанных с центром тела робота:

$$L_n = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Je - матрица, представляющая собой разность матрицы единиц J и единичной матрицы E :

$$Je = J - E = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$Je_{\bullet j}$ - j -й столбец матрицы Je .

3) Определение новых координат перемещаемой j -й ноги (заполняется j -й столбец матрицы Ln):

$$L_{\bullet j,n} = M(\Delta\varphi) \cdot R_{def} \cdot E_{\bullet j} + D_{xy}, \quad (4)$$

где $M(\varphi)$ - матрица поворота на угол φ для левосторонней системы координат и положительного направления вращения против часовой стрелки (ось X направлена вперед):

$$M(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}, \quad (5)$$

R_{def} - исходные координаты концов лап (H – расстояние от передних до задних ног, W – расстояние от левых до правых ног). При неподвижном роботе центр тяжести тела находится в начале координат:

$$R_{def} = \begin{bmatrix} H/2 & H/2 & -H/2 & -H/2 \\ W/2 & -W/2 & -W/2 & W/2 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$E_{\bullet j}$ - j -й столбец единичной матрицы,

$\Delta\varphi$ - задание на угол поворота корпуса;

$\underline{D}_{xy}$ - вектор задания перемещений робота по осям:

$$D_{xy} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Координаты точек касания опорных ног остаются без изменений.

4) Расчет вершин безопасного треугольника по координатам опорного треугольника ног с учетом коэффициента масштабирования $\lambda = 0 \dots 1$:

$$T_s = C_j \cdot (1 - \lambda) \cdot e^T + \lambda \cdot L, \quad (8)$$

где e – вектор столбец длиной 4, заполненный единицами.

При вхождении центра тяжести тела внутрь безопасного треугольника разрешается перемещение j -й ноги.

5) Угол поворота тела на n -м шаге:

$$\alpha_{b,n} = \alpha_{b,n-1} + \Delta\varphi / 4, \quad (9)$$

где $\alpha_{b,n-1}$ – предыдущее значение угла поворота тела.

6) Численное решение дифференциальных уравнений движения корпуса, например методом Эйлера 1-го порядка для k -х шагов:

$$\begin{cases} L'_k = L'_{k-1} + \Delta X Y_n; \\ B'_k = B'_{k-1} + \Delta B_n; \\ \alpha'_k = \alpha'_{k-1} + \Delta \alpha_n, \end{cases} \quad (10)$$

где L'_k, B'_k, α'_k – текущие координаты. В начале цикла перемещения они заполняются значениями из предыдущего шага $Ln-1, Bn-1, \alpha n-1$;

$\Delta X Y_n, \Delta B_n, \Delta \alpha_n$ - приращения по координатам.

7) Повторение пунктов с 1 по 6 два раза с последующей корректировкой глобальных осей (сдвиг и разворот) для предотвращения накопления пройденного расстояния и угла разворота тела.

Программное обеспечение системы управления роботом разработано для микроконтроллера серии STM32F407 с использованием операционной системы реального времени FreeRTOS и разделено на две основные задачи:

- сканирование органов управления и определение координат перемещаемой ноги и корпуса (рис. 1а);
- решение ДУ движения точек концов ног, корпуса и формирование заданий на углы отклонения сервоприводов (рис 1б).

Синхронизация между задачами обеспечивается семафором NewLegsMove и глобальной переменной Moving.

При выполнении первой задачи происходит инициализация портов-ввода/вывода и периферийных устройств микроконтроллера (1). После ожидания новых задающих сигналов и при условии отсутствия движения ног по предыдущим (глобальная переменная Moving) (2),(3): рассчитываются функции задатчиков интенсивности по каждому каналу управления для плавного нарастания и уменьшения задающего шага (4); осуществляется выбор следующей переносимой конечности (5); определяются для текущей j -й переносимой ноги новые координаты, задания на угол поворота корпуса, точка перемещения его центра масс, и координаты вершин безопасного треугольника (6).

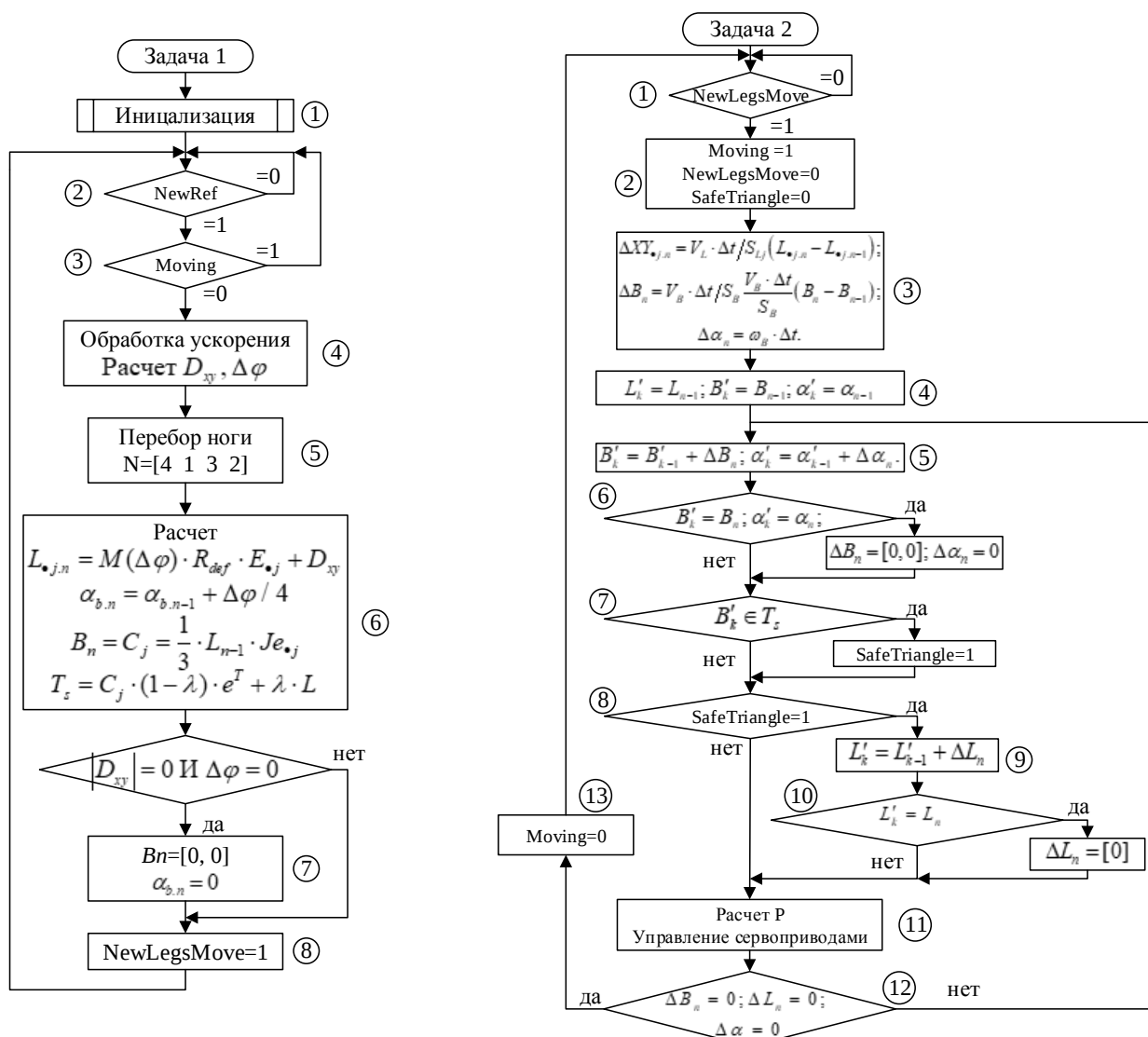


Рис. 1 – Блок-схема программного обеспечения

Если задающие сигналы равны нулю, то позиция корпуса и угол его поворота обнуляются для установки робота в начальное положение (7). Далее освобождается семафор NewLegsMove для запуска второй задачи по перемещению ног тетрапода (8).

Для блокировки расчета нового цикла во второй задаче выставляется глобальная переменная Moving (2). Обнуляется семафор NewLegsMove и флаг достижения безопасной зоны SafeTriangle. Рассчитываются приращения по каждой координате управления (3) и в качестве начальных условий принимаются значения, определенные на предыдущем шаге (4). На каждом этапе цикла численно рассчитываются ДУ движения точек касания (5). Проверяется достижение заданных координат тела робота и приращения перемещений обнуляются (6). Анализируется вхождение центра тела в безопасный треугольник и выставляется флаг SafeTriangle при достижении (7) (перемещение ноги осуществляется после его проверки) (8)-(10). Рассчитывается углы поворота сервоприводов конечностей робота (11). Окончание выполнения второй задачи происходит по условию равенства нулю приращений всех координат управления (12).

Полученная математическая модель в матричной форме позволяет автоматизировать процесс перемещения робота-тетрапода, исключить накопительные ошибки перемещения при шагании и обеспечить статическую устойчивость походки, что важно при проведении подъемно-разгрузочных работ. Полученные блок-схемы позволяют написать программный код для работы устройства на базе любых микроконтроллеров.

Список литературы

1. Yang J. Omni directional walking of legged robots with a failed leg. Mathematical and Computer Modeling. – 2008. – № 47. – pp. 1372-88
2. Игнатьев М.Б., Владимиров С.В., Сапожников В.И., Сергеев М.Б., Кузьмин Д.В., Соловьёв В.Н., Рыжов А.В., Липинский Я.А. Шагающие роботы – проблемы и перспективы. Инноватика и экспертиза, 2016. – С. 128-137.
3. Брискин Е., Жога В., Малолетов А., Чернышов В. Динамика и управление движением шагающих машин с цикловыми движителями. – 2009. – 189 с.
4. Греков Э.Л., Шелихов Е.С. Математическая модель кинематики перемещения гексапода для разработки системы управления. Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – №5. – С. 50 – 53.
5. Греков Э.Л., Шелихов Е.С. Решение задач автоматизированного управления перемещением Гексапода на базе микроконтроллера STM. Автоматизация в промышленности. – 2020. – №6. – С. 8 – 12.

05.13.06

М.Л. Хазиев, Е.В. Зубков канд. техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал)
 ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
 Набережные Челны, marathaziev@yandex.ru

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СЕТИ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ТРУБООТРЕЗНОГО СТАНКА–АВТОМАТА

В работе представлена методика обучения гибридной нейро-нечеткой сети получения коэффициентов регулирования ПИ-регулятора гидравлического привода станка-автомата отрезки труб и обточки фасок.

Ключевые слова: станок-автомат, гидравлический привод, нейро-нечеткая сеть, ПИ-регулирование.

Ранее в работе [1] была описана общая структура гибридной сети, для ускорения работы сети вычисления коэффициентов регулирования число слоев рекомендуется сократить до четырех за счет передачи функциональной задачи получения нормализованных правил на второй слой и обязательного использования базы правил после многократного обучения сети.

В первом слое выполняется раздельная фазификация каждой переменной x_i ($i=1,2, \dots, N$), определяя значение коэффициента принадлежности $\mu_A^{(k)}(x_i)$ для каждого k -го правила вывода в соответствии с применяемой функцией фазификации.

В задачу первого слоя входит расчет степени принадлежности входных данных к соответствующим нечетким множествам.

Первый слой сети состоит из двух подслоев – этапов определения принадлежности входного x_i сигнала к k -му нечеткому множеству A_{ik} . Первый подслой имеет два нейрона и каждый из них имеет сигмоидальную функцию активации [2]. На рисунке 1 показана схема работы первого слоя сети.

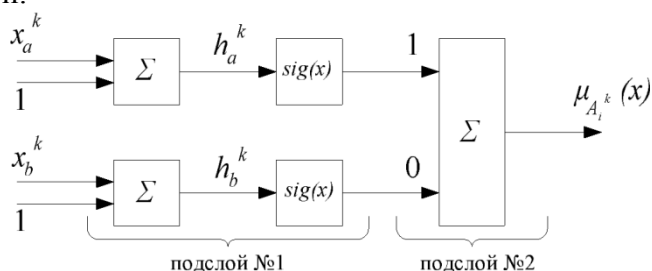


Рис. 1 – Структура первого слоя гибридной сети

Вместе с входным сигналом на входы сумматоров подаются смещения в виде весов x_a^k и x_b^k . Веса $h_a^{(k)}$ и $h_b^{(k)}$ предполагают масштабирование сигналов. Так как функционирование блоков, обозначенных как «sig», описывается выражением

$$y(x) = f(x) = \frac{f_1}{f_2}, \quad (1)$$

то на выходе первого подслоя имеем:

$$f_a^{(k)}(x) = \frac{1}{1 + e^{-h_a^{(k)} \cdot (x + x_a^k)}}, \quad \text{и} \quad f_b^{(k)}(x) = \frac{1}{1 + e^{-h_b^{(k)} \cdot (x + x_b^k)}}. \quad (2)$$

Параметрами, модифицирующими размещение центров и кривизну двух функций принадлежности относительно входного сигнала x , являются веса связей весов x_a^k и x_b^k , а также $h_a^{(k)}$ и $h_b^{(k)}$.

Во второй подслое входит один активный нейрон с линейной функцией активации, объединяющий функции сигмоидального типа из предыдущего подслоя, и на их основе создает функцию принадлежности нечеткого множества

$$\mu_{A^k}(x) = f_a^{(k)}(x) - f_b^{(k)}(x). \quad (3)$$

Графически эта объединенная результирующая функция принадлежности будет представлять собой кривую Гаусса.

В нечетких сетях разумно задавать Гаусс – функцию в виде алгебраического произведения, из которого следует, что для k -го правила вывода

$$\mu_A^{(k)}(x_i) = \prod_{j=1}^N \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i - c_j^{(k)}}{\sigma_j^{(k)}} \right)^{2b_j^{(k)}}}. \quad (4)$$

Параметры в (4) $c_j(k)$, $\sigma_j(k)$, $b_j(k)$, требуют дальнейшей адаптации при обучении [3].

На выходе первого слоя сети получим объединенную результирующую функцию принадлежности, которая будет характеризоваться двумя векторами весов:

$$x^{(k)} = [x_z^{(k)}]^T [x_b^{(k)}] \quad \text{и} \quad h^{(k)} = [h_a^{(k)}]^T [h_b^{(k)}]. \quad (5)$$

Соответственно, в гибридной сети условие нестрогих правил $IF (x_i \in A_i)$ реализуется введением нечеткости, которая представляется обобщенной Гаусс-функцией отдельно для каждой переменной x_i :

$$\mu_A(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i - c_i}{\sigma_i} \right)^{2b_i}}, \quad (6)$$

где $\mu_A(x_i)$ представляет собой оператор A_i , определяющий принадлежность параметра к нечеткому множеству.

Второй уровень гибридной сети выполняет объединение отдельных переменных x_i , определяя, для вектора x (уровень активизации правила вывода), итоговое значение коэффициента принадлежности $w_k = \mu_A^{(k)}(x)$ в соответствии с формулой. Данный слой состоит из нейронов И-типа моделирующих логическую связку произведением: $w_i = \mu_{A_i}(x_1) \cdot \mu_{B_i}(x_2)$. Для И-нейрона с двумя входами справедлива формула для выходного сигнала [4]

$$Y = T[S(w_1, x_1), S(w_2, x_2)], \quad (7)$$

где $S(w, x)$ - t-конорма, произведения веса w на вход x , $T(w, x)$ - t-норма сложения веса w на вход x .

Радиальная базисная функция одной переменной (функция Гаусса) используется в качестве функции активации значений для таких нейронов:

$$f(x) = e^{-b \cdot (x^2 - a)} \quad (8)$$

Данный слой определяет степень равенства значений входных сигналов условиям правил. Выходы слоя есть нормированные степени активности правил. Связи с предыдущим уровнем сети устанавливаются с учетом возможности получения всех возможных комбинаций функций принадлежности обоих входных сигналов.

Если входное пространство значений R равномерно разделено $N1$ функциями принадлежности для сигнала $x1$ и, соответственно, $N2$ функциями принадлежности для сигнала $x2$. Другими словами, определим $N1$ нечетких множеств для первого входного сигнала: $A_1^1, \dots, A_1^{N1}$ и $N2$ нечетких множеств для сигнала: $A_2^1, \dots, A_2^{N2}$. Тогда получим $N1 \times N2$ условий нечетких правил следующего вида:

$$R(N1, N2) : \text{IF } (x1 \in A1N1 \text{ AND } x2 \in A2 N2) \text{ THEN } y=f(x1, x2, \dots, xN). \quad (9)$$

Степень равенства условию каждого правила определяется как нормированное произведение значений принадлежности входных переменных к данным нечетким множествам.

Третий слой сети - генератор функции, рассчитывающий значения:

$$y_k(x) = p_{k0} + \sum_{j=1}^N p_{kj} \cdot x_j \quad (10)$$

В слое производится умножение сигналов $y_k(x)$ на значения w_k , сформированные на предыдущем слое (рисунок 2). Это параметрический слой, в котором линейные веса p_{kj} для $k = 1, 2, \dots, M$ и $j = 1, 2, \dots, N$ подлежат адаптации.

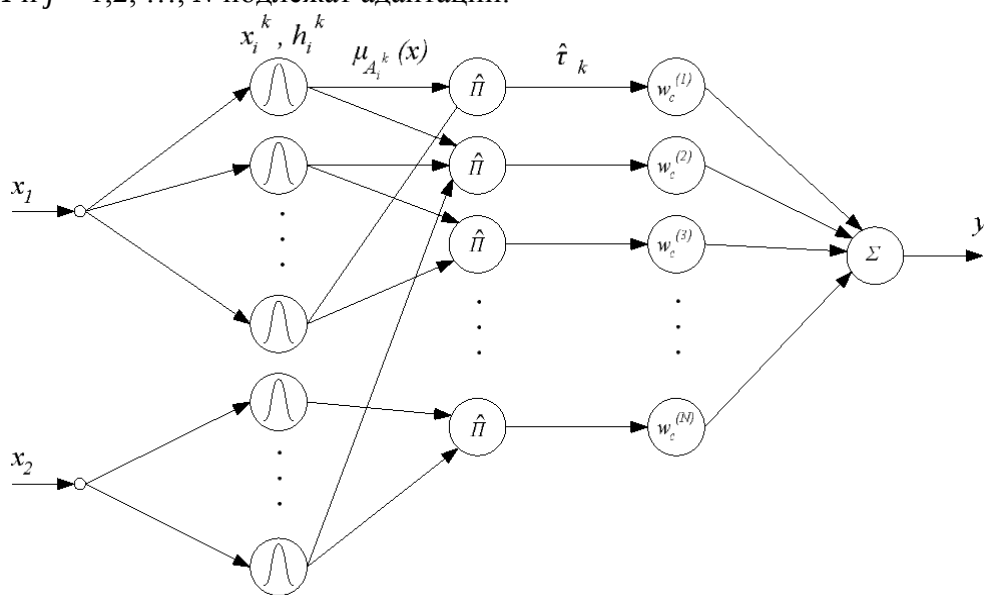


Рис. 2 – Гибридная ANFIS-сеть блока коррекции ПИ-регулятора

Третий слой реализует этап дефазификации. Сигналом на его выходе выступает сумма произведений весов $w_c^{(k)}$ и нормированных степеней активности правил $\hat{t}_k$. Веса связей, обозначенные символом $w_c^{(k)}$, соответствуют константе $c(k)$ в правилах вида (11), которые должны быть с нулевыми начальными значениями, что отражает факт отсутствия заключений до начала обучения сети. Таким образом, модификация этих весов в процессе обучения равнозначна построению правил.

Нечеткий вывод можно представить следующей совокупностью нечетких правил

$$R(k) : \text{IF } (x1 \in A1k \text{ AND } \dots \text{ } xn \in AN k) \text{ THEN } y=c(k). \quad (11)$$

для $k=1, \dots, N$, где $R(k)$ обозначает k -тое нечеткое правило; $A_1^k, \dots, A_N^k$ – это нечеткие множества из компонентов условий; $c(k)$ – константа; N – количество правил. С целью определения количественного значения управляющего воздействия y можно применить любой метод дефазификации (метод Мамдани или Сугенно).

Четвертый слой сети, имеет выходной суммирующий нейрон, внутри которого веса из третьего слоя подвергаются нормализации. Выходной сигнал $y(x)$ определяется как:

$$\bar{y} = \sum_{k=1}^N \hat{\tau}_k \cdot c^{(k)}, \quad (12)$$

где выходное значение $\bar{y}$ в нашем случае это или пропорциональный коэффициент K_p или интегральная составляющая T_i (они являются результатом работы двух отдельных нейро-нечетких сетей, но обучающие значения для функционирования сетей не отличаются).

Список литературы

1. *Хазиев М.Л., Зубков Е.В.* Способ регулирования гидравлического привода трубоотрезного станка-автомата // "Научно-технический вестник Поволжья" №7 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – С.18-20.
2. *Хазиев М.Л., Хазиев Э.Л.* Интеллектуальная система диагностики состояния гидравлического привода автомата отрезки труб и обточки фасок // "Современные наукоемкие технологии" 2018 – №7, стр. 131-135; <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37092>
3. *Khaziev M.L., Khaziev E.L.* Intelligent diagnostic system for hydraulic actuator // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. – 2019. – A.N. 8742779. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8742779>

05.13.06

Д.А. Яковлев

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова,
инженерно-технологический институт,
кафедра программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем,
Абакан, jakovlev_d_al@mail.ru

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ БПЛА С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

В работе представлены результаты изучения особенностей стабилизации движения беспилотных летательных аппаратов при формировании управления с привлечением методов и средств группового анализа дифференциальных уравнений. Описываемый объект управления рассматривается на нелинейном многообразии, сформирована упрощённая математическая модель для получения групп симметрии.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, групповой анализ, стабилизация.

Геометрический подход позволяет с гораздо более широких позиций рассмотреть фундаментальные проблемы теории управления, такие, как устойчивость, управляемость, наблюдаемость. Математическое описание объектов управления зачастую имеет сложный вид, что обуславливает невозможность интегрирования в квадратурах соответствующей системы дифференциальных уравнений, но, при этом, получение определённой группы симметрий позволяет исследовать устойчивость получаемых решений [1,5].

Зададим основные понятия [4,5,6]. Пусть M – дифференцируемое (класс C^∞) n -мерное риманово многообразие с метрикой g_{ij} , набор карт U_α, φ_α составляет атлас на M , $x_\alpha(p)$ – локальные координаты точки в карте. Пусть на многообразии M действует локальная однопараметрическая группа диффеоморфизмов, для которой существует векторное поле, в общем случае зависящее от параметра t :

$$h_t: M \rightarrow M, t \geq t_0, h_{t_0} = id$$

Соответствующее векторное поле:

$$\frac{dh_t(q)}{dt} = v^{(t)}(h_t(q)), h_{t_0}(q) = q$$

Решение уравнения также обозначим через $q_t \equiv h_t(q)$, в локальных координатах уравнение будет иметь вид

$$\frac{dw_t}{dt} = v_*^{(t)}(q_t)w_t, w_t|_{t=t_0} = w_0$$

Здесь $v_*^{(t)}: T_{q_t}M \rightarrow T_{q_t}M$, $w_t \in T_{q_t}M$. В локальных координатах (x, y) касательно расслоения ТМ уравнение в локальных координатах имеет вид

$$\frac{dy_t^i}{dt} = \frac{\partial v^i(t, x_t)}{\partial x_t^j} y_t^j, y_t^j|_{t=t_0} = y^j(w_0)$$

При фиксированном решении q_t системы дифференциальных уравнений вектору $w_0 \in T_{q_0}M$, можно сопоставить вещественное число – показатель экспоненциального роста $\chi(w_0) \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \ln \|w_t\|$, где w_t это решение линейной задачи, $\|w_t\| \equiv \sqrt{(w_t, w_t)}$ это норма вектора $w_t \in T_{q_t}M$.

Ввиду того, что два решения уравнения в локальных координатах, которые будут иметь различные показатели, линейно независимы [3], то каждой траектории q_t сопоставляется не более n различных показателей экспоненциального роста. Наиболее важную роль в теории устойчивости систем автоматического управления играет максимальный (наибольший) показатель $\lambda \equiv \sup_{w_0 \in T_{q_0}M} (\chi(w_0))$. Согласно теоремам Ляпунова траектория устойчива, если

старший показатель отрицателен $\lambda < 0$ и не устойчива, если он положителен $\lambda > 0$, при $\lambda = 0$ траектория может быть как устойчивой, так и не устойчивой. Уточним, что отрицательность генерального показателя является необходимым условием устойчивости.

Для дальнейшего [3,6] примем, что уравнение в локальных координатах допускает s-параметрическую группу симметрии G, причем группа G действует на многообразии M транзитивно, g_a - элемент группы G, лежащий в окрестности единицы группы $g_a \in V_e \subset G$, $a = (a^1, \dots, a^s)$ - локальные координаты в окрестности V_e , $g_a|_{a=0} = e$. Действие элемента группы g_a на точку многообразия q обозначим через $g_a^{(t)}(q)$, действие зависит от параметра t, в силу чего параметр должен быть указан в явном виде. По определению группы симметрии:

$$g_a^{(t)} \circ h_t = h_t \circ g_a^{(t)}$$

Обозначим через $\xi_\mu^{(t)}$ генераторы группы преобразований

$$\xi_\mu^{(t)} \psi(q) \equiv \frac{\partial}{\partial a^\mu} \psi(g_a^{(t)}(q))|_{a=0}$$

Где $\psi(q)$ это производная бесконечно дифференцируемая функция на многообразии M. В локальных координатах получим

$$\xi_\mu^{(t)} = \xi_\mu^i(t, x) \partial_{x^i}, \quad \xi_\mu^i(t, x) \equiv \frac{\partial}{\partial a^\mu} (g_a^{(t)}(q))^i|_{a=0}, \quad \mu = 1, \dots, s$$

Условие однородности многообразия M эквивалентно следующему равенству

$$\text{rank} \|\xi_\mu^i(t_0, x)\| = n$$

Дифференцируя уравнение в локальных координатах по переменной a^μ в точке $a = 0$ и по переменной t при $t = t_0$, получим инфинитезимальный аналог этого соотношения.

$$\frac{\partial \xi_\mu^{(t)}}{\partial t} = [\xi_\mu^{(t)}, v^{(t)}]$$

Это соотношение является определяющим для нахождения алгебры симметрии изначального уравнения [2,6].

Введем обозначение $q_t(a) = q_a^{(t)}(h_t(q))$. Из определения группы симметрии следует [3,5], что если q_t - решение изначального уравнения с начальным значением $q_t|_{t=t_0} = q$, то $q_t(a)$ - также решение этого уравнения с начальным условием $q_t(a)|_{t=t_0} = q(a) = g_a^{(t_0)}(q)$, таким образом:

$$\frac{d}{dt} q_t(a) = v^{(t)}(q_t(a)), \quad q_{t_0}(a) = g_a^{(t_0)}(q)$$

Дифференцируя по a^μ в точке $a = 0$ последнее уравнение, получим

$$\frac{d}{dt} \xi_\mu^{(t)}(q_t) = v_*^{(t)}(q_t) \xi_\mu^{(t)}(q_t)$$

что непосредственно следует также и из инфинитезимальной формы первого свойства группы симметрий. Таким образом, векторы $\xi_\mu^{(t)}(q_t)$ являются решениями системы линейных уравнений и ввиду транзитивности действия группы порождают всё рассматриваемое касательное пространство $T_{q_t}M$. Другими словами, решение уравнения в локальных координатах может быть представлено в виде

$$w_t = \sum_\mu C^\mu \xi_\mu^{(t)}(q_t), \quad C^\mu = \text{const}$$

И, в частности, старший показатель может быть вычислен по формуле

$$\lambda \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \ln(\max_t \|\xi_\mu^{(t)}(q_t)\|)$$

Теперь рассмотрим систему уравнений, соответствующую двигателю постоянного тока с независимым возбуждением

$$\begin{aligned} u_d &= \frac{R_d}{K_\Phi} (1 + T_{вп}) \Phi \\ u_{я} &= R_{я} (1 + T_{яп}) i_{я} + k \Phi \omega \\ M &= k \Phi i_{я} \end{aligned}$$

Где $p = \frac{d}{dt}$, T_d – электромагнитная постоянная времени обмотки возбуждения, $T_{\text{я}}$ – электромагнитная постоянная времени цепи якоря, $K_{\text{ф}}$ – коэффициент, соответствующий линейной части кривой намагничивания двигателя.

Отметим, что представления система может быть отнесена к классу аффинных систем, то есть, систем, линейных по управлению. Применим к описанному объекту управления рассмотренный выше алгоритм определения необходимого условия устойчивости.

Такая система допускает алгебру Ли симметрии $sl(2)$ со следующими генераторами

$$\begin{aligned}\xi_1^{(t)} &= u_{\text{я}} \partial_{u_d} + i_{\text{я}} u_{\text{я}} \partial_{u_{\text{я}}} + (u_{\text{я}}^2 \varphi(u_d) + \Phi^2/3) \partial_i \\ \xi_2^{(t)} &= t u_{\text{я}} \partial_{u_d} + (1 + t i_{\text{я}}) u_{\text{я}} \partial_{u_{\text{я}}} + \left(t \left(u_{\text{я}}^2 \varphi(u_d) + \frac{\Phi^2}{3} \right) + i_{\text{я}} \right) \partial_i \\ \xi_3^{(t)} &= t^2 u_{\text{я}} \partial_{u_d} + t(1 + t i_{\text{я}}) u_{\text{я}} \partial_{u_{\text{я}}} + \left(t^2 \left(u_{\text{я}}^2 \varphi(u_d) + \frac{\Phi^2}{3} \right) + 3 t i_{\text{я}} + 1 \right) \partial_i\end{aligned}$$

Ввиду автономности системы и транзитивности действия группы $sl(2)$, можно принять $t_0 = 0$. Отметим, что в данной системе плоскость переменных по третьему уравнению равна нулю, поэтому либо вся траектория лежит в плоскости, либо вообще с ней не пересекается.

Во втором случае, функции экспоненциального роста растут степенным образом и, так как, траектории $u_{\text{я}}, u_d$ лежат в ограниченной области, то, согласно приведённой выше теореме, первый старший показатель траектории рассматриваемой системы отрицателен, что соответствует необходимому условию устойчивости.

Заметим, что подобный результат может быть получен при работе с объектами управления, математическое описание обладает нелинейными, нестационарными свойствами [1,5]. При этом, стандартная практика упрощения математического описания (редуцирования уравнений) может привести к ситуации, когда рассматриваемая система уравнений уже не будет допускать никакой группы симметрий.

Таким образом, в работе показано, что из разрешаемой системой уравнений группы симметрий возможно сделать вывод о условиях устойчивости электромеханической системы на примере двигателя постоянного тока. Стоит отметить, что, вместе с критериями устойчивости, исходя из группы симметрий, можно сделать выводы и о других свойствах системы, также осуществить синтез регуляторов для нелинейных систем управления, проблематика анализа и синтеза которых широко известны.

Такой подход позволит реализовать систем управления беспилотных летательных аппаратов с учётом особенностей математического описания, таких как нестационарность, нелинейность, что, свою очередь, обуславливает более эффективное использование энергоресурсов.

Список литературы

1. Андреев Ю.Н. Дифференциально геометрические методы в теории управления // Автоматика и телемеханика. – 1982. - №10 – С.5-46.
2. Арнольд В.И. Математические основы классической механики. - М. Наука, 1970 – С. 432.
3. Далецкий Ю.Л., Крейн М.Г. Устойчивость дифференциальных уравнений в банаховом пространстве. – М. Наука, 1970. С. 534
4. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. - М. Наука, 1965. – С.412
5. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы современной теории автоматического управления. – Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. – С.19-92
6. Широков И.В. Исследование устойчивости решений дифференциальных уравнений, допускающих транзитивную группу симметрий // Известия высших -учебных заведений. – 1999. - №3 – С.57-63

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)**

05.13.18

А.В. Волков канд. техн. наук, С.А. Шиков, О.О. Темаева

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва,
кафедра информационной безопасности и сервиса,
Саранск, elsoldador@rambler.ru

**АЛГОРИТМ ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ
ПУТЕМ ВЫДЕЛЕНИЯ ТРЕНДОВОЙ, ПЕРИОДИЧЕСКОЙ И
СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

В данной статье рассмотрен алгоритм контроля натриевой лампы высокого давления на основе выделения трендовой, периодической и случайной составляющих временных рядов. Приводится алгоритм долговременного контроля на основе статистической модели временного ряда и сингулярного разложения.

Ключевые слова: *временной ряд, траекторная матрица, сингулярное разложение.*

Контроль качества изделий электронной техники является неотъемлемой процедурой жизненного цикла [1]. В работе [2] были рассмотрены особенности контроля качества изделий электронной техники, даны рекомендации по формированию исходных данных для анализа и их обработке.

Одним из эффективных решений задач повышения качества в промышленности, социальной сфере и жилищно-коммунальном хозяйстве является использование комплексных автоматизированных систем сбора и анализа данных [3].

Возможность собирать данные из нескольких первичных источников и интегрировать их в одном общем хранилище предоставляет использование консолидации данных в комплексных системах. Такое хранилище может быть использовано для подготовки отчетности и проведения анализа энергопотребления или как источник данных для других приложений. Преимуществом консолидации данных является возможность верификации и трансформации значительных объемов данных в процессе их передачи от источника к хранилищу.

Использование любого из видов контроля зависит в первую очередь от условий проведения контроля, стоящих задач и себестоимости проведения контроля для конкретных моделей производственных процессов [4]. Статистический контроль по альтернативному признаку является наиболее общим. Далее в статье будет рассматриваться реализация процедур входного многоступенчатого статистического контроля качества по альтернативному признаку.

Алгоритм долговременного контроля путем выделения трендовой, периодической и случайной составляющих временных рядов основан на сингулярном разложении временных рядов.

Чтобы вычислить тренд и периодические компоненты, мы используем метод сингулярного разложения временных рядов. Ф. И. Александров, Н. Е. Голяндина в [5] рассматривают задачу прогнозирования временных рядов с использованием метода Гусеница-SSA. А именно, исследуется многомерное обобщение метода для одновременного предсказания системы временных рядов.

Отличительной особенностью метода является то, что он не требует предварительной спецификации модели серии, но позволяет разложить временные ряды на интерпретируемые компоненты, такие как тренд (в частности, линейный или экспоненциальный),

периодические компоненты и шум. Нет необходимости заранее знать параметрический вид тренда, а также наличие колебательных компонентов и их периодов.

Технической основой метода является уникальная декомпозиция траекторий матрицы, столбцы которой представляют собой векторы интегрирования - отрезки серии длины L , основной параметр метода, называемый длиной окна. Анализ сроков разложения в единственном числе позволяет сначала классифицировать их как принадлежащие одному из компонентов ряда и выделить этот компонент.

Важным направлением в развитии метода SSA как метода анализа временных рядов является его обобщение для анализа многомерных временных рядов [6]. Конечно, не всегда возможно точно отделить компоненты ряда (например, отделить сигнал от шума) – в этом случае мы должны говорить о приблизительной отделимости. Численные эксперименты подтверждают, что если ряды имеют сходную структуру (например, они включают периодический компонент с одинаковым периодом), то MSSA позволяет нам построить более точное последовательное разложение по сравнению с использованием одномерного SSA для ряда отдельно. Известно, что любой ряд, являющийся суммой произведений полиномов, экспонент и гармоник, можно задать с помощью линейной рекуррентной формулы и начальных значений. Метод SSA позволяет находить коэффициенты линейной рекуррентной формулы, управляющей рядом (или его составляющей) и, следовательно, продолжить ряд [6]. В случае прямых конечного ряда мы можем сказать, что продолжим ряд, построив последовательность векторов, находящихся в данном подпространстве.

В случае многомерного прогноза на основе SSA используются аналогичные идеи. Тем не менее, есть различия. Концепция конечного многомерного классификационного ряда является более сложной. Однако при прогнозировании реального ряда, когда это только приблизительное продолжение (т. е. прогнозирование), эти два метода дают разные результаты.

Описание алгоритма MSSA, многомерного обобщения метода SSA. Пусть $G_N = (g_0, \dots, g_{N-1})$ ряд длины N . Процедура вложения есть преобразование исходного одномерного ряда в последовательность L -мерных векторов. Эти вектора, называемые векторами L -вложения, образуют траекторную матрицу временного ряда GN . Записывая матрицу более подробно, заметим, что матрица Z имеет одинаковые элементы на диагонали (1):

$$z = (z_{jk})_{j,k=1}^{LK} = \begin{pmatrix} g_0 & g_{K-1} \\ g_{L-1} & g_{N-1} \end{pmatrix} \quad (1)$$

На последнем шаге базового алгоритма каждая матрица сгруппированного разложения переводится в систему новых рядов длины N . Каждая матрица в сгруппированном разложении (1) разбивается на последовательно расположенные матрицы соответствующего размера.

После этого для каждой из матриц, производится диагональное усреднение по формуле (2), которое переводит ее в ряд.

$$h_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{j=1}^{k+1} z_{j,k-j+2}, 0 \leq k < L^* - 1, \\ \frac{1}{L^*} \sum_{j=1}^{L^*} z_{j,k-j+2}, L^* - 1 \leq k < K^*, \\ \frac{1}{N-k} \sum_{j=k-K^*+2}^{N-K^*+1} z_{j,k-j+2}, K^* \leq k < N. \end{cases} \quad (2)$$

В результате каждое слагаемое в правой части (3) порождает многомерный временной ряд – восстановленную аддитивную компоненту исходного ряда .

$$X^{(1)} = \sum_{k=1}^d U_k U_k^T X^{(1)}, \dots, X^{(s)} = \sum_{k=1}^d U_k U_k^T X^{(s)} \quad (3)$$

Таким образом, результатом применения алгоритма SSA как к одномерному ($s=1$), так и к многомерному ряду становится его представление в виде суммы m рядов. Параметрами метода являются длина окна L и способ группировки элементарных матриц. Для случая $s=1$ описанный выше алгоритм полностью совпадает с базовым алгоритмом SSA для анализа одномерных временных рядов. Исходя из вышесказанного, получим алгоритм работы с архивными данными, включающий в себя следующие этапы.

1. Чтение файла и архива.
2. Разбиение файла на участки равной длины.
3. Определение длины вложения, равной длине заданного участка.
4. Проведение сингулярного разложения сформированного файла.
5. Выделение тренда.
6. Выделение периодической составляющей.
7. Выделение случайной составляющей.

Описанное выше SVD-разложение реализовано в программе в среде MATLAB. Результаты работы программы представлены на рисунке 1.

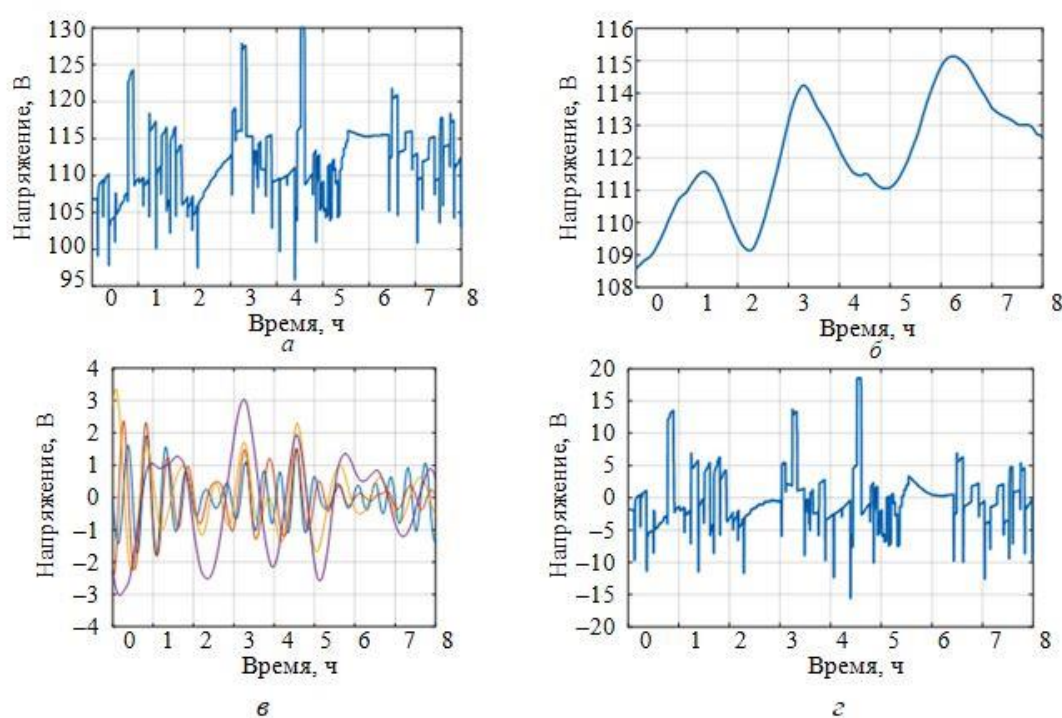


Рис. 1 – Графики: исходный (а), трендовый (б), периодических (в) и случайных (г) составляющих

Разработанный алгоритм контроля натриевых ламп высокого давления на основе статистической модели временного ряда, выделения трендовой и периодической составляющих, построения модели случайной составляющей временного ряда. Контроль параметров ламп по разработанным алгоритмам позволил исключить влияние человеческого фактора на его результаты, повысил его точность и достоверность в среднем на 12 %, обеспечил архивирование и регистрацию результатов контроля, повысил культуру производства.

Список литературы

1. Маркелов В.В. Управление качеством электронных средств : учеб.пособие / В.В. Маркелов, А.С. Кабаева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 272 с.
2. Маркелов В.В. Автоматизация методов входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники в среде MATLAB / В.В. Маркелов, А.И. Власов, Д.Е. Зотьева // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3. – С. 38–44.
3. Ицкович Э.Л. Основные положения рационального построения систем автоматизации энергообъектов разных классов / Э.Л. Ицкович // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2013. – № 7. – С. 2–9.
4. Адамова А.А. Моделирование бизнес-процесса корпорации на примере электронных средств / А.А. Адамова, А.В. Черняев // Проектирование и технология электронных средств. – 2002. – № 5. – С. 45–49.
5. Александров Ф.И. Автоматизация выделения трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках метода «Гусеница»-SSA / Ф.И. Александров, Н.Э. Голяндина // Математика в приложениях. – 2004. – С. 54–61.
6. Golyandina N. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques / N. Golyandina, V. Nekrutkin, A. Zhigljavsky. – Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2001. – 305 p.

05.13.18

И.Ф. Киссельман канд. техн. наук, Д.Н. Кучев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал,
кафедра Технологии и механизации производств,
Березники, tmp@bf.pstu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В АППАРАТЕ СО ВЗВЕШЕННЫМ ТРАНСПОРТИРУЕМЫМ СЛОЕМ

В статье рассматривается новый вид аппарата для сушки хлорида калия. Представлены результаты моделирования гидродинамики в аппарате со взвешенным транспортируемым слоем с использованием вычислительных средств Solidworks Flow Simulation. Исследование демонстрирует поведение газового потока и частиц в аппарате.

Ключевые слова: *аппарат со взвешенным транспортируемым слоем, моделирование гидродинамики, время пребывания.*

Важным этапом технологического процесса при обогащении калийных удобрений является сушка. Чаще всего сушка является заключительным этапом и позволяет определить основные показатели всего технологического процесса [1]. Использование неверных режимов или неподходящих конструкций аппаратов при сушке хлорида калия может привести к получению продукта с нежелательными показателями. Особо важно строго соблюдать правильные режимы сушки и применять экономичные и подходящие конструкции сушилок. Чтобы увеличить эффективность производства необходимо получить такой процесс сушки, который позволит снизить энергетические расходы. Создание новых видов экономичных и эффективных сушилок, является важной научно-технической задачей. Хлорид калия во время удаления влаги может растрескиваться и истираться, т.к. имеется длительный контакт с теплоносителем. Однако важным аспектом является время нахождения материала в аппарате. Оно должно быть достаточным для сушки, но не иметь больших отклонений от среднего значения. В худшем случае станет происходить перегрев и растрескивание одной части продукта, а иная доля продукта остается невысушенной, в итоге - произойдет смещение в худшую сторону качеств удобрения, в частности, увеличение пылимости и слеживаемости, а также понижение производительности применения теплоты при сушке.

В настоящее время для сушки калийных удобрений в отечественной практике наиболее широко применяются аппараты с псевдооживленным слоем зернистого материала, барабанные сушилки и пневматические трубы-сушилки. Представленные аппараты имеют большой ряд недостатков, которые влияют на качество выпускаемой продукции и требуют значительных затрат при их обслуживании.

Новым направлением в технике сушки зернистых материалов является использование аппаратов со взвешенным транспортируемым слоем (АВТС). В отличие от ныне используемых сушилок – это меньшие площади газораспределительного устройства, более активный гидродинамический режим, небольшие затраты на создание требуемой скорости теплоносителя и при этом не происходит истирание продукта, а также сравнительно небольшие геометрические размеры. Целью настоящей работы является моделирование гидродинамики потока и частиц в АВТС при помощи вычислительных средств Solidworks Flow Simulation.

Аппарат ВТС представлен на рис.1, который имеет камеру для сушки материала, где в нижней части располагается с газораспределительное устройство, куда поступает исходный материал для сушки. Ожижающий агент поступает в нижнюю часть аппарата.



Рис. 1 – Схема АВТС

Высокоскоростные струи газового теплоносителя, выходящие из газораспределительного устройства, ожижают и транспортируют высушиваемые частицы вверх, в рабочую камеру аппарата, где происходит процесс интенсивной сушки. Затем готовый продукт попадает в сепарационную зону, где отделяется от отработанного теплоносителя. Исходный материал загружается на газораспределительное устройство, где он вытесняется вверх равномерно [2].

Вычислительные средства на ЭВМ позволяют моделировать гидродинамические процессы и решать множество задач, связанных с различными особенностями процессов химической технологии. На данный момент существует несколько программных комплексов, один из которых Solidworks Flow Simulation. При решении гидродинамических задач, исходными данными являются: 1) характеристики газового потока (физические свойства); 2) скорость газового потока; 3) характеристики материала ожижаемого газовым потоком (физические свойства); 4) скорость материала, выходящего из шнекового канала. В свою очередь, исходные данные представляют собой граничные условия при решении гидродинамической задачи по определению таких параметров как: 1) скорость газового потока в аппарате; 2) скорость движения частиц; 3) длина траектории частиц; 4) предельное время пребывания частиц в зависимости от длины траектории частиц.

АВТС работает при скоростях ожижающего агента $(0,7-0,9) \cdot v_{\text{вит}}$ среднего диаметра частицы. Используется диапазон газораспределительных устройств с живым сечением 10-20% и диаметром отверстий от 1 до 3 мм. Нагрузка по материалу варьирует в диапазоне 175-275 кг/ч. В данном исследовании было принято: нагрузка по материалу составляет постоянное значение $G = 175$ кг/ч и живое сечение газораспределительной решётки $\phi = 10\%$, диаметр отверстий $d = 1$ мм, однако изменяются скорости газового потока $v = 2,05-2,64$ м/с. В ходе моделирования гидродинамики в аппарате со взвешанным транспортируемым слоем определялись гидродинамические характеристики представленные ниже.

Эпюры изменения скоростей газового потока при начальной скорости потока 2,05, 2,35, 2,64 м/с представлены на рис.3. При скорости газового потока 2,05 м/с видно, что перед отверстиями скорость потока равна 13 м/с, в отверстиях решётки скорость приближается к максимальному значению и составляет 34 м/с, где она постепенно снижается до 22 м/с. Справа на эпюре наблюдается застойная зона в области шнекового канала.

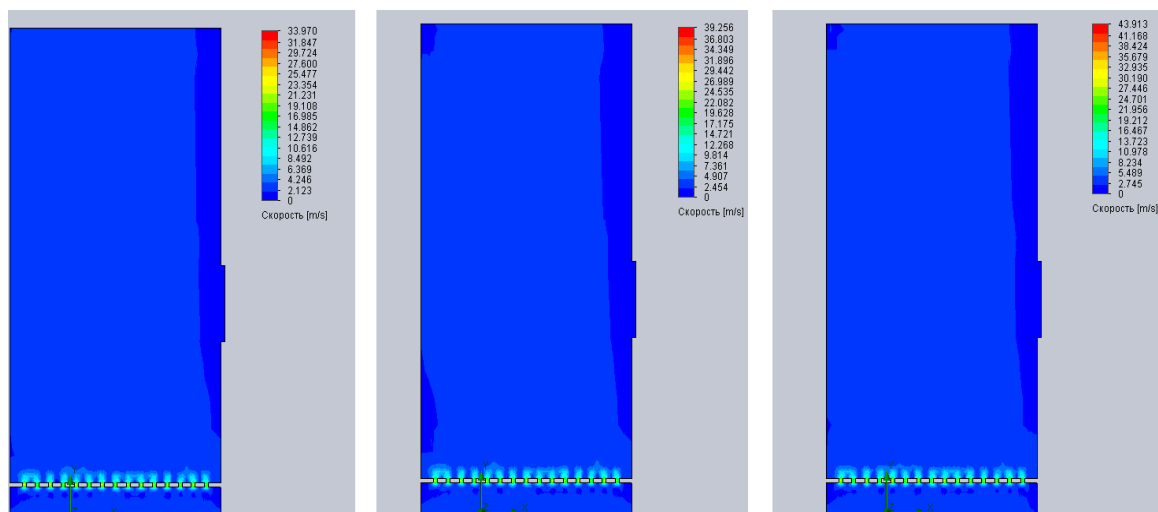


Рис. 2 - Эпюры изменения скоростей газового потока соответственно при начальной скорости 2,05, 2,35, 2,64 м/с.

При скорости газового потока 2,35 м/с перед отверстиями и над ними скорость потока равна 15 м/с, в отверстиях решётки скорость составляет 40 м/с, где она снижается до 30 м/с. Однако при скорости ожижающего агента 2,64 м/с заметно, что перед отверстиями скорость потока равна 17 м/с, в отверстиях решётки скорость приближается к максимальному значению и составляет 44 м/с, где она плавно снижается до 32 м/с. Размер застойной зоны имеет меньшие размеры в сравнении с предыдущими эпюрами потока. Полученные результаты позволяют аналитически определить начальную скорость частиц на газораспределительном устройстве и скорость частиц на различных участках аппарата, при разных скоростных режимах аппарата.

При нагрузке 175 кг/ч и различных скоростях были получены следующие эпюры изменения скоростей частиц, представленные на рис. 4. При начальной скорости потока равной $v = 2,05$ м/с, частицы скапливаются на решётке где происходит их движение со скоростями 0,124 – 1,491 м/с. Материал из шнекового канала под силой тяжести устремляется на газораспределительную решётку, где материал ожидается газовым потоком. Скорость витания частицы составляет $v_{\text{вит}} = 2,94$ м/с. Скорость газового потока снижается ближе к стенкам аппарата, где образуются застойные зоны. Частицы перемещаются к центру решётки, где постепенно увеличивают свою скорость. В центре камеры имеется скоростная зона, где частицы приобретают наибольшую скорость. Но зона этой скорости мала, поэтому на решётке наблюдается интенсивное продольное перемешивание.

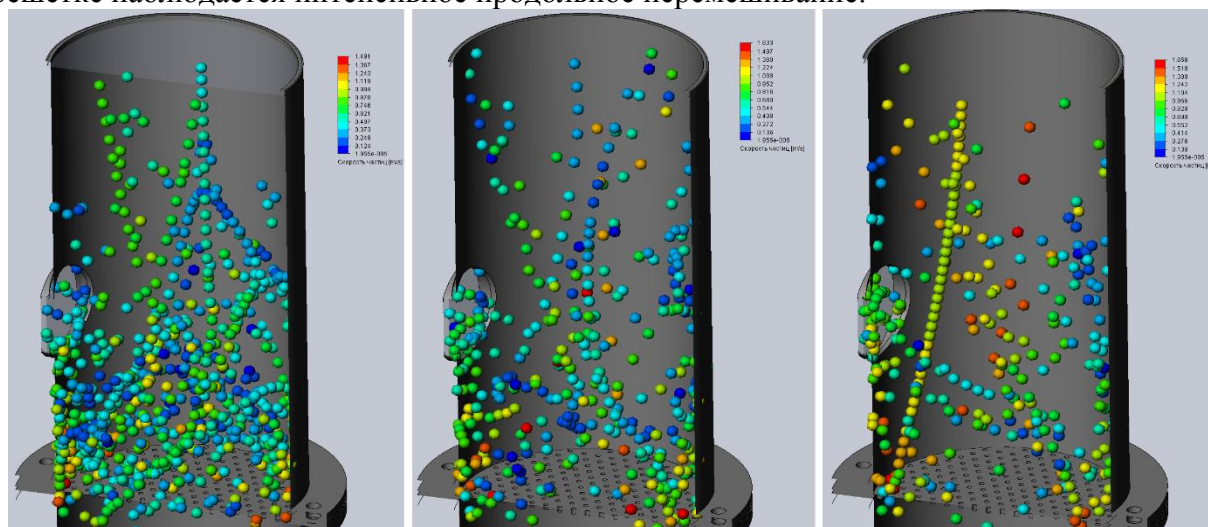


Рис. 3 - Эпюры изменения скоростей частиц при начальной скорости потока 2,05, 2,35, 2,64 м/с.

При начальной скорости газового потока 2,35 м/с не наблюдается скопления материала на решётке, в сравнении с предыдущей эпюрой. Большая часть частиц имеет скорость, превышающую 0,5 м/с, тем самым указывая на уменьшение перемешивания в камере и увеличения зоны транспортирующего слоя. Однако из эпюры видно, что частиц в камере меньше, чем на предыдущей эпюре.

Движение оживающего агента с начальной скоростью 2,64 м/с показало: частицы попадая на решётку перемешиваются, однако материал мгновенно переходит в транспортируемый слой, тем самым указывая на то, что на решётке материал практически не задерживается и его намного меньше в сравнении с другими эпюрами скоростей частиц. Из эпюры видно, что большая часть частиц имеет скорость 0,734 м/с и выше. Скорость потока над решёточным пространством имеет максимальное значение.

На рис. 4 представлен график зависимости среднего времени пребывания от длины траектории частицы, при скорости потока 2,05 м/с время пребывания частицы в камере составляет 6,3 с, длина траектории составляет 1,4 м; при скорости потока 2,35 м/с время пребывания частицы составляет 3,5 с, длина траектории равна 1,2 м; при скорости потока 2,64 м/с время пребывания частицы составляет 2 с, а длина траектории частицы 0,8 м. С увеличением скорости потока время пребывания частиц в камере аппарата снижается, а также уменьшается предельная длина траекторий.

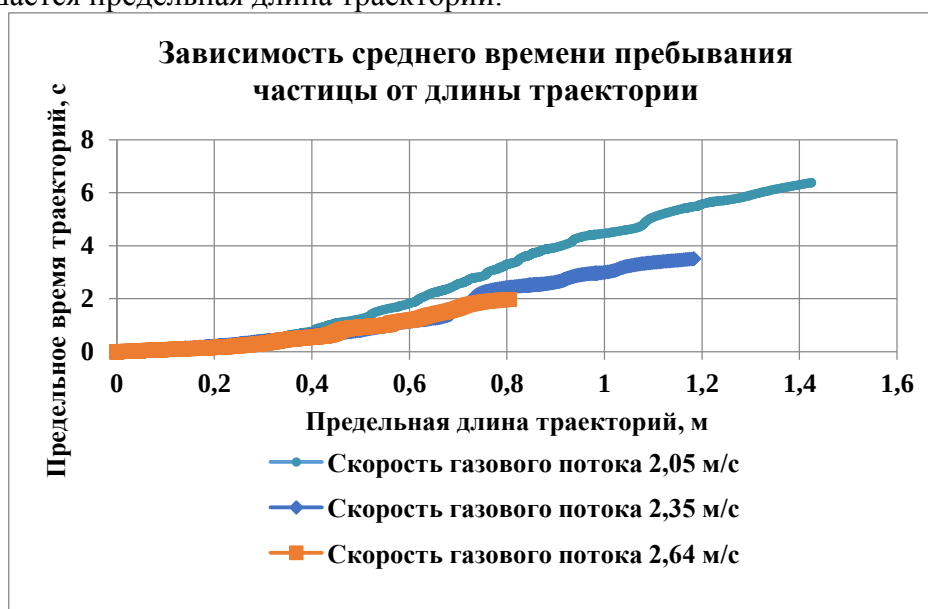


Рис. 4 – График зависимости времени пребывания частицы от предельной длины траектории

Известно из работы [2], что среднее время пребывания материала находится в диапазоне 3,72 – 4,24 с. при выбранных режимах работы аппарата. Данный интервал времени, полученный экспериментальным путём подобен значениям, что были получены в результате моделирования процесса. В свою очередь это говорит о подобии протекания процессов и достоверных результатах моделирования.

Скорость частиц в АВТС варьирует в интервале значений 0,124 – 1,719 м/с. В промышленных сушилках с псевдоожиженным слоем, при порозности слоя $\varepsilon = 0,75$ и среднем размере частиц хлорида калия $d = 0,4$ мм, скорость частиц находится в интервале 0,0045 – 0,0081 м/с [3]. Однако в пневматических трубах-сушилках скорость частиц находится в интервале 1,764 – 4,41 м/с. Очевидно, что при увеличении скорости оживающего агента будет происходить значительный унос материала из камеры АВТС, что приведёт к гидродинамическому режиму работы протекающему в пневматических трубах-сушилках, однако снижение скорости оживающего агента приведёт к большому накоплению материала на газораспределительном устройстве и увеличению времени пребывания материала в камере, такой гидродинамический режим будет подобен режиму в сушилках с псевдоожиженным слоем.

Представленные результаты исследования позволяют проследить динамику поведения потока и частиц в АВТС. Полученные интервалы скоростей частиц и потока представляют возможность определить оптимальные геометрические характеристики аппарата, т.к. при различных скоростях ожижающего агента наблюдается разное количество частиц в рабочем пространстве и их отличное время пребывания, длина траектории.

Использование АВТС в качестве сушильного аппарата при производстве калийных удобрений позволит не только исправить вышеуказанные недостатки существующих аппаратов, но и снизить металлоёмкость и энергетический расход в отличие от ныне используемых сушильных аппаратов, что приведёт к повышению финансово-экономического показателя предприятия.

Список литературы

1. *Раишковская Н.Б.* Сушка в химической промышленности. Л, 1977, 80 с.
2. Разработка гидродинамических основ работы аппарата с взвешанным транспортируемым слоя / Шестаков Е.А. [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2018. № 12.
3. *Шестаков Е.А., Тимофеев И.Е., Шестаков С.А.* К вопросу интенсивности процесса сушки хлорида калия в аппарате псевдоожиженного слоя. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2011. №12. С. 58-60

05.13.18

В.И. Курир канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
институт Автоматики и электронного приборостроения,
кафедра Электрооборудования,
Казань, kurir_valerian@mail.ru

АНАЛИЗ ЗАПУСКА ВСУ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В работе численно проанализирован процесс раскрутки ротора ВСУ ЛА с применением математического пакета MATLAB/SIMULINK. В качестве ВСУ ЛА принят двигатель ТА–6А. Процесс раскрутки ротора условно разбит на 4 этапа. Приведенная в работе методика предназначена для оценки продолжительности запуска ВСУ ЛА при заданных характеристиках электростартера и турбины и компрессора.

Ключевые слова: ВСУ ЛА, электростартер, турбина и компрессор.

На современных летательных аппаратах (ЛА) широкое применение находят газотурбинные вспомогательные силовые установки (ВСУ), предназначенные для пуска основных двигателей, питания сжатым воздухом системы кондиционирования, привода генераторов и другого вспомогательного оборудования. В полёте ВСУ может быть использован в качестве аварийного источника энергии, что повышает безопасность полёта [1 – 4].

В систему запуска ВСУ входят агрегаты и устройства, обеспечивающие предварительную раскрутку ротора ВСУ, с установленными на роторе стартер-генератором, редуктором, компрессором, турбиной, а также агрегаты обеспечения подачи топлива и воспламенения горючей смеси в камере сгорания, устройства, обеспечивающие стабильную устойчивую работу двигателя в процессе запуска, устройства, создающие необходимую последовательность и автоматичность работы системы запуска [4].

Общий схема ВСУ представлены на рис. 1.

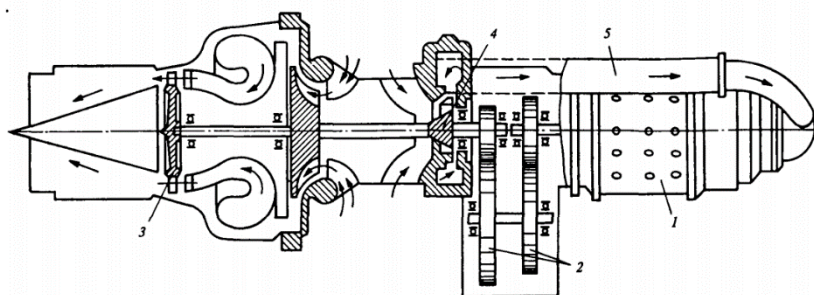


Рис. 1. Типовая конструкция ВСУ

В типовой конструкции ВСУ (рис. 1) вращающий момент на вал генератора 1 передаётся от турбины 3 через редуктор 2. Охлаждение генератора – воздушное, при этом воздух поступает от крыльчатки вентилятора 4 в шланг 5, который соединён с патрубком генератора.

В работе рассматривается механизм запуска ВСУ с применением электростартеров.

В состав установки ВСУ входят: газотурбинный двигатель (ГТД), в статье ТА–6А; стартер-генератор постоянного тока ГС–12ТО; генератор переменного тока ГТ40П46; система запуска ВСУ. Мощность ТА–6А $P_{\text{ном}} = 235$ кВт, номинальная скорость вращения $n_{\text{ном}} = 24000$ об/мин, номинальная угловая скорость вращения $\omega_{2\text{ном}} = 2513.274$ рад/сек.

Процесс электрозапуска ВСУ состоит из 4-х основных этапов [4].

1. Запуск ВСУ при помощи электростартера-генератора постоянного тока с применением реостата в цепи якоря электростартера при пониженном напряжении ($4 \div 6$ В), подаваемым на стартер-генератор из цепи постоянного тока ЛА. Продолжительность этапа $t = 2$ секунды. Одновременно производится запуск компрессора ГТД. Сопротивление обмотки якоря – 0.0069 Ом. Автором исследован режим запуска электростартера в режиме реостатного пуска при напряжении 24 В с добавочным сопротивлением обмотки якоря стартера 0.025 Ом. Пусковые токи в обмотке якоря стартера – $960 \div 940$ А.

2. Работа электростартера в режиме, близком к рабочему (напряжение на выводах электростартера 24 В). Добавочное сопротивление в обмотке якоря стартера 0.035 Ом. Ток якоря $560 \div 542$ А. Номинальный ток в обмотке якоря при напряжении 24 В и номинальной скорости вращения стартера – 576 А. Продолжительность второго этапа составляет $t = 6$ секунд.

3. На третьем этапе в раскрутки вала ВСУ принимает участие турбина ГТД. В период третьего этапа запуска скорость вращения вала ВСУ достигает 45 % от скорости вращения ВСУ в рабочем режиме. Продолжительность третьего этапа у автора ($t = 4,2$ секунды).

4. Окончательная раскрутка ВСУ турбиной ГТД. Продолжительность четвертого этапа у автора ($t = 24$ секунды).

Математическая модель, описывающая динамику раскрутки ВСУ, представлена ниже.

1 этап. Электромеханические процессы, протекающие в электростартере – (ДПТ) с параллельным возбуждением в период его работы и момента пуска, опишем системой уравнений (1) [5, 6]:

$$\begin{aligned} u &= L_B \frac{di_B}{dt} + r_B i_B, \quad u = L_Y \frac{di_Y}{dt} + (r_Y + r_{доп}) i_Y + e_Y, \\ J \frac{d\omega_m}{dt} &= M_{дв} - M_H, \quad e_Y = k_E \omega_m \Phi_B, \quad \Phi_B = k_\Phi i_B, \\ M_{дв} &= k_M i_Y \Phi_B, \quad M_H \approx M_{компр} = k_{компр} (\omega_2)^2 / \eta \cdot i_R, \quad \omega_2 = \omega_m / i_R. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь u – напряжение, подаваемое в цепь якоря и обмотки возбуждения, В; i_Y, i_B – токи в цепи якоря и в обмотке возбуждения, А; L_Y, L_B – индуктивности обмотки якоря и обмотки возбуждения, Гн; $r_Y, r_{доп}, r_B$ – сопротивление цепи якоря, дополнительное сопротивление в цепи якоря, сопротивление обмотки возбуждения, Ом; e_Y – ЭДС вращения якоря, В; J – момент инерции ДПТ, редуктора и вала с компрессором и турбиной, приведённый к валу ДПТ, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; ω_m, ω_2 – угловые скорости вращения вала ДПТ и вала ГТД, рад/сек; $M_{дв}, M_H$ – электромагнитный момент ДПТ и момент нагрузки, создаваемый совместно силами трения при вращении ВСУ и развиваемый компрессором ГТД, приведённые к валу ДПТ, н · м; Φ_B – магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения ДПТ, Вб; η – КПД редуктора; i_R – передаточное отношение редуктора, расположенного между стартер-генератором и ГТД.

Соответственно, в качестве начальных условий запуска ВСУ примем:

$$u = u_0, \quad i_Y = i_B = 0, \quad \omega_m = \omega_2 = 0 \quad (t = 0).$$

2 этап. Система уравнений та же. Заменяется значение добавочного сопротивления якоря.

3 этап. Третий этап связан с выходом на рабочий режим турбины ГТД. В связи с этим, третье уравнение системы (1) примет вид

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M_{дв} + M'_{турб} - M'_{компр}.$$

$$M'_{\text{турб}} - M'_{\text{компр}} = \frac{M_{\text{турб}} - k_{\text{компр}} \omega_2^2}{\eta \cdot i_R}$$

где $M'_{\text{турб}}$ и $M'_{\text{компр}}$ – моменты, создаваемые турбиной и компрессором на валу ГТД, приведённые к валу ДПТ.

Согласно [7] механическая мощность турбины связана с угловой скоростью вращения ротора ГТД практически линейной зависимостью с долей нелинейности. Учитывая это, вводим инженерное упрощение, что в период третьего и четвёртого этапа раскрутки ротора ГТД момент турбины примерно постоянен и равен номинальному

$$M_{\text{турб}} = \frac{P_{\text{ВСУ}}}{\omega_{2\text{ном}}} = \text{const.}$$

Уточнение величины момента турбины возможно путём включения в данную методику теплового расчёта ГТД [4]. Момент, развиваемый турбиной, может быть, в общем случае, рассчитан по формуле:

$$M_{\text{турб}} = \frac{G_{\text{Г}}}{g} (C_{1u} - C_{2u}) r,$$

где $G_{\text{Г}}$ – секундный расход воздуха (газа) через турбину, C_{1u} , C_{2u} – осредненные окружные составляющие абсолютных скоростей воздуха (газа) на входе и выходе из колеса турбины; r – эквивалентный радиус рабочих лопаток турбины.

Момент сопротивления, затрачиваемый на раскрутку компрессора, представлен, согласно данным [1], зависимостью вида

$$M_{\text{компр}} = k_{\text{компр}} \omega_2^2.$$

Потери на трение в подшипниках ДПТ и редуктора введены в потери, создаваемые при раскрутке компрессора [1].

Данный этап завершается, когда скорость вращения вала ГТД достигнет 45% от рабочей скорости вращения вала ГТД.

4 этап. На этом этапе происходит заключительная раскрутка вала ГТД ВСУ под действием моментов сил на валу ГТД, создаваемого турбиной и компрессором. Для описания процесса раскрутки ВСУ на данном этапе привлечём уравнение вида

$$J_{\text{к.-т.}} \frac{d\omega_2}{dt} = M_{\text{турб}} - M_{\text{компр}} = M_{\text{турб}} - k_{\text{компр}} \omega_2^2,$$

где $J_{\text{к.-т.}}$ – суммарный момент инерции турбины с компрессором, кг · м².

К концу четвертого этапа запуска должны выполняться уравнения баланса моментов и баланса мощностей:

$$M_{\text{турб}} = M_{\text{компр.max}},$$

$$M_{\text{турб}} \cdot \omega_{2\text{ном}} = M_{\text{компр.max}} \omega_{2\text{ном}} = P_{\text{ВСУ}}.$$

Численный расчёт модели запуска ВСУ проводится в пакете MATLAB последовательно (этап за этапом). За начальные значения переменных величин второго, третьего и четвёртого этапов запуска ВСУ примем их конечные значения к концу первого, второго и третьего этапов.

Схема электропривода ВСУ для 3-го этапа запуска приведена на рис. 1.

Динамика моментов турбины и компрессора в период четвертого этапа раскрутки ВСУ представлена на рис.2.

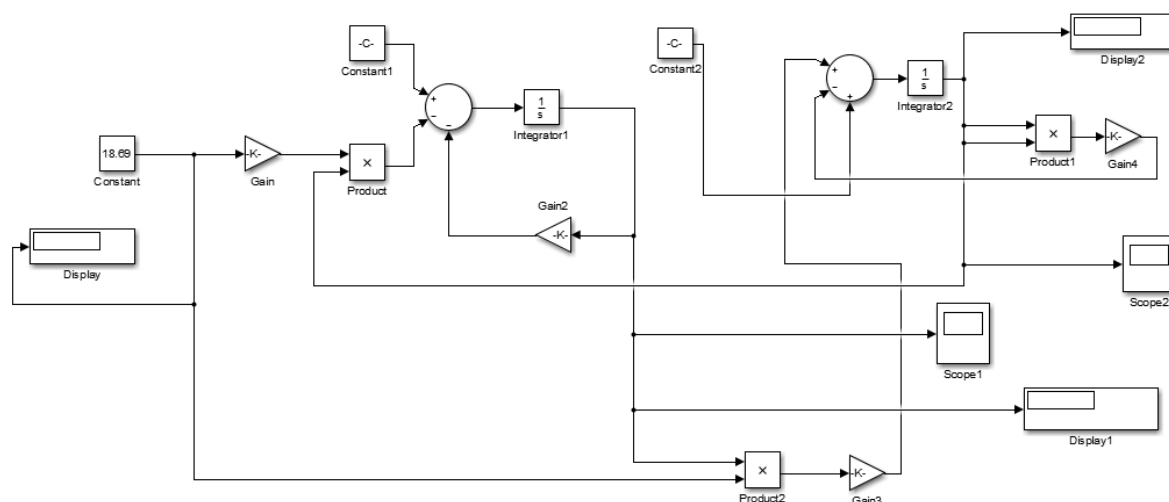
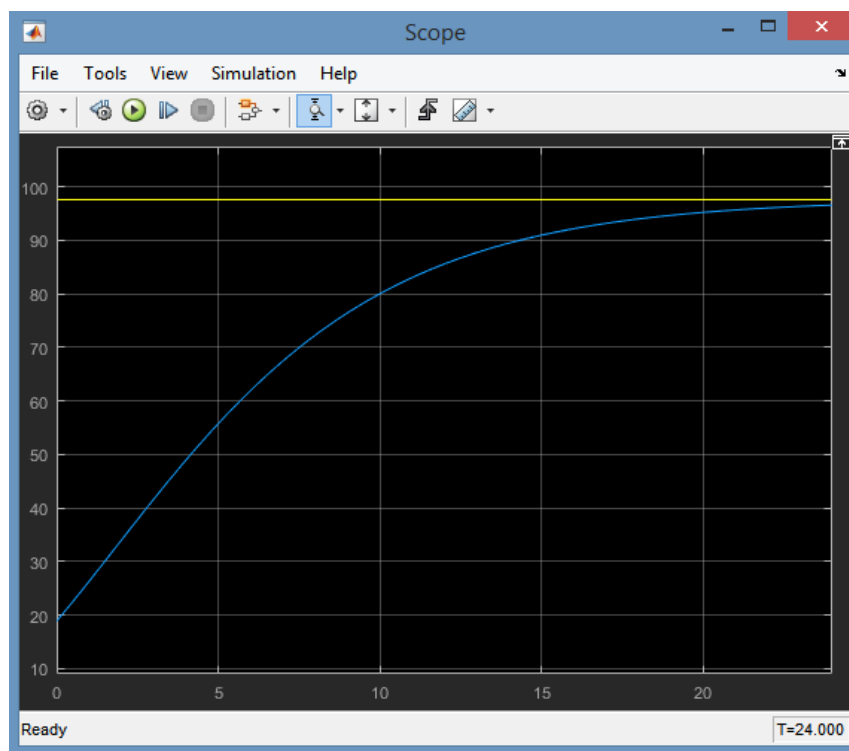


Рис. 1. Схема электропривода ВСУ для третьего этапа запуска

Рис. 2. Выход ВСУ ЛА на установившийся режим работы ($\omega_2 = 0.994\omega_{2\text{ном}}$) на 24 секунде четвертого периода запуска

Заключение. Исследован процесс запуска ВСУ ЛА. Построена модель данного процесса, условно разделенного на четыре этапа. Математическая модель реализована в пакете MATLAB/SIMULINK. Время запуска ВСУ ЛА, полученное в работе, лежит в интервале времён реальных запусков $22 \text{ с} \leq 36 \leq 44 \text{ с}$. Методика может быть использована как инженерный инструмент сравнительной оценки времени запуска ВСУ ЛА на случай изменения типа электростартера, изменения типа ВСУ ЛА, либо на случай одновременного изменения типа электростартера и ВСУ ЛА.

Список литературы

1. Алабин М.А., Кац Б.М., Литвинов Ю.А. Запуск авиационных газотурбинных двигателей – М.; Машиностроение, 1968. – 228 с.
2. Кац Б.М. Пусковые системы авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976. – 220 с.
3. Павловский Н.И. Вспомогательные силовые установки самолётов. – М.: Транспорт, 1977. – 240 с.
4. Поляков А.М. Шальман, В.И. Кришакин, Е.П. Фёдоров, А.А. Лужин, В.С. Петровский. В.С. Авиационные газотурбинные вспомогательные силовые установки – М.: Машиностроение, 1978. – 200 с.
5. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 544 с.
6. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
7. Устройство и летная эксплуатация силовых установок: Учебное пособие для вузов/ Б.А. Соловьев, А.А. Куландин, Н.В. Макаров, И.А. Рожков, В.Ф. Шилимов. – М.: Транспорт, 1991. – 256 с.

05.13.18

С.Э. Шаклеина канд. техн. наук, Е.Н. Тимашева, Д.Н. Кучев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Березниковский филиал,
кафедра Технологии и механизации производств,
Березники, tmp@bf.pstu.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТА СО ВЗВЕШЕННЫМ ТРАНСПОРТИРУЕМЫМ СЛОЕМ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В статье рассматриваются особенности расчета на прочность аппарата с взвешенным транспортируемым слоем с учетом температурных нагрузок. Представлены особенности его прочностного анализа с использованием вычислительных средств «ANSYS Workbench Mechanical Student». Указаны методы повышения прочностных характеристик, а также их недостатки.

Ключевые слова: сушильная установка, аппарат с взвешенным транспортируемым слоем, прочностные характеристики.

Верхнекамское месторождение калийных солей является одним из крупнейших месторождений хлористого калия в мире. При обогащении калийной руды важно использовать современные технологии и оборудование для получения продукта заданного качества. Сушка является одной из важнейших стадий технологического процесса при обогащении калийных руд, которая в свою очередь влияет на экономические показатели всего производства [1].

На обогатительных фабриках Верхнекамского калийного месторождения обезвоживания хлорида калия происходит в конвективных сушилках: кипящего слоя, пневматических трубах-сушилках и барабанных сушилках.

На кафедре ТМП Березниковского филиала ПНИПУ был разработан аппарат со взвешанно-транспортируемым слоем (АВТС) (рис. 1), который является новым перспективным направлением в области сушки для хлористого калия. Он содержит вертикальную сушильную камеру с газораспределительной решёткой, на которую подаётся влажный материал. Теплоноситель поступает в нижнюю часть аппарата. Температура теплоносителя на входе в сушильную камеру составляет 450°C , при этом его скорость составляет не более $2,7\text{ м/с}$.

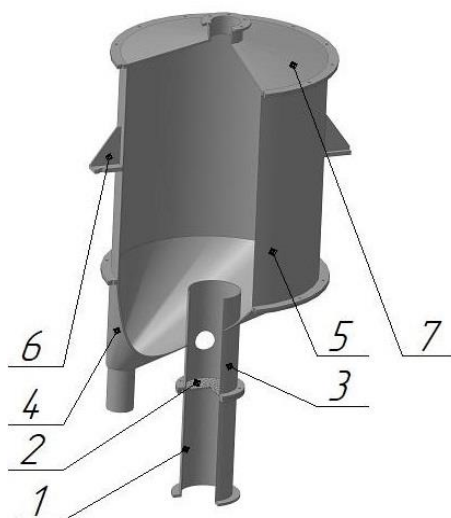


Рис.1 - Модель аппарата. 1 – нижний патрубок вертикальной сушильной камеры; 2 – газораспределительная решётка; 3 – вертикальная сушильная камера; 4 – коническое днище сепарационной камеры; 5 – обечайка сепарационной камеры; 6 – опора аппарата; 7 – крышка сепарационной камеры

В рабочем пространстве сушильной камеры влажный материал ожижается теплоносителем, и в виде взвешенного транспортируемого слоя перемещается в сепарационную камеру, где происходит его отделение от газового потока.

Перечисленные выше аппараты объединяют высокие температуры теплоносителя, которые вызывают значительные напряжения на стенках, при этом в них создаются высокие давления для создания гидродинамического режима сушки в аппарате. Основной сложностью при проектировании данных аппаратов, является обоснованный выбор толщины стенки и укрепляющих элементов аппарата, которые должны соответствовать условиям их работы, т.к. в значительной степени данные аппараты обладают большими габаритными размерами и изготовление их с необоснованной толщиной стенки является экономически невыгодной и металлоёмкой задачей. Целью данного исследования представляется определение прочностных характеристик при проектировании АВТС для проведения процесса сушки.

Настоящей задачей представляется разработка конструкции аппарата, которая будет сочетать в себе такие требования как: давление и температуру в аппарате в соответствии с требованиями технологического процесса. Для этого был проведён прочностной анализ существующей модели аппарата.

При исследовании максимальных температур нагрева стенок аппарата использовались следующие расчётные параметры: избыточное давление под решёточным пространством, а над решёточным и в сепарационной камере реализуется разрежение в количестве (Р) - 0,1 МПа [2]; при исследовании были заданы следующие температурные значения нагрева стенок патрубка вертикальной сушильной камеры и вертикальной сушильной камеры (t_1) – 130°C, сепарационной камеры (t_2) – 80°C, т.к. скорость ожижающего агента падает в сепарационной зоне, что приводит к разнице температур между рабочим пространством в вертикальной сушильной камере и зоны сепарации. Анализ проводился методом конечных элементов в программном продукте «ANSYS Workbench Mechanical».

В результате анализа, эпюра напряжений показала, что максимальные напряжения достигают значения 177,2 МПа на стыке соединения опоры с обечайкой сепарационной камеры (рис. 2, а) и вертикальной сушильной камеры с коническим днищем (рис. 2, б), что превышает допускаемое напряжение 176,5 МПа для высоколегированной стали 12X18H10T при температуре 80 °C [3].

Максимальные напряжения быстро уменьшаются по мере удаления от края отверстия, т.е. прирост напряжений носит локальный характер. Таким образом, при проектировании аппаратуры необходимо решать задачу о снижении повышенных напряжений в области отверстий до допускаемых значений за счёт компенсации ослабления, вызванного наличием выреза [4].

Компенсация ослабления может производиться двумя способами: увеличение толщины стенки всей оболочки исходя из максимальных напряжений у края отверстия и укрепление края отверстия добавочным материалом, вводимым по возможности ближе к месту распределения максимальных напряжений. Первый способ применяется очень редко и не может быть признан рациональным, так как область повышения напряжений незначительная и ограничивается диаметром. На рис.3 представлено несколько вариантов укрепления отверстий по второму способу.

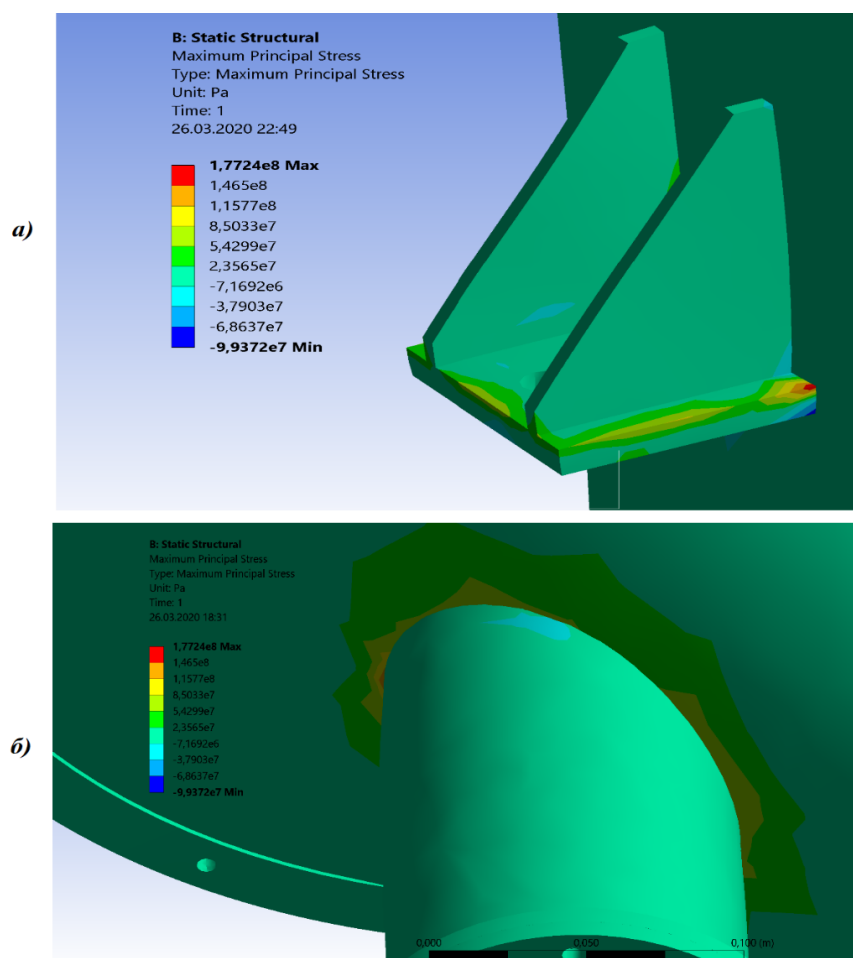


Рис. 2 - Расчёт АВТС в ANSYS:

- а) напряжённо-деформированное состояние опоры и обечайки;
б) напряжённо-деформированное состояние конического днища и вертикальной сушильной камеры

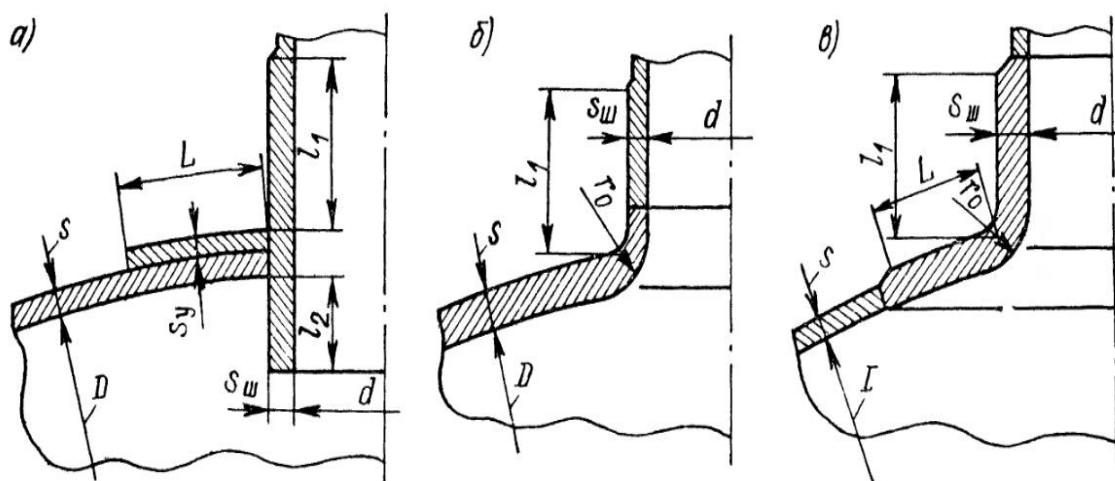


Рис. 3 - Конструкции укрепления отверстий накладным кольцо и утолщением стенки штуцера (а), отбортовкой (б) и торообразной вставкой (в)

Предварительный расчёт показал, что отверстие в коническом днище сепарационной камеры не требует укрепления.

Условие укрепления отверстия накладным листом [4]

$$l_{1p}(s_1 - s_{1p} - c_s)x_1 + l_{2p}s_2x_2 + l_{3p}(s_3 - c_s - c_{s1})x_3 + l_p(s - s_p - c_s) \geq 0,5(d_p - d_{op})s_p \quad (1)$$

l_{1p}, l_{2p}, l_{3p} – расчётная длина внешней части штуцера, накладного кольца и внутренней части штуцера, s_1, s_2, s_3 – исполнительная толщина внешней части штуцера, накладного кольца и внутренней части штуцера, s_{1p} – расчётная толщина стенки штуцера, s_p – расчётная толщина стенки оболочки, s – исполнительная толщина стенки оболочки, c_s – конструктивная прибавка к расчётной толщине стенки оболочки, x_1, x_2, x_3 – отношения допускаемых напряжений внешней части штуцера, накладного кольца и внутренней части штуцера, c_{s1} – конструктивная прибавка для стенки штуцера, l_p – расчётная ширина зоны укрепления, d_p – расчётный диаметр отверстия штуцера, d_{op} – расчётный диаметр штуцера не требующий укрепления.

Изложенная выше методика расчёта укрепления отверстия не учитывает температурного нагрева стенки штуцера, что может вызвать дополнительные краевые напряжения в аппаратах, которые работают при высоких температурах.

При нагреве стенок аппарата возникают краевые напряжения в краевой зоне конического днища, т.к. металл расширяется при нагревании. Чтобы увеличить жёсткость конического днища аппарата было установлено укрепляющее кольцо входа вертикальной сушильной камеры в днище, что является более экономически выгодней, чем увеличение толщины стенки.

После изменения конструкции, расчёт показал (рис. 4, а), что максимальное напряжение 172,5 МПа и находится на опорных лапах аппарата (рис. 4, б). Для того, чтобы снизить напряжение на обечайке сепарационной камеры, требуется увеличить её толщину. Однако при использовании аппарата в указанном диапазоне температур, разработанная конструкция позволяет производить моделирование процесса сушки.

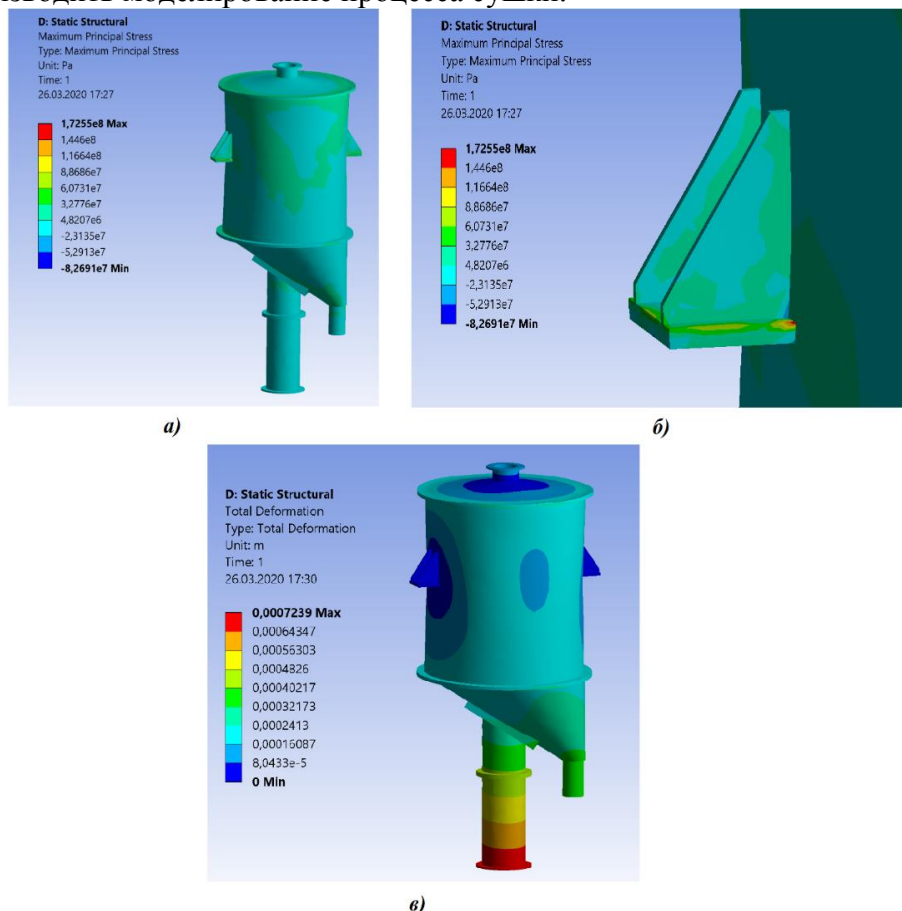


Рис. 4 – Расчёт АВТС в ANSYS после укрепления отверстия: а) эпюра напряжений аппарата; б) эпюра напряжений на лапах аппарата; в) эпюра перемещений аппарата

Также была получена эпюра перемещений (рис. 4, в), максимальное перемещение составляет $\Delta = 0,7239$ мм, находится в пределах допустимых перемещений и приходится на нижний патрубок вертикальной сушильной камеры.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что разработанная конструкция аппарата позволяет моделировать процесс сушки в АВТС в рабочем режиме сушки. При проектировании сушильных аппаратов следует уделять внимание возможности увеличения жёсткости конструкции путём укрепления отверстий накладным кольцом или увеличением толщины стенок в зависимости от места расположения напряжений, т.к. существующие методики расчёта укрепления отверстий не учитывают напряжения, вызываемые температурными расширениями. Численные методы программного продукта «ANSYS Workbench Mechanical Student» позволяют проектировать сушильные аппараты с обоснованной толщиной стенкой и укрепляющими элементами для проведения процесса сушки с использованием широких диапазонов температур и давлений.

Список литературы

1. *Рашковская Н.Б.* Сушка в химической промышленности. – Л.: Химия, 1977. –80 с.
2. *Муштаев В.И.* Сушка дисперсных материалов. – М.: Химия, 1988. - 352 с.
3. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования
4. Расчет и конструирования машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Под общ. ред. М.Ф. Михалева. – М.: ООО "Торгово-Издательский Дом "АРИС", 2010. –301 с.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (05.13.19)**

05.13.19

С.Ю. Борзенкова канд. техн. наук, В.Л. Токарев д-р техн. наук

Тульский государственный университет,
институт прикладной математики и компьютерных наук,
кафедра «Информационной безопасности»,
Тула, tehnol@rambler.ru

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОПАСНОСТИ
ДЕСТРУКТИВНЫХ ДЕЙСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО НАРУШИТЕЛЯ СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП**

Рассматриваются вопросы обеспечения информационной безопасности в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Предложен метод оценки опасности деструктивных действий нарушителя с учетом потенциала, направленного на нарушение конфиденциальности, целостности и доступности. Предложенный метод позволяет выявить множество потенциальных нарушителей и определить их потенциал.

Ключевые слова: информационная безопасность, автоматизированные системы управления технологическими процессами, угрозы, нарушители, деструктивные действия, конфиденциальность, целостность, доступность, потенциал.

В общем случае автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) являются многоуровневыми системами, на каждом уровне которой возможны нарушения как техногенного характера, так и антропогенного. Кроме того, АСУ ТП обладают рядом специфических свойств, присущих только этим системам, и отличаются от типовых ИТ-систем. Одними из последствий реализации угроз могут быть снижение качества обслуживания, отключение обслуживания, потеря критически важной информации, снижение объемов производства, возникновение аварийных ситуаций и т.д.

Безопасность всей промышленной сети и АСУ ТП обеспечивается комплексным (системным) подходом, учитывающим специфику и особенности промышленных систем. Комплексный подход включает в себя проведение аудита уровня защищенности, разработку модели угроз, разработку и внедрение подсистем безопасности, сопровождение и обслуживание подсистем безопасности в процессе эксплуатации, мониторинг работы подсистем безопасности, выработку и реализацию мер по повышению эффективности системы защиты АСУ ТП.

Одним из этапов комплексного подхода является разработка модели угроз, которая связана с выявлением потенциальных нарушителей. Во всех нормативных документах регуляторов в области защиты информации рекомендуется для определения актуальных угроз использовать банк данных угроз информации, расположенный на сайте ФСТЭК России. Отличие всех документов заключается в подходе к определению потенциальных угроз и нарушителей. Но во всех рекомендациях используется подход с учетом экспертных оценок.

В предложенных ФСТЭК методиках для определения актуальных угроз необходимо установить их источник, под которым согласно нормативным документам ФСТЭК России подразумеваются субъекты, нарушающие правила разграничения доступа к информации. Этими субъектами могут быть нарушитель, носитель вредоносной программы, аппаратная закладка.

Под нарушителем понимается физическое лицо (лица), случайно или преднамеренно совершающее действия, следствием которых является нарушение информационной безопасности. Чаще всего строится неформальная модель нарушителя, в которой отражаются причины и мотивы действий, возможности, априорные знания, преследуемые цели, их приоритетность, основные пути достижения поставленных целей, способы реализации угроз, место и характер действия, возможная тактика и т.п.

С точки зрения наличия права легального доступа в помещения, в которых размещены аппаратные средства, обеспечивающие доступ к информационным ресурсам, нарушители подразделяются на два типа:

- не имеющие доступа к системе, обрабатывающей информацию, реализующие угрозы из внешних сетей связи общего пользования и (или) сетей международного информационного обмена – внешние нарушители;

- имеющие доступ к информационной системе, включая пользователей информационной системы, реализующие угрозы непосредственно в ней – внутренние нарушители.

По рекомендации ФСТЭК России для построения модели угроз нужно руководствоваться банком данных угроз, в котором нет классификации, рекомендуемой в документах «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» и «Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

В данной статье авторами предлагается подход к определению актуальных угроз, предусматривающий использование возможных действий злоумышленника, направленных на нарушение конфиденциальности, целостности и доступности, учитывающий его потенциал, определяемый ФСТЭК как низкий, средний или высокий.

В соответствии с методикой предполагается определение полного множества действий нарушителей, коэффициентов опасности деструктивных действий нарушителей на основе их потенциала.

Первой процедурой является определение всех возможных действий нарушителей. Для описания полного множества действий потенциальных нарушителей предлагается использовать сигнатурную модель идентификации их действий, направленных на нарушение конфиденциальности, целостности и доступности.

Для удобства идентификации обозначим D кортеж сигнатур действий нарушителя:

$$D = (d_1, d_2, \dots, d_N),$$

где d_N - наличие свойства информации, на которое направлено действие нарушителя и (или), возможности нарушения и (или), а также другие показатели;

N – количество возможных свойств, действий и т.д.

Следующим этапом исследования является формирование матрицы кодов действий нарушителей $H(2^N, N)$. Матрица составляется с применением двоичного кодирования, что позволяет выявить полное множество возможных действий, и при этом элементы матрицы h_{ij} формируются по правилу:

$$h_{(ij)_2} = \sum_{i=1}^{2^N} \sum_{j=1}^N [h_{ij} + 1_2]_2,$$

при этом $h_{1j} = 0$;

Каждая строка матрицы $|H|$ является кодом, который отражает возможные деструктивные действия нарушителя.

Определение коэффициентов деструктивных действий нарушителей предполагает применение методов парного сравнения.

В этом случае сравниваются N_i возможных действий, свойств и т.д. Эта процедура предусматривает привлечение группы экспертов, с помощью которых определяются коэффициенты.

Для каждого N_i устанавливается весовой коэффициент α_{N_i} в диапазоне $[0,1]$ так, что $\sum \alpha_{N_i} = 1$.

Исходя из результатов парного сравнения и матрицы H формируется ранг каждого нарушителя с учетом потенциальных деструктивных действий R_{i_n} .

Соответственно коэффициент деструктивного действия нарушителей будет равен рангу каждого нарушителя: $K_i = R_{i_n}$.

После определения коэффициентов деструктивных действий нарушителя необходимо сформировать коэффициенты для вычисления количественных значений потенциала нарушителей.

По методике ФСТЭК потенциал нарушителей подразделяется на низкий, средний и высокий. Так как нарушителей предполагается разделить на внутренних и внешних, а по данным многих источников и статистических исследований, отношение внутренних инцидентов к внешним оценивается примерно в 75%, предлагается классическая пропорция 80 к 20.

Таким образом, для определения коэффициентов потенциала нарушителей сначала предполагается установить следующие коэффициенты потенциала:

- низкий - $k_n = 2$;
- средний - $k_c = 5$;
- высокий - $k_b = 10$;

Затем следует вычислить коэффициенты с учетом деления нарушителей на внутренних и внешних. Для внутренних нарушителей с низким, средним и высоким потенциалами

$$P_{j_{вн}} = 0,8 * k_j / \sum k_j,$$

где k_j - коэффициенты низкого, среднего или высокого потенциала нарушителей.

Для внешних нарушителей с низким, средним или высоким потенциалом

$$P_{j_{вн}} = 0,2 * k_j / \sum k_j.$$

Таким образом, предложенная методика определения коэффициентов деструктивных действий потенциального нарушителя и его потенциала позволяет выявить множество потенциальных нарушителей и определить их потенциал.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта #19-07-01107

Список литературы

1. ФСТЭК России. Банк данных угроз безопасности информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bdu.fstec.ru/ubi/terms/terms/view/id/38> – Загл. с экрана. – (дата обращения: 20.06.2020).
2. ФСТЭК России. Документы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty>. – Загл. с экрана. – (дата обращения: 20.06.2020).
3. SecutityLab.ru by Positive Technologies. Аналитические статьи по информационной безопасности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/analytics/>. – Загл. с экрана. – (дата обращения: 20.06.2020).
4. Борзенкова С.Ю., Селищев В.А., Чеуга О.В. Модель ситуационного управления при организации системы защиты информации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 3. С.460 – 470.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

Д.С. Горбатенко

БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОТОТРАНСПОРТА

Ключевые слова: безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие, мототранспорт, нарушения правил дорожного движения, профилактика аварийности.
В статье рассматривается проблематика обеспечения безопасности движения при эксплуатации мототранспорта. Проведен анализ основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием мототранспорта. Предложены и теоретически обоснованы мероприятия по профилактике аварийности.

В.Н. Костин, А.С. Боровский

**ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ЧАСТНЫХ ВИДОВ ПОТЕРЬ
КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ
ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

Ключевые слова: частные виды потерь критически важных объектов; информационно-вероятностный метод; энтропия.
В статье рассматриваются вопросы оценки значимости частных видов потерь критически важных объектов при возникновении чрезвычайной ситуации. Данная задача актуальна при определении категории критически важных объектов и оценке потенциалов опасности нарушителей при определении базовых нарушителей.
Для оценки значимости частных видов потерь использовался информационно-вероятностный метод. Критически важные объекты и типовые нарушители описывались множеством общих характеристик - частными видами потерь объектов от воздействия нарушителей в виде энтропийных потенциалов, которые сведены в таблицу. Используя для данных таблицы информационно-вероятностный метод, определена оценка значимости частных видов потерь. Полученные результаты могут использоваться для повышения достоверности оценки категории объектов и определении базовых типовых нарушителей для объектов защиты.

Е.Е. Миргородская, Н.П. Митяшин, Е.В. Трегубова,
Ю.Б. Томашевский, П.А. Ерюшев**СИСТЕМА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ
СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В СОСТАВЕ МИКРОГРИД**

Ключевые слова: надежность, инверторы, микрогрид, интенсивность отказов, среднее время наработки на отказ.
В работе представлена система автоматизированного расчета надежности устройств силовой электроники в составе распределенных систем интеллектуальной электроэнергетики микрогрид на основе возобновляемых источников энергии, позволяющая оценить их суммарную интенсивность отказов и среднее время наработки на отказ. С помощью предлагаемой системы произведен расчет показателей надежности трех вариантов групповых трехфазных инверторов. Сравнительный анализ произведенных расчетов показал преимущество схемы инвертора тока с двуканальным регулированием выходного напряжения.

**В.В. Болдырев, М.А. Горькавый
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИХОДА
СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, ВХОДЯЩЕЙ В СТРУКТУРУ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ АВТОНОМНОЙ
ГЕЛИОСИСТЕМЫ**

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, солнечная радиация, гелиосистемы, имитационное моделирование, автоматизация.
В работе представлены результаты разработки имитационной модели прихода солнечной радиации с

D.S. Gorbatenko

SAFETY OF MOTOR VEHICLE OPERATION

Keywords: traffic safety, road traffic accident, motor vehicles, traffic violations, accident prevention.
The article deals with the problems of ensuring traffic safety during the operation of motor vehicles. The analysis of the main causes of road accidents involving motor vehicles is carried out. Proposed and theoretically substantiated measures to prevent accidents.

V.N. Kostin, A.S. Borovsky

**ASSESSMENT OF THE SIGNIFICANCE OF PRIVATE
TYPES OF LOSSES OF CRITICAL OBJECTS IN AN
EMERGENCY**

Keywords: private types of losses of critical facilities; probabilistic information method; entropy.
The article discusses the issues of assessing the significance of private types of losses of critical objects in an emergency. This task is relevant in determining the category of critical objects and assessing the hazard potentials of violators in determining the basic violators.
To assess the significance of particular types of losses, the information-probability method was used. Critical objects and typical violators were described by many common characteristic - particular types of object losses from the influence of violators in the form of entropy potentials, which are summarized in a table. Using the information-probability method for the table data, an assessment of the significance of particular types of losses is determined. The results can be used to increase the reliability of the assessment of the category of objects and determine the basic typical violators for the objects of protection.

E.E. Mirgorodskaya, N.P. Mityashin, E.V. Tregubova,
Yu.B. Tomashevskiy, P.A. Eryushev**AUTOMATED SYSTEM FOR RELIABILITY
CALCULATING OF POWER ELECTRONICS DEVICES OF
MICROGRIDES**

Keywords: reliability, inverters, microgrid, failure rate, mean time between failures.
The paper presents a system for automated calculation of the reliability of power electronics devices as part of distributed systems of intelligent electric power industry microgrids based on renewable energy sources, which makes it possible to estimate their total failure rate and mean time between failures. Reliability indicators of three variants of group three-phase inverters were calculated, using of the proposed system. A comparative analysis of calculations showed the advantage of a current inverter scheme with two-channel output voltage regulation.

**V.V. Boldurev, M.A. Gorkavyy
DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF THE
ARRIVAL OF SOLAR RADIATION INCLUDED IN THE
STRUCTURE OF THE INTELLIGENT CONTROL MODULE
OF AN AUTOMATED AUTONOMOUS SOLAR SYSTEM**

Keywords: intelligent control systems, solar radiation, solar systems, simulation, automation.
The paper presents the results of the development of a simulation model of the arrival of solar radiation with a generator of a random cloud level. A function is proposed, implemented in the MATLAB environment, for calculating the values of solar

генератором случайного уровня облачности. Предложена функция, реализованная в среде MATLAB. Применяется для вычисления прихода солнечной радиации на поверхность, с учетом текущего уровня облачности, значения которой, дискретизированы по времени в течении календарного года. Предложен способ получения структурированного массива вычисленных значений радиации, исключающий ошибочные результаты автоматизированного расчета.

Э.Л. Греков, Е.С. Шелихов
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ТЕТРАПОДА

Ключевые слова: микроконтроллер, тетрапод, алгоритм управления, кинематика перемещения, математическая модель.

В работе представлена универсальная математическая модель, описывающая одновременное поступательное движение в разные стороны и разворот робота-тетрапода. Приведены методики определения координат перемещения и формирования задания на отклонение сервоприводов. Алгоритмы управления реализованы на основе микроконтроллера серии STM32F407 с использованием операционной системы реального времени FreeRTOS.

М.Л. Хазиев, Е.В. Зубков
МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СЕТИ
ПИ-РЕГУЛЯТОРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА
ТРУБООТРЕЗНОГО СТАНКА-АВТОМАТА

Ключевые слова: станок-автомат, гидравлический привод, нейро-нечеткая сеть, ПИ-регулирование.

В работе представлена методика обучения гибридной нейро-нечеткой сети получения коэффициентов регулирования ПИ-регулятора гидравлического привода станка-автомата отрезки труб и обточки фасок.

Д.А. Яковлев
СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ БПЛА С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, групповой анализ, стабилизация.

В работе представлены результаты изучения особенностей стабилизации движения беспилотных летательных аппаратов при формировании управления с привлечением методов и средств группового анализа дифференциальных уравнений. Описываемый объект управления рассматривается на нелинейном многообразии, сформирована упрощенная математическая модель для получения групп симметрии.

А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева
АЛГОРИТМ ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ ПУТЕМ
ВЫДЕЛЕНИЯ ТРЕНДОВОЙ, ПЕРИОДИЧЕСКОЙ И
СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Ключевые слова: временной ряд, траекторная матрица, сингулярное разложение.

В данной статье рассмотрен алгоритм контроля натриевой лампы высокого давления на основе выделения трендовой, периодической и случайной составляющих временных рядов. Приводится алгоритм долговременного контроля на основе статистической модели временного ряда и сингулярного разложения.

И.Ф. Киссельман, Д.Н. Кучев
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В АППАРАТЕ СО
ВЗВЕШЕННЫМ ТРАНСПОРТИРУЕМЫМ СЛОЕМ

Ключевые слова: аппарат со взвешенным транспортируемым слоем, моделирование гидродинамики, время пребывания.

В статье рассматривается новый вид аппарата для сушки хлорида калия. Представлены результаты моделирования гидродинамики в аппарате со взвешенным

radiation inside the atmosphere for every hour during a calendar year. A method is proposed for obtaining a structured array of radiation values that excludes erroneous results of automated calculations.

E.L. Grekov, E.S. Shelikhov
SOLVING TASKS OF AUTOMATED TETRAPOD
MOVEMENT CONTROL

Keywords: microcontroller, tetrapod, the control algorithm, the kinematics of motion, mathematical model.

The article presents a universal mathematical model that describes the simultaneous translational movement in different directions and the turn of the tetrapod-robot. Methods of determining coordinates of movement and generation of task for deviation of servo motors are presented. The control algorithms are based on the STM32F407 microcontroller using the FreeRTOS real-time operating system.

M.L. Khaziev, E.V. Zubkov
TRAINING METHOD FOR THE HYBRID NETWORK OF
THE PI-CONTROLLER OF THE HYDRAULIC DRIVE OF
THE PIPE-CUTTING MACHINE

Keywords: automatic machine, hydraulic drive, neuro-fuzzy network, PI-regulation.

The paper presents a method for training a hybrid neuro-fuzzy network for obtaining control coefficients of the PI-controller of the hydraulic drive of the automatic machine-pipe segments and chamfer turning.

D.A. Yakovlev
DYNAMIC PROCESSES CONTROL IN STOCHASTIC
ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Keywords: electromechanical systems, hydroelectric generators, randomly changing parameters, stochastic differential equations. This paper presents the results of the study of stabilization of unmanned aerial vehicles with geometric control system applying group methods of differential equations analysis. Aerial vehicle is described using nonlinear configuration manifold, with simplified mathematical model of control object.

A.V. Volkov, S.A. Shikov, O.O. Temaeva
ALGORITHM OF LONG-TERM CONTROL BY DETECTING
TREND, PERIODIC AND RANDOM COMPONENTS OF
TIME SERIES

Keywords: time series, trajectory matrix, singular value decomposition.

This article discusses an algorithm for controlling a high-pressure sodium lamp based on the selection of trend, periodic and random components of time series. A long-term control algorithm based on a statistical model of a time series and singular value decomposition is presented.

I.F. Kisselman, D.N. Kuchev
MODELING OF HYDRODYNAMICS IN A DEVICE WITH A
WEIGHED TRANSPORTABLE LAYER

Keywords: apparatus with a suspended transported layer, simulation of hydrodynamics, residence time.

The article discusses a new type of apparatus for drying potassium chloride. The results of simulation of hydrodynamics in a device with a suspended transported layer using the

транспортируемым слоем с использованием вычислительных средств Solidworks Flow Simulation. Исследование демонстрирует поведение газового потока и частиц в аппарате.

В.И. Курир

АНАЛИЗ ЗАПУСКА ВСУ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ключевые слова: ВСУ ЛА, электростартер, турбина и компрессор.

В работе численно проанализирован процесс раскрутки ротора ВСУ ЛА с применением математического пакета MATLAB/SIMULINK. В качестве ВСУ ЛА принят двигатель ТА-6А. Процесс раскрутки ротора условно разбит на 4 этапа. Приведенная в работе методика предназначена для оценки продолжительности запуска ВСУ ЛА при заданных характеристиках электростартера и турбины и компрессора.

С.Э. Шаклеина, Е.Н. Тимашева, Д.Н. Кучев ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТА СО ВЗВЕШЕННЫМ ТРАНСПОРТИРУЕМЫМ СЛОЕМ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ключевые слова: сушильная установка, аппарат с взвешенным транспортируемым слоем, прочностные характеристики.

В статье рассматриваются особенности расчета на прочность аппарата с взвешенным транспортируемым слоем с учетом температурных нагрузок. Представлены особенности его прочностного анализа с использованием вычислительных средств «ANSYS Workbench Mechanical Student». Указаны методы повышения прочностных характеристик, а также их недостатки.

С.Ю. Борзенкова, В.Л. Токарев РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОПАСНОСТИ ДЕСТРУКТИВНЫХ ДЕЙСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО НАРУШИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП

Ключевые слова: информационная безопасность, автоматизированные системы управления технологическими процессами, угрозы, нарушители, деструктивные действия, конфиденциальность, целостность, доступность, потенциал. Рассматриваются вопросы обеспечения информационной безопасности в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Предложен метод оценки опасности деструктивных действий нарушителя с учетом потенциала, направленного на нарушение конфиденциальности, целостности и доступности. Предложенный метод позволяет выявить множество потенциальных нарушителей и определить их потенциал.

Solidworks Flow Simulation computational tools are presented. Research demonstrates the behavior of gas flow and particles in the apparatus.

V.I. Kurir

ANALYSIS OF THE PROCESS OF LAUNCHING THE AIRCRAFT APU

Keywords: APU aircraft, electric starter, turbine and compressor.

In this work, the process of spinning up the rotor of the ACS of an aircraft is numerically analyzed using the mathematical package MATLAB / SIMULINK. The TA-6A engine was adopted as the APU of the aircraft. The rotor spinning process is conventionally divided into 4 stages. The method presented in the work is intended to estimate the duration of the launch of the aircraft APU with the given characteristics of the electric starter and turbine and compressor.

S.E. Shakleina, E.N. Timasheva, D.N. Kuchev FEATURES OF DESIGNING APPARATUS WITH A WEIGHED TRANSPORTABLE LAYER AT HIGH TEMPERATURES

Keywords: drying plant, apparatus with a suspended transported layer, strength characteristics.

The article discusses the features of calculating the strength of an apparatus with a suspended transported layer taking into account temperature loads. The features of its strength analysis using the computing facilities "ANSYS Workbench Mechanical Student" are presented. Methods for increasing the strength characteristics, as well as their disadvantages are indicated.

S.U. Borzenkova, V.L. Tokarev DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR DETERMINING HAZARD FACTORS OF DESTRUCTIVE ACTIONS OF POTENTIAL VIOLATOR OF INFORMATION SECURITY SYSTEM OF APCS

Keywords: information security, automated process control systems, threats, violators, destructive actions, confidentiality, integrity, accessibility, potential.

The article deals with issues of ensuring information security in automated process control systems. Disclosed is a method of assessing the danger of destructive actions of an intruder taking into account the potential aimed at violation of confidentiality, integrity and accessibility. The proposed method identified many potential violations and identified their potential.

Публичный лицензионный договор-оферта о правах на статью

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

Договор публичной оферты по обработке персональных данных

В процессе осуществления выпуска журнала "Научно-технический вестник Поволжья", ООО "Рашин Сайнс" осуществляется обработка персональных данных, предоставленных авторами статей в рамках сообщения своих регистрационных данных для осуществления публикации в журнале (имя, фамилия, отчество, адрес автора, контактный телефон и e-mail приводятся в регистрационной форме, заполняемой авторами при отправке статьи в журнал). Обработка осуществляется редакцией журнала для целей надлежащей отправки журнала автору и возможности связи с автором лиц, заинтересованных в результатах труда автора статьи. Под обработкой персональных данных в контексте настоящего согласия понимаются действия редакции по сбору, систематизации, накоплению, хранению, использованию, распространению, уничтожению персональных данных, а также действия по их дальнейшей обработке с помощью автоматизированных систем управления базами данных, и иных программных средств, используемых редакцией журнала. Настоящее согласие автора на обработку персональных данных является бессрочным и может быть отозвано в любой момент путем отказа автора от получения журнала и дальнейшей обработки его персональных данных.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

№8 2020

Направления:

**05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**

**05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ
(технические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**

**05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**

**05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**

**05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvp.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 25.08.2020 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 25.08.2020
5,2 усл.печ.л. 6,5 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2890.

Учредитель: ООО "Рашин Сайнс":
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.
Адрес редакции, издательства, типографии – ООО "Рашин Сайнс":
420111, г. Казань, ул. Университетская, 22, помещение 23.
Цена свободная.

© Рашин Сайнс
тел. (843) 216-30-35
Отпечатано с готового оригинал-макета
ООО «Рашин Сайнс»