

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№5 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. №5 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 120 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>И.А. Бухалов, Г.Н. Власичев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОНОНИТРИДА И МОНОКАРБИДА УРАНА НА ТЕПЛО- И НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ	7
<i>А.Н. Васильчук</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СЕТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ. ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЗОР БАЗОВЫХ МОДЕЛЕЙ	11
<i>Е.А. Гурьева, Т.Р. Сметанин, В.В. Андреев</i> ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ СЕМЯН ГОРОХА	18
<i>Е.С. Еранцева, Р.О. Мишанов, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов</i> ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И НАДЁЖНОСТИ МИКРОСХЕМ	22
<i>М.А. Салихова, О.А. Степущенко, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов</i> СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ О ПОЛОЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКЕ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ π -СДВИГОМ	30
<i>М.А. Салихова, О.А. Степущенко, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов, И.И. Нуреев</i> РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ О ПОЛОЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКЕ НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ДВУМЯ ФАЗОВЫМИ π -СДВИГАМИ	34

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

<i>А.П. Быков, С.В. Андросов, М.Н. Пиганов</i> ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ	38
<i>Л.А. Галиуллин, Е.В. Зубков, А.Х. Тазмеев, Э.Л. Хазиев, Л.Б. Хузятова</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОСТУПА К ПРОМЫШЛЕННЫМ УСТРОЙСТВАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРС UA ТЕХНОЛОГИИ	47
<i>Э.Л. Греков, Е.С. Шелихов</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИНЕМАТИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГЕКСАПОДА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	50
<i>А.Н. Илюхин, Е.В. Зубков, Э.Л. Хазиев, Л.Б. Хузятова</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ WTA	54
<i>Л.Р. Кашапова, Д.Л. Панкратов, Л.А. Симонова</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	57
<i>В.Н. Красовский, Н.И. Красовская, А.В. Сычева, С.В. Якубовская</i> МЕТОДИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИАГНОСТИКЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	61
<i>И.И. Миннигалиева, Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева, Р.Р. Басыров, С.И. Жук</i> ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЁТА ДОБЫЧИ НЕФТИ	65
<i>В.А. Митин, Д.Ю. Соколов, А.В. Савчиц</i> ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ДВУХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ СТЕНДОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ОБУЧЕНИЯ РАБОТЫ С ПЛК, КАК ДВУХ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ (МЕТОДОВ) ОБУЧЕНИЯ	68

Ш.Ш. Хузятов, Р.А. Валиев, Е.В. Зубков, Э.Л. Хазиев, Л.Б. Хузятова ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА	72
--	----

**05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И
КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

Т.А. Деменкова, Е.В. Шниева ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ	76
---	----

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

Р.А. Бикметов, Р.Ш. Ишмуратов А.С. Хисматуллин МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	80
Ф.А. Галимянов, В.Т. Якупова ИЗМЕРЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СЕМЕЙСТВА ФУНКЦИЙ КЛАССИФИКАЦИИ, РЕАЛИЗУЕМЫХ ОБУЧАЕМЫМИ МАШИНАМИ	86
Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, Д.А. Сарачева, И.П. Ситдикова, К.Л. Горшкова ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ С МАЛОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ДЛЯ ГАШЕНИЯ ВИБРАЦИЙ В УСТАНОВКАХ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ	89
Е.Б. Думлер, Э.Я. Зинатуллина, Р.И. Вахитова, И.П. Ситдикова, И.К. Киямов МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ПЛАСТОВОЙ СРЕДЫ В ОБРАТНОМ КЛАПАНЕ УЭЦН	93
Ф.М. Кадыров МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛОГО ШАРА И НЕОГРАНИЧЕННОГО ПОЛОГО ЦИЛИНДРА	97
С.А. Кузнецов УЧЕТ ПОПЕРЕЧНЫХ СДВИГОВ В КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ПЛАСТИНЫ, СВОБОДНО ЛЕЖАЩЕЙ НА ВИНКЛЕРОВОМ ОСНОВАНИИ	101
С.В. Якубовская, В.Н. Красовский, Н.Ю. Сильницкая, Н.И. Красовская МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ КОМПЕНСАЦИОННО- ВИБРАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	104

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

А.С. Исаев, О.И. Луценко, А.А. Симанович СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАЗРАБОТКИ БЕЗОПАСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	109
--	-----

АННОТАЦИИ	113
------------------	-----

THE RELEASE MAINTENANCE

05.13.01 — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>I.A. Bukhalov, G.N. Vlasichev</i> STUDY OF THE INFLUENCE OF URANIUM MONONITRIDE AND MONOCARBIDE ON THE HEAT- AND NEUTRON-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF WATER-WATER REACTORS OF SMALL POWER	7
<i>A.N. Vasilchuk</i> DEVELOPMENT OF A FORECASTING SYSTEM FOR THE SALES OF OIL PRODUCTS IN A NETWORK OF A PETROL STATION. PART 1. FORMULATION OF THE PROBLEM AND OVERVIEW OF BASIC MODELS.	11
<i>E.A. Gureva, T.R. Smetanin, V.V. Andreev</i> EFFECTS OF NEUTRON RADIATION ON PEA SEEDS DEVELOPMENT	18
<i>E.S. Erantseva, R.O. Mishanov, A.A. Denisjuk, M.N. Piganov</i> SELECTION OF THE INFORMATIVE PARAMETERS FOR THE DEVELOPMENT OF FORECAST MODELS OF ELECTRONIC CHIPS QUALITY AND RELIABILITY	22
<i>M.A. Salikhova, O.A. Stepushenko, R.A. Eshpay, O.G. Morozov</i> INFORMATION GATHERING SYSTEM ON THE POSITION OF A PATIENT IN A WHEELCHAIR BASED ON LINEAR-CHIRPED FIBER BRAGG GRATINGS WITH PHASE PI-SHIFT	30
<i>M.A. Salikhova, O.A. Stepushenko, R.A. Eshpay, O.G. Morozov, A.Zh. Sakhabuydinov, I.I. Nureev</i> MICROWAVE PHOTONIC INFORMATION SYSTEM FOR POSITION OF A PATIENT IN A WHEELCHAIR MONITORING BASED ON ADDRESS LINEAR-CHIRPED FIBER BRAGG GRATING WITH TWO PHASE PI-SHIFTS	34

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

<i>A.P. Bykov, S.V. Androsov, M.N. Piganov</i> TECHNOLOGY OF AUTOMATED MECHANICAL TESTING OF ON-BOARD RADIO-ELECTRONIC DEVICES	38
<i>L.A. Galiullin, E.V. Zubkov, A.H. Tazmeev, E.L. Khaziev, L.B. Khuzyatova</i> AUTOMATION OF ACCESS TO INDUSTRIAL DEVICES USING OPC UA TECHNOLOGIES	47
<i>E.L. Grekov, E.S. Shelikhov</i> MATHEMATICAL MODEL OF HEXAPOD KINEMATICS DISPLACEMENT FOR CONTROL SYSTEM DEVELOPMENT	50
<i>A.N. Iliukhin, E.V. Zubkov, E.L. Khaziev, L.B. Huzytova</i> MODERNIZATION OF THE CLUSTERING METHOD OF MALFUNCTIONS OF DIESELS BASED ON AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK WTA	54
<i>L.R. Kashapova, D.L. Pankratov, L.A. Simonova</i> AUTOMATED SYSTEM FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PREPARATION FOR SHEET STAMPING	57
<i>V.N. Krasovsky, N.I. Krasovskaya, A.V. Sycheva, S.V. Yakubovskaya</i> METHOD SAPUT INGTO SINE SAEAIN IN THE DIAGNOSIS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS	61
<i>I.I. Minnigalieva, G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva, R.R. Basyrov, S.I. Zhuk</i> ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF OIL PRODUCTION ACCOUNTING	65
<i>V.A. Mitin, D.Y. Sokolov, A.V. Savchic</i> REWIEW AND COMPARISON OF TWO STANDS UNDER DEVELOPMENT IN THE FIELD OF TRAINING IN WORKING WITH PLC, AS TWO DIFFERENT TRAINING APPROACHES (METHODS)	68
<i>Sh.Sh. Khuzyatov, R.A. Valiev, E.V. Zubkov, E.L. Khaziev, L.B. Khuzyatova</i> DESIGN OF SOFTWARE FOR AN AUTOMATED ASSOCIATED PETROLEUM GAS UTILIZATION SYSTEM	72

05.13.11 — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

- T.A. Demenkova, E.V. Shpieva* CONSTRUCTION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK MODELS FOR SOLVING IMAGE RECOGNITION PROBLEMS 76

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

- R.A. Bikmetov, R.Sh. Ishmuratov, A.S. Khismatullin* MODELING THE INFLUENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF PUMPS WITH ELECTRIC DRIVE ON THE RELIABILITY OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM 80
- F.A. Galimyanov, V.T. Yakupova* MEASURING THE COMPUTER POWER OF THE FAMILY OF CLASSIFICATION FUNCTIONS REALIZED BY TRAINED MACHINES 86
- E.B. Dumler, R.I. Vakhitova, D.A. Saracheva, I.P. Sitdikova, K.L. Gorshkova* RESEARCH OF SYSTEMS WITH LOW RIGIDITY FOR DAMPING VIBRATIONS IN INSTALLATIONS OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMPS 89
- E.B. Dumler, E.Ya. Zinatullina, R.I. Vakhitova, I.P. Sitdikova, I.K. Kiyamov* MODELING THE FLOW OF THE RESERVOIR MEDIUM IN THE CHECK VALVE OF THE ESP 93
- F.M. Kadyrov* MATHEMATICAL MODELING OF SEEPAGE CONSOLIDATION DURING HOLLOW SPHERE AND INFINITE HOLLOW CYLINDER DEFORMATION 97
- S.A. Kuznetsov* ACCOUNT FOR TRANSVERSE SHIFTS IN THE CONTACT PROBLEM FOR A PLATE LYING FREELY ON A WINKLER BASE 101
- S.V. Yakubovskaya, V.N. Krasovsky, N.Y. Silnitskaya, N.I. Krasovskaya* MODEL PROCESS VIBRATIONS OF PUMPING AGGREGATES AS A RESULT OF THE INTRODUCTION OF COMPLEX COMPENSATORY-VIBRATION PROTECTION OF PUMPING EQUIPMENT 104

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

- A.S. Isaev, O.I. Lutzenko, A.A. Simanovich* COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING SECURE SOFTWARE DEVELOPMENT TECHNIQUES 109

ABSTRACTS 113

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

05.13.01

И.А. Бухалов, Г.Н. Власичев д-р техн. наук

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики имени академика Ф.М. Митенкова,
кафедра “Ядерные реакторы и энергетические установки”,
Нижний Новгород, ftfrn6p@gmail.com, vlas@mts-nn.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОНОНИТРИДА И МОНОКАРБИДА УРАНА
НА ТЕПЛО- И НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

В качестве прототипа была выбрана ядерная энергетическая установка ВБЭР-300. Проведен сбор информации, а также анализ возможности и перспектив от использования керамического урана в составе топлива для реакторов на тепловых нейтронах. Тепловой расчёт производился для наиболее теплонапряженного канала, расположенного на оси активной зоны. Нейтронно-физический расчёт с использованием диоксида, монокарбида и мононитрида урана в качестве топлива проводился в программе Winfrith Improved Multigroup Scheme, версия D4 (WIMS-D4). Сформулированы выводы и рекомендации по использованию полученных результатов.

Ключевые слова: керамический уран, мононитрид, монокарбид, диоксид, реакторная установка малой мощности, топливная кампания.

В последние годы наблюдается усиливающийся рост интереса к созданию и использованию реакторных установок малой и средней мощности. Многие эксперты ожидают, что атомная энергетика с их помощью сможет составить более серьезную конкуренцию электростанциям на других видах топлива. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) уделяет серьезное внимание проблемам малой энергетике [1].

В качестве прототипа была выбрана ядерная энергетическая установка ВБЭР-300, характеризующаяся предельной компактностью, повышенной надежностью, высокой степенью автоматизации и минимальной потребностью в обслуживании при эксплуатации. Сформирована активная зона реакторной установки электрической мощностью 100 МВт.

В результате теплового расчёта были получены следующие характеристики активной зоны реакторной установки: расход теплоносителя через активную зону - 1424 кг/с, средняя скорость теплоносителя через активную зону - 1.423 м/с, радиус активной зоны реактора - 931 мм, средний тепловой поток с единицы поверхности тепловыделяющего элемента (ТВЭЛа) - 432 кВт/м², средняя линейная плотность теплового потока - 12.36 кВт/м.

Были получены параметры наиболее энергонапряженного центрального канала: тепловая мощность - 9.642 МВт, расход теплоносителя - 43.284 кг/с, скорость теплоносителя - 2.378 м/с, тепловой поток с единицы поверхности ТВЭЛа - 624 кВт/м², линейная плотность теплового потока - 17.85 кВт/м, максимальное значение температуры наружной поверхности оболочки ТВЭЛа - 339 °С, максимальное значение температуры внутренней поверхности оболочки ТВЭЛа - 361 °С. Рассчитаны максимальные значения температуры на оси топливного сердечника для диоксида, монокарбида и мононитрида урана, составляющие 788 °С, 594 °С и 603 °С соответственно.

Данные по температурам топливных сердечников, полученные в результате теплофизического расчёта, и различные исследования о выделении газообразных продуктов деления [2] свидетельствуют о том, что использование монокарбида или мононитрида урана

позволяет уменьшить толщину оболочки ТВЭЛа. Также высокая теплопроводность исследованного керамического топлива позволяет изготавливать ТВЭЛы существенно большего диаметра, не приводя к превышению допустимой температуры циркониевых оболочек.

Расчеты нейтронно-физических характеристик реактора проводились в цилиндрической геометрии, для чего было выполнено преобразование реальной шестигранной элементарной ячейки к цилиндрическому виду, при постоянной средней температуре в активной зоне. Активная зона сформирована из 55 ТВС. Каждая ТВС состоит из 312 ТВЭЛов и 12 направляющих каналов для стержней системы аварийной защиты (СУЗ).

Расчеты спектра нейтронов в программе WIMS-D4 [3, 4] проводились в 2-х групповом приближении. Расчет выгорания выполнялся с временным шагом 100 эффективных суток для определения полной кампании топлива и, с временным шагом 10 эффективных суток для уточнения коэффициента размножения нейтронов в начале кампании. Нейтронно-физический расчёт проводился в условиях постоянства геометрических параметров с обогащением по ^{235}U изотопу урана, равному 3.5%, 4.5%, 5.5%, 6.5%, 7.5%, 10%, 12.5% и 15% без использования выгорающего поглотителя и крайним верхним положением стержней системы управления и защиты.

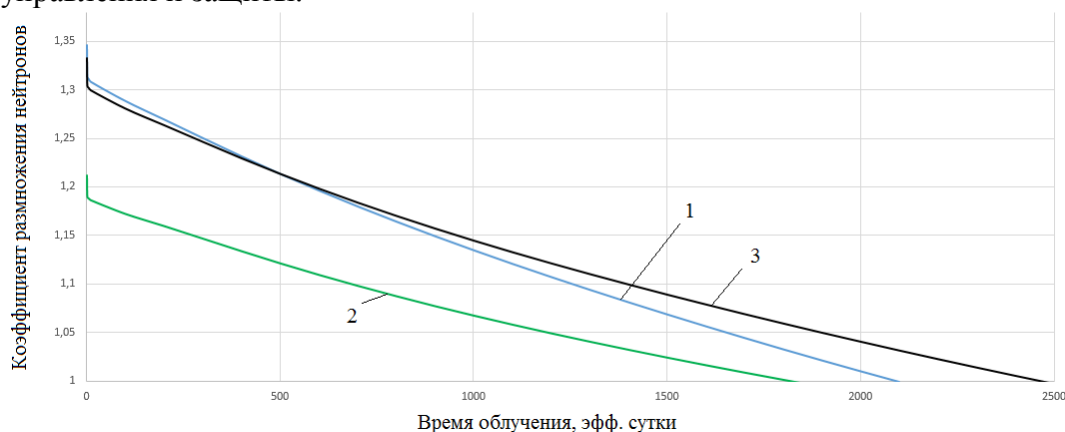


Рис. 1 - Зависимости коэффициента размножения нейтронов от времени облучения ячейки ТВС с обогащением по ^{235}U – 3,5%:

1 – диоксид урана; 2 – мононитрид урана; 3 – монокарбид урана.

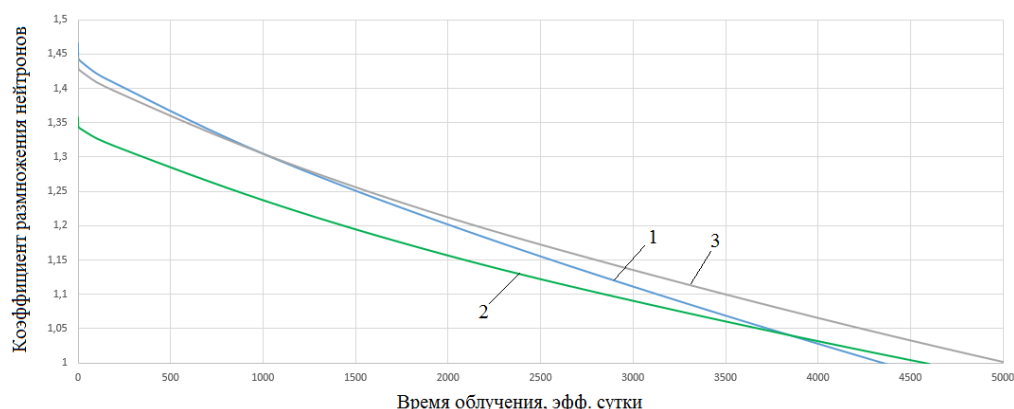


Рис. 2 - Зависимости коэффициента размножения нейтронов от времени облучения ячейки ТВС с обогащением по ^{235}U – 7,5%:

1 – диоксид урана; 2 – мононитрид урана; 3 – монокарбид урана.

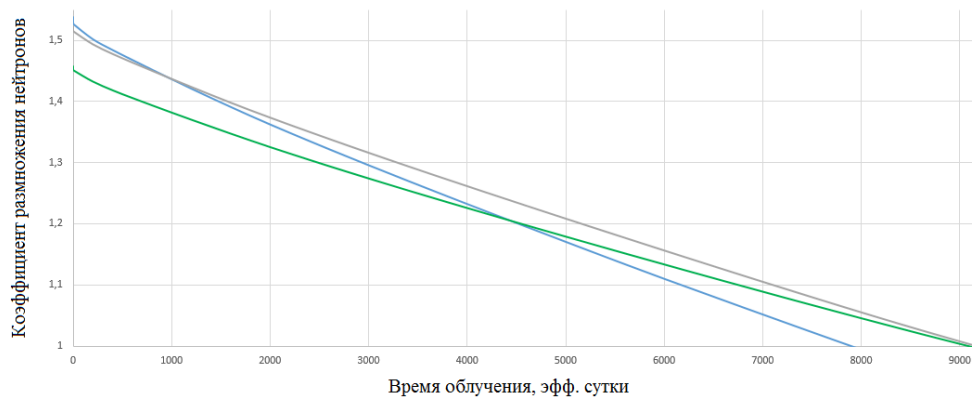


Рис. 3 - Зависимости коэффициента размножения нейтронов от времени облучения ячейки ТВС с обогащением по U^{235} – 15%:
1 – диоксид урана; 2 – мононитрид урана; 3 – монокарбид урана.

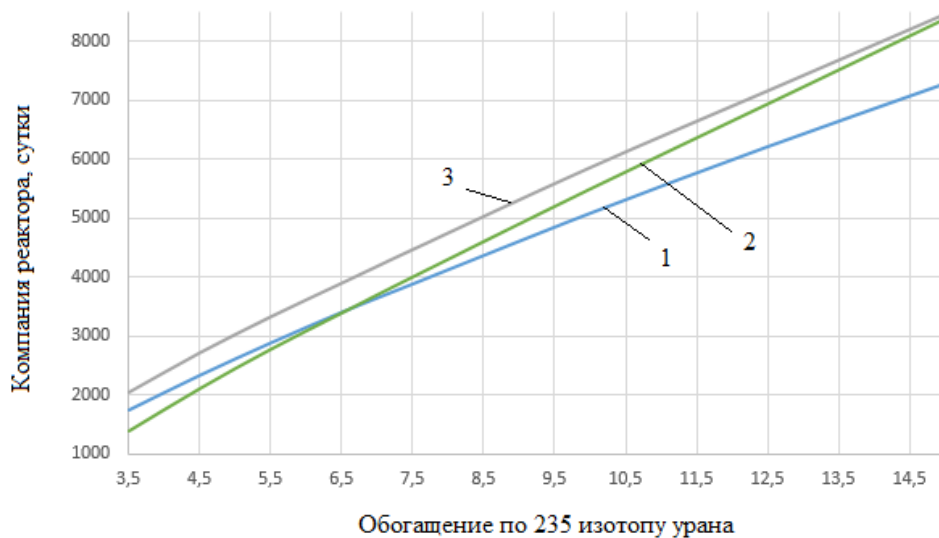


Рис. 4 - Зависимости кампании реактора от обогащения:
1 – диоксид урана; 2 – мононитрид урана; 3 – монокарбид урана.

Результаты, представленные на рисунках 1 - 3, свидетельствуют об увеличении топливной кампании на 16,2 - 17,8% при использовании в качестве топлива монокарбида урана, глубина выгорания топлива при этом наиболее близка к диоксиду урана.

Наиболее интересными являются результаты нейтронно-физического расчёта реакторной установки с использованием мононитрида урана. Значение величины топливной кампании меньше, чем у диоксида урана до величины обогащения, равной 6,5%. На данной отметке использование мононитрида урана позволяет добиться длительности кампании диоксида урана. По мере увеличения обогащения топливная кампания приближается к значению кампании монокарбида урана. Полученные нейтронно-физические характеристики реакторной установки с использованием мононитрида урана, по сравнению с диоксидом урана, свидетельствуют о низком значении вероятности избежать резонансного захвата, помимо того, о низком в начале кампании и высоком, наиболее близком к значению монокарбида урана, сечении деления на тепловых нейтронах, а также об увеличении с течением кампании сечения деления на быстрых нейтронах от значения немного выше, чем у диоксида урана, до значения выше, чем у монокарбида урана.

Проанализировав полученные результаты, можно утверждать, что использование монокарбида урана в энергетических установках с обогащением по ^{235}U изотопу урана от 3 до 7.5% даёт существенный прирост топливной кампании, а также позволяет воспользоваться преимуществами керамического топлива. Однако, использование монокарбида урана в водородных энергетических реакторов на данный момент ограничивается нерешенным вопросом касательно неустойчивости топлива в воде. Химическая реакция между монокарбидом урана и теплоносителем протекает очень быстро ввиду высокой температуры, а продуктами реакции являются диоксид урана, водород и углеводороды. Вследствие этого, рекомендуется использование данного типа топлива на газоохлаждаемых реакторах.

Замена диоксида на монокририд урана возможна ввиду химической стойкости в воде, но, исходя из результатов исследования, имеет ценность только при высоких значениях обогащения, когда преимущества от увеличения размеров топливного сердечника и уменьшении размеров оболочки ТВЭЛов нивелируют проигрыш в кампании реактора вкуне с низким значением глубины выгорания.

Список литературы

1. *Арефьев, А.Е.* Инновационная реакторная установка ВБЭР-300 для региональной энергетики / А. Е. Арефьев, А. В. Кураченко, Ю. П. Фадеев — Текст : электронный // Атомная энергия : [сайт]. — URL: <https://www.atomic-energy.ru/technology/23451> (дата обращения: 08.05.2020).
2. *Годин, Ю.Г.* Карбидное ядерное топливо: Учебное пособие. / Ю. Г. Годин, А. В. Тенишев — Москва : МИФИ, 2007. — 68 с. — Текст : непосредственный.
3. *Сухарев, Ю.П.* Физический расчет реактора: Методические указания по дисциплине «Физика ядерных реакторов» (курсовая работа). Расчет нейтронно-физических характеристик топливных ячеек и подготовка малогрупповых макросечений для расчета реактора по программе WIMS-D4 / Ю. П. Сухарев, В. А. Фарафонов — Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2010. — 24 с. — Текст : непосредственный.
4. *Окунев, В.С.* Нейтронно-физический расчет ядерного реактора на основе газокинетической теории переноса / В. С. Окунев, И. С. Лисицын. — Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 148 с. — Текст : непосредственный.

05.13.01

А.Н. Васильчук

Сургутский государственный университет,
политехнический институт,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
Сургут, alex.hack89@gmail.com

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СЕТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ. ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЗОР БАЗОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В статье рассмотрена важность и необходимость создания единой информационно-аналитической системы прогнозирования реализации нефтепродуктов в сети автозаправочных станций. Приведены основные теоретические понятия. Дан обзор базовых моделей прогнозирования временных рядов.

Ключевые слова: *система нефтепродуктообеспечения, процесс сбыта, прогноз, временной ряд, модель прогнозирования.*

Введение

Система нефтепродуктообеспечения играет важную роль в развитии нашей страны. Промышленность, транспорт, сельское и коммунальное хозяйство, население не обходятся без нефтепродуктов – топлив, масел, смазок, растворителей. Их поставки потребителям осуществляется через широкую сеть нефтебаз и автозаправочных станций [1].

Бизнес-процессы планирования сбыта, производства и транспортировки, управления цепями поставок осуществляются в сложной внешней среде, которой присущи высокая волатильность спроса и поставок, конкуренция и частые изменения правил регулятором.

Причинами неэффективного функционирования процессов сбыта и управления цепочкой поставок на предприятии являются недостатки в существующих инструментах, а также отсутствие единой информационной системы, что приводит к фрагментарному формированию планов, затягиванию сроков планирования сбыта, производства снабжения и транспортировки.

Для решения вышеописанных проблем предлагается разработать информационно-аналитическую систему прогнозирования реализации нефтепродуктов в сети АЗС.

Содержательная постановка задачи

Прогноз – это процесс или результат предсказания тех или иных фактов, событий, явлений, величин, которые станут известны лишь в будущем по отношению к моменту времени, в котором создается прогноз. Под прогнозом также иногда понимают модель будущего события, явления.

Прогнозирование – это процесс (часто основанный на научном исследовании) по расчету прогноза или разработке прогнозной модели [2].

Исторически, задача прогнозирования, возникла при исследовании временных рядов. В статистике, обработке сигналов и многих других областях под *временным рядом* понимаются последовательно измеренные через некоторые (зачастую равные) промежутки времени данные.

Существует большое число вариантов обозначения временных рядов. Одним из типичных является следующее, обозначающее ряд с натуральными индексами:

$$X = \{X_1, X_2, \dots\}.$$

Другое стандартное представление:

$$Y = \{Y_t; t \in T\}.$$

При работе с временными рядами все задачи обычно делятся два больших класса [3]: анализ временных рядов и прогнозирование временных рядов. Классы, а также их основных задачи и модели, представлены на рисунке 1.

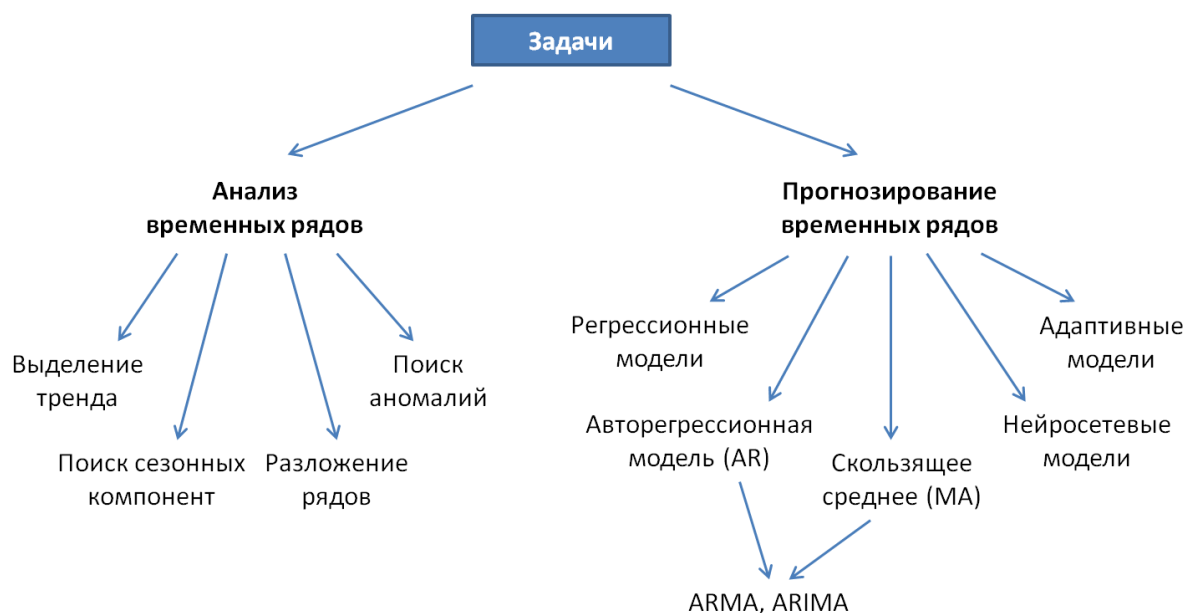


Рис. 1 – Основные классы задач

При прогнозировании временных рядов возможны два варианта постановки задачи. В первом варианте для получения будущих значений исследуемого временного ряда используются доступные значения только этого ряда. Во втором варианте для получения прогнозных значений возможно использование не только фактических значений искомого ряда, но и значений набора внешних факторов, представленных в виде временных рядов.

Задача прогнозирования реализации нефтепродуктов на АЗС заключается в том, чтобы построить прогноз объемов реализации нефтепродуктов с учетом исторических данных, а также внешних факторов, таких как сезонность, географическое положение и т.д.

Анализ базовых моделей прогнозирования

Рассмотрим базовые модели прогнозирования временных рядов представленные в [5, 6].

Регрессионные модели. *Регрессия* – зависимость математического ожидания случайной величины от одной или нескольких других случайных величин (свободных переменных), то есть $E(y|x) = f(x)$. Регрессионным анализом называется поиск такой функции f , которая описывает эту зависимость. Регрессия может быть представлена в виде суммы неслучайной и случайной составляющих:

$$y = f(x) + \varepsilon, \quad (1)$$

где f – функция регрессионной зависимости;

ε – аддитивная случайная величина с нулевым математическим ожиданием.

Линейная регрессия предполагает, что функция f зависит от параметров w линейно. При этом линейная зависимость от свободной переменной x необязательна,

$$y = f(w, x) + \varepsilon = \sum_{j=1}^n w_j f_j(x) + \varepsilon. \quad (2)$$

Значения параметров в случае линейной регрессии находят с помощью метода наименьших квадратов. Использование этого метода обосновано предположением о гауссовском распределении случайной переменной.

Разности $y_i - f(x_i)$ между фактическими значениями зависимой переменной и восстановленными называются регрессионными остатками. В литературе используются также синонимы: невязки и ошибки. Одной из важных оценок критерия качества полученной зависимости является сумма квадратов остатков (англ. Sum of Squared Errors, SSE):

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - f(w, x_i))^2. \quad (3)$$

Дисперсия остатков вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \frac{SSE}{n-2} = MSE, \quad (4)$$

где MSE – Mean Square Error, среднеквадратичная ошибка.

Авторегрессионная модель. Авторегрессионная модель (англ. *autoregressive model*, AR) – модель временных рядов, в которой значения временного ряда в данный момент линейно зависят от предыдущих значений этого же ряда.

Сочетание $AR(p)$ используется для обозначения авторегрессионной модели порядка p . $AR(p)$ записывается следующим образом:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (5)$$

где $\varphi_1, \dots, \varphi_p$ – параметры модели;

c – константа;

ε_t – белый шум.

Для простоты константу зачастую опускают. Эквивалентной записью является запись:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i B^i + \varepsilon_t, \quad (6)$$

где B – оператор сдвига назад, определённый следующим образом:

$$BX_t = X_{t-1}, B^i X_t = X_{t-i}.$$

Оператор сдвига назад также известен как *лаговый оператор* (L).

Простейшим примером AR-модели является авторегрессионный процесс первого порядка $AR(1)$ -процесс:

$$X_t = c + \varphi X_{t-1} + \varepsilon_t.$$

Частным примером AR-модели является *SAR-модель* (англ. *seasonal autoregressive model*) – модель, в которой можно моделировать сезонные ряды. Чаще всего модели AR и SAR комбинируют.

Скользящее среднее. Скользящее среднее (англ. *moving average*, MA) – модель, в которой значения функции каждой точки равны среднему значению исходной функции за предыдущий период.

Модель скользящего среднего порядка q обозначается $MA(q)$ и записывается следующим образом:

$$X_t = \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (7)$$

где $\theta_1, \dots, \theta_p$ – параметры модели;

$\varepsilon_t, \dots, \varepsilon_{t-q}$ – ошибки.

Выделяют следующие виды моделей скользящих средних: простое, взвешенное и экспоненциальное.

Простое скользящее среднее, или *арифметическое скользящее среднее* (англ. *simple moving average*, SMA) численно равно среднему арифметическому значений исходной функции за установленный период и вычисляется по формуле:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} = \frac{p_t + p_{t-1} + \dots + p_{t-i} + \dots + p_{t-n+2} + p_{t-n+1}}{n}. \quad (8)$$

Взвешенное скользящее среднее (англ. *weighted moving average*, WMA), точнее *линейно взвешенное скользящее среднее* – скользящее среднее, при вычислении которого вес каждого члена исходной функции, начиная с меньшего, равен соответствующему члену арифметической прогрессии. То есть, при вычислении WMA для временного ряда, мы считаем последние значения исходной функции более значимы, чем предыдущие, причём функция значимости линейно убывающая. Формула для расчета WMA выглядит следующим образом:

$$WMA_t = \frac{np_t + (n-1)p_{t-1} + \dots + (n-i)p_{t-i} + \dots + 2p_{t-n+2} + 1p_{t-n+1}}{n + (n-1) + \dots + (n-i) + \dots + 2 + 1} =$$

$$= \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=0}^{n-1} (n-i)p_{t-i}. \quad (9)$$

Экспоненциальное скользящее среднее (англ. *exponential moving average, EMA*) – разновидность взвешенной скользящей средней, веса которой убывают экспоненциально и никогда не равны нулю. Определяется следующей формулой:

$$EMA_t = \alpha p_t + (1 - \alpha)EMA_{t-1}, \quad (10)$$

где p_t – значение исходной функции в момент времени t ;

$\alpha \in (0; 1)$ – параметр сглаживания.

Модель авторегрессии – скользящего среднего. Модель авторегрессии – скользящего среднего (англ. *autoregressive moving-average model, ARMA*) – модель обобщает две вышеописанных модели (AR и MA). Под обозначением $ARMA(p, q)$ понимается модель, содержащая p авторегрессионных составляющих и q скользящих средних, и выглядит следующим образом:

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i}. \quad (11)$$

ARMA-модель используется для прогнозирования стационарных временных рядов. Стационарность – свойство процесса не менять свои характеристики со временем. На практике далеко не все временные ряды обладают свойством стационарности, поэтому целесообразно рассмотреть следующую модель, которая может работать и с нестационарными временными рядами.

Интегрированная модель авторегрессии – скользящего среднего. Авторегрессионное интегрированное скользящее среднее (англ. *autoregressive integrated moving average, ARIMA*) является расширением ARMA-модели для нестационарных временных рядов. Данная модель используется при работе с временными рядами для более глубокого понимания данных или предсказания будущих точек ряда.

Обычно модель обозначается как $ARIMA(p, d, q)$, где p, d и q – целые неотрицательные числа, характеризующие порядок для частей модели (соответственно авторегрессионной, интегрированной и скользящего среднего).

Модель имеет следующий вид:

$$\Delta^d X_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i \Delta^d X_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (12)$$

где Δ^d – оператор разности временного ряда порядка d ($\Delta X_t = X_t - X_{t-1}$ – разность 1-го порядка).

Используется большое количество вариаций модели ARIMA. Например, если исследуются несколько рядов, то X_t можно трактовать как векторы. Тогда мы приходим к модели VARIMA. Иногда в модели может иметься сезонный фактор. Примером может послужить модель объёма трафика за день. На выходных поведение ряда будет заметно отличаться от рабочих дней. В этом случае вместо того, чтобы наращивать порядки скользящего среднего и авторегрессионной части модели, лучше прибегнуть к модели сезонного авторегрессионного скользящего среднего (SARIMA). Если имеется некоторая долгосрочная зависимость, параметр d может быть заменён нецелыми значениями, приводя к авторегрессионному дробноинтегрированному процессу скользящего среднего (FARIMA или ARFIMA).

Адаптивные методы прогнозирования временных рядов. Адаптивные методы прогнозирования временных рядов представляют собой методы, цель которых заключается в построении самокорректирующихся (самонастраивающихся) экономико-математических моделей, которые способны отражать изменяющиеся во времени условия, учитывать

информационную ценность различных членов временной последовательности и давать достаточно точные оценки будущих членов данного ряда. Такие модели предназначены, прежде всего, для краткосрочного прогнозирования.

Выявление и анализ тенденции временного ряда часто производится с помощью его выравнивания или сглаживания. *Экспоненциальное сглаживание (модель Р.Брауна)* – один из простейших и распространенных приемов выравнивания ряда. Экспоненциальное сглаживание можно представить как фильтр, на вход которого последовательно поступают члены исходного ряда, а на выходе формируются текущие значения экспоненциальной средней. Экспоненциальное сглаживание ряда осуществляется по рекуррентной формуле:

$$S_t = \alpha x_t + \beta S_{t-1}, \quad (13)$$

где S_t – значение экспоненциальной средней в момент времени t ;

α – параметр сглаживания, $\alpha = \text{const}, \alpha \in (0; 1)$;

$\beta = 1 - \alpha$.

Чем меньше α , тем в большей степени фильтруются, подавляются колебания исходного ряда и шума.

Если последовательно использовать рекуррентное соотношение, то экспоненциальную среднюю S_t можно выразить через значения временного ряда X :

$$\begin{aligned} S_t &= \alpha x_t + \beta S_{t-1} = \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \beta^2 S_{t-2} = \dots = \\ &= \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \alpha \beta^2 x_{t-2} + \dots + \alpha \beta^i x_{t-i} + \dots + \beta^N S_0 = \\ &= \alpha \sum_{i=0}^{N-1} \beta^i x_{t-i} + \beta^N S_0, \end{aligned} \quad (14)$$

где N – количество членов ряда;

S_0 – некоторая величина, характеризующая условия для первого применения формулы при $t = 1$.

Экспоненциальное сглаживание часто используется для решения задачи краткосрочного прогнозирования временных рядов.

Стоит отметить, что в данной модели не учитываются тренд и сезонные изменения.

Экспоненциальная средняя приводит к смещенным прогнозам, т.е. дает систематическую ошибку, когда временной ряд имеет тенденцию линейного роста. Для таких временных рядов требуются другие модели. В основе моделей лежит гипотеза о том, что прогноз может быть получен по уравнению:

$$\hat{y}_{t+d} = a_t + db_t, \quad (15)$$

где a_t, b_t – текущие оценки коэффициентов адаптивного полинома первого порядка.

Одной из первых моделей этого типа была двухпараметрическая *модель Ч.Хольта (модель линейного тренда без сезонных эффектов)*, в которой оценка коэффициентов производится следующим образом:

$$\begin{aligned} a_t &= \alpha_1 y_t + (1 - \alpha_1)(a_{t-1} + b_{t-1}); \\ b_t &= \alpha_2 (a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha_2)b_{t-1}, \end{aligned} \quad (16)$$

где $\alpha_1, \alpha_2 \in (0; 1)$ – параметры экспоненциального сглаживания, которые также называются параметрами адаптации.

Как известно многие явления характеризуются периодически повторяющимися сезонными эффектами. Соответственно временные ряды, их отражающие, содержат периодические сезонные колебания.

Адаптивная *модель с мультипликативной сезонностью* была предложена П.Р.Уинтерсом и имеет следующий общий вид:

$$\hat{y}_{t+d} = a_t \theta_{t+(d \bmod s)-s}, \quad (17)$$

где s – период сезонности;

$\theta_0, \dots, \theta_{s-1}$ – сезонный профиль периода s .

Рекуррентные формулы имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} a_t &= \alpha_1 \left(\frac{y_t}{\theta_{t-s}} \right) + (1 - \alpha_1) a_{t-1}; \\ \theta_t &= \alpha_2 \left(\frac{y_t}{a_t} \right) + (1 - \alpha_2) \theta_{t-s}, \end{aligned} \quad (18)$$

где $\alpha_1, \alpha_2 \in (0; 1)$ – параметры экспоненциального сглаживания.

Модель Уинтерса с линейным трендом аналогична только что рассмотренной:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{t+d} &= (a_t + db_t) \theta_{t+(d \bmod s)-s}; \\ a_t &= \alpha_1 \left(\frac{y_t}{\theta_{t-s}} \right) + (1 - \alpha_1) (a_{t-1} + b_{t-1}); \\ \theta_t &= \alpha_2 \left(\frac{y_t}{a_t} \right) + (1 - \alpha_2) \theta_{t-s}; \\ b_t &= \alpha_3 (a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha_3) b_{t-1}, \end{aligned} \quad (19)$$

где $a_t + db_t$ – тренд, очищенный от сезонных колебаний;

$\theta_0, \dots, \theta_{s-1}$ – сезонный профиль периода s ;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \in (0; 1)$ – параметры экспоненциального сглаживания.

Модель Уинтерса с экспоненциальным трендом выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{t+d} &= a_t (r_t)^d \theta_{t+(d \bmod s)-s}; \\ a_t &= \alpha_1 \left(\frac{y_t}{\theta_{t-s}} \right) + (1 - \alpha_1) a_{t-1} r_{t-1}; \\ \theta_t &= \alpha_2 \left(\frac{y_t}{a_t} \right) + (1 - \alpha_2) \theta_{t-s}; \\ r_t &= \alpha_3 \left(\frac{a_t}{a_{t-1}} \right) + (1 - \alpha_3) r_{t-1}, \end{aligned} \quad (20)$$

где $a_t (r_t)^d$ – экспоненциальный тренд, очищенный от сезонных колебаний;

$\theta_0, \dots, \theta_{s-1}$ – сезонный профиль периода s ;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \in (0; 1)$ – параметры экспоненциального сглаживания.

Не смотря на то, что для временных рядов мультипликативная модель обычно оказывается наиболее подходящей, иногда требуется аддитивная модель. Аддитивная модель сезонных явлений с линейным трендом была предложена Г.Тейлом и С.Вейджом и выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{t+d} &= (a_t + db_t) + \theta_{t+(d \bmod s)-s}; \\ a_t &= \alpha_1 (y_t - \theta_{t-s}) + (1 - \alpha_1) (a_{t-1} + b_{t-1}); \\ \theta_t &= \alpha_2 (y_t - a_t) + (1 - \alpha_2) \theta_{t-s}; \\ b_t &= \alpha_3 (a_t - a_{t-1}) + (1 - \alpha_3) b_{t-1}, \end{aligned} \quad (21)$$

где $a_t + db_t$ – тренд, очищенный от сезонных колебаний;

$\theta_0, \dots, \theta_{s-1}$ – сезонный профиль периода s ;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \in (0; 1)$ – параметры экспоненциального сглаживания.

Заключение

В качестве заключения выделим основные преимущества и недостатки рассмотренных выше моделей.

Регрессионные модели отличаются своей простотой, гибкостью, а также единообразием их анализа и проектирования. К недостаткам можно отнести низкую адаптивность.

Авторегрессионные модели обладают простотой и прозрачностью моделирования. Недостатками данного класса моделей являются: большое число параметров модели, что приводит к увеличению сложности оценки и интерпретации данных параметров; низкая адаптивность моделей. Стоит отметить, что данный класс моделей является одним из наиболее популярных.

Адаптивные методы прогнозирования временных рядов обладают простотой моделирования, но при этом обладают недостаточной гибкостью. Данные методы предназначены для краткосрочного прогнозирования.

Учитывая выше сказанное в дальнейшей работе необходимо провести дополнительный анализ актуальных и перспективных моделей прогнозирования, например, нейросетевых моделей.

Список литературы

1. *Коршак, А.А. и др.* Нефтебазы и АЗС : учебное пособие / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, Е.М. Муфтахов. — Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2006. — 416 с.
2. Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Прогноз> (дата обращения: 20.06.2019).
3. Платформа онлайн-образования Coursera. URL: <https://ru.coursera.org/lecture/trendy-klassifikatsii/1-1-poniatiie-vriemiennykh-riadov-rvplM> (дата обращения: 20.06.2019).
4. *Лукашин Ю.П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. Пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.:ил.
5. *Воронцов К.В.* Курс «Машинное обучение». URL: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLJOzdkh8T5krxc4HsHbB8g8f0hu7973fK> (дата обращения: 24.06.2019).

05.13.01

Е.А. Гурьева, Т.Р. Сметанин, В.В. Андреев д-р техн. наук

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Институт ядерной энергетики и технической физики имени академика Ф.М. Митенкова,
кафедра “Ядерные реакторы и энергетические установки”,
Нижний Новгород, infantoplus@yandex.ru, smetanintimur@yandex.ru, vyach.andreev@mail.ru

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ СЕМЯН ГОРОХА

В работе исследовано влияние нейтронного излучения различной мощности на процесс прорастания и всхожесть семян гороха в сравнении с контрольными образцами. Для оценки влияния излучения был произведен расчет энергии прорастания и всхожести семян до и после облучения их потоком нейтронов от Pu-Be источника в диапазоне доз ионизирующего излучения от 4мкЗв до 0,8 Зв. Показано, что при малых дозах нейтронного облучения (до 96 мЗв) происходит незначительное увеличение энергии прорастания и всхожести семян гороха, а так же увеличение суммарной длины корней и ростков на последующих стадиях роста.

Ключевые слова: *предпосевное облучение, нейтроны, эквивалентная доза, энергия прорастания, всхожесть.*

Одним из методов регуляции физиологических и биохимических процессов, происходящих при прорастании семян, является их предпосевная обработка. В зависимости от типа растения и преследуемой цели используются различные методы предпосевной обработки семян. Многие методы предпосевной обработки семян вызывают увеличение энергии прорастания семян и их всхожести, активацию обмена веществ у проростков, ускоренные темпы роста, повышенную адаптационную способность в отношении действия неблагоприятных факторов окружающей среды, повышение урожайности [1].

Облучение семян малыми дозами, достаточными для воздействия на регуляторные системы растения и ускорение реализации программы развития, называется радиационным гормезисом. Наиболее исследуемым на данный момент является предпосевное облучение семян гамма-излучением. Широко изучены механизмы воздействия гамма-лучей на семена, приводящие к выработке ферментов, ускоряющих рост и развитие растений. Результатом этих процессов является ускорение прохождения первых фаз онтогенеза, сокращение сроков созревания, что в благоприятных условиях ведёт к увеличению урожая и улучшению его качественных характеристик [2,3].

Количество же исследований с использованием нейтронных источников мало [4]. Это в первую очередь обусловлено тем, что при радиационной обработке применение различных видов излучения регламентировано международными документами [5], которые в целях исключения образования значимых активностей продуктов фотоядерных реакций запрещают использование нейтронного излучения для радиационной обработки пищевых продуктов. Ввиду этих факторов, в качестве объекта воздействия нейтронного излучения были выбраны семена гороха сорта «Глориза» выращиваемого в качестве сидерата для получения зеленой массы, используемой в качестве удобрения для почв на клумбах, газонах и т.д. Необходимо проведение исследований влияния нейтронного излучения для комплексного анализа результатов проведения предпосевной обработки семян всеми видами ионизирующего излучения.

Целью работы является изучение влияния предпосевого облучения семян гороха сорта «Глориза», экспериментальное определение дозы и мощности дозы нейтронного излучения, при которых характеристики семян (всхожесть и энергия прорастания) обеспечат максимальный прирост зеленой массы в предположении, что последующий рост и развитие растений будет происходить при оптимальных условиях (освещенности, поливе, питательности почв и т.д.).

Предпосевное нейтронное облучение семян гороха проводилось на кафедре “Ядерные реакторы и энергетические установки” Института ядерной энергетики и технической физики имени академика Ф.М. Митенкова Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева в лаборатории “Нейтронной физики”. Облучение проводилось с помощью шести плутоний-бериллиевых источников ИБН-8 мощностью $2,03 \cdot 10^6$ нейтронов в телесный угол 4π в секунду каждый. Источники были помещены в транспортные контейнеры, включающие в себя биологическую защиту из веществ с малым атомным номером, а так же освинцованный корпус и крышку.

Для оценки влияния полной AMBIENTНОЙ эквивалентной дозы (АЭД) нейтронного излучения, полученной семенами, они облучались партиями, каждая партия облучалась соответственно 3,4,5 и 6 суток. В каждой партии было 4 пробы, по 100 семян в каждой, которые подвергались облучению разной мощности.

Для оценки влияния мощности AMBIENTНОГО эквивалентного (МАЭД) нейтронного излучения на семена, пробы с ними должны были находиться в областях с различными мощностями доз нейтронного излучения. Для получения полей излучения различной мощности, контейнеры были расположены в ряд на расстоянии 0.5 м друг от друга, при этом замерялись мощности AMBIENTНЫХ эквивалентных доз нейтронного излучения над каждым из контейнеров. Таким образом, был получен диапазон мощностей нейтронного излучения от 52 мкЗв/ч, над контейнерами, стоящими с краю, до 91 мкЗв/ч, над контейнерами, расположенными в центре.

Для оценки влияния длительного нейтронного облучения дозами большой мощности, одна из партий гороха была помещена внутрь исследовательского стенда «Тепловая колонна» [6]. Мощность дозы нейтронного излучения внутри колонны была постоянной и равнялась 1мЗв/ч. Партии гороха, находившиеся внутри стенда, облучались на протяжении от 3 до 31 суток.

Таблица 1- Анализ энергии прорастания и всхожести семян

№ партии	Время облучения (сут)	Мощность дозы (мкЗв/ч)	АЭД (мкЗв)	Энергия прорастания (на 4 сутки)	Всхожесть (на 8 сутки)	Эффективность предпосевной обработки (А)
1	6	63	9130	0,71	0,78	-0,15
		52	7546	0,86	0,92	-0,01
		91	13104	0,86	0,92	-0,01
2	5	63	7608	0,85	0,88	-0,05
		52	6288	0,78	0,82	-0,11
		91	10920	0,72	0,78	-0,15
		1000	120000	0,56	0,86	-0,07
3	4	63	6086	0,85	0,93	0
		52	5030	0,47	0,8	-0,13
		91	8736	0,61	0,83	-0,1
		1000	96000	0,81	0,94	0,01
4	3	63	4565	0,79	0,86	-0,07
		52	3773	0,70	0,93	0
		91	6552	0,66	0,94	0,01
		1000	72000	0,78	0,72	-0,21
5	2	1000	48000	0,74	0,8	-0,13
6	1	1000	24000	0,70	0,73	-0,2
Контрольная	0	0	0	0,8	0,93	0

Энергия прорастания и всхожесть семян гороха определялись согласно ГОСТу № 12038-84[7]. Для оценки результатов предпосевного облучения был введен параметр А, характеризующий его эффективность. Значение параметра А определялось как разница всхожести n-ой пробы и контрольной группы.

В результате проведенного исследования было выявлено, что облучение семян гороха потоком нейтронов, создающим МАЭД 52-91 мкЗв/ч, слабо и отрицательно влияет на энергию прорастания и на полную всхожесть семян. Однако нельзя вывести прямую зависимость между энергией прорастания и всхожестью от мощности полученной дозы из-за малых величин потоков нейтронов. Следовательно, при малых дозах нейтронного излучения необходимо использовать другие, более информативные, показатели, нежели энергия прорастания и всхожесть семян.

Для более полной оценки влияния нейтронного излучения у исследуемых семян были измерены длины главного корня и ростка.

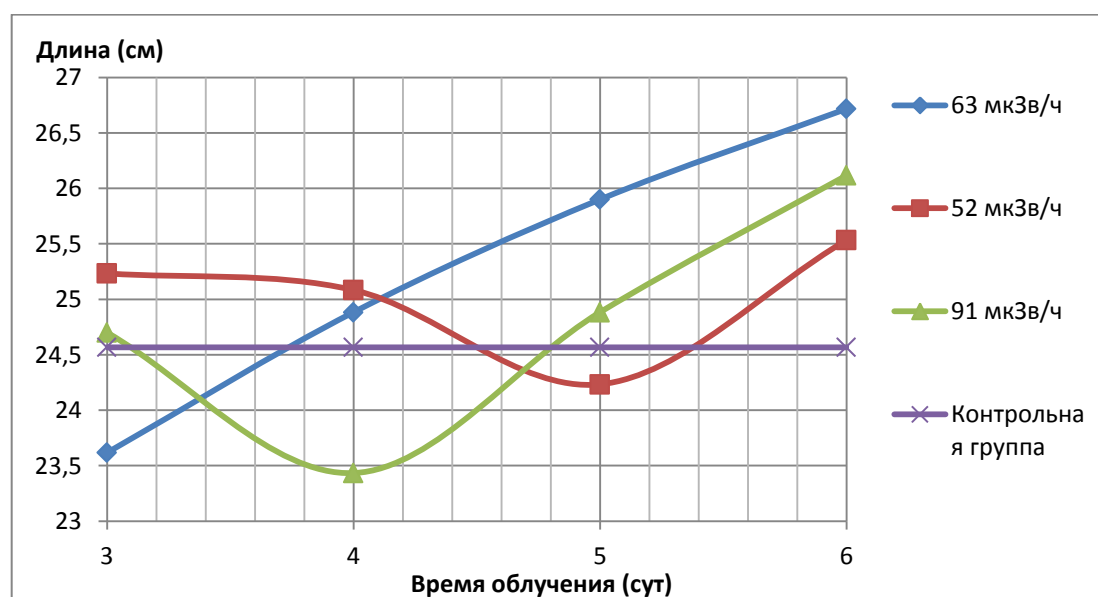


Рис. 1- Зависимость суммарной длины главного корня и ростка от времени облучения при разных мощностях доз нейтронного излучения

Из графиков на рисунке 1 следует, что поток нейтронов мощностью от 52 мкЗв/ч до 91 мкЗв/ч при длительном воздействии (больше 4 суток) оказывает стимулирующее воздействие на рост, как ростка, так и главного корня семян гороха. В сравнении с семенами контрольной группы, суммарная длина корня и ростка облученных семян увеличивается на 2-9%. Также видно, что нет прямой зависимости между суммарной полученной дозой и суммарной длиной растения: наилучшие результаты были достигнуты при суммарной полученной дозе в диапазоне от 7,5 мЗв до 9 мЗв. Наибольшее влияние на рост оказывает мощность нейтронного излучения: максимальная суммарная длина главного корня и ростка была достигнута при мощности нейтронного излучения в 63 мкЗв/ч.

При исследовании влияния длительного нейтронного облучения дозами большой мощности одна из партий гороха облучалась потоком нейтронов с МАЭД 1 мЗв/ч на протяжении от 3 до 31 суток. В ходе работы было выявлено, что при суммарной полученной дозе до 96 мЗв происходит незначительная стимуляция всхожести и энергии прорастания. При переходе порога в 96 мЗв отмечается стремительное ослабление семян гороха, приводящее к резкому снижению, как всхожести, так и энергии прорастания.

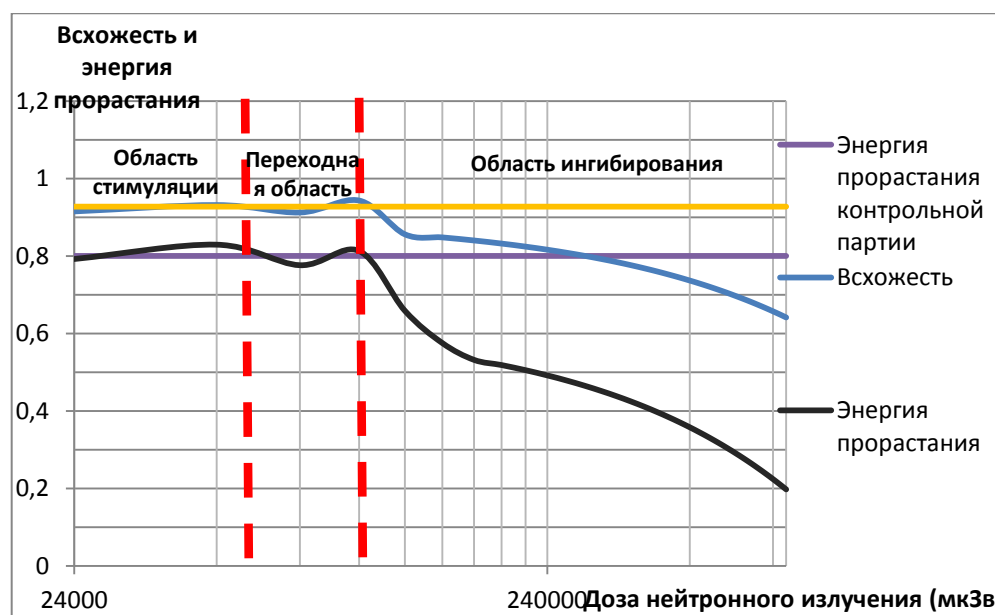


Рис. 2- Зависимость всхожести и энергии прорастания семян от суммарной дозы нейтронного излучения

Таким образом, в настоящем исследовании изучена реакция на облучение семян гороха сорта «Глориза» в диапазоне 4 мкЗв - 0,8 Зв с различной мощностью 50 - 1000 мкЗв/ч по следующим показателям: энергия прорастания, всхожесть, длина ростка, длина главного корня. Выявлено, что данные параметры в меньшей степени зависят от суммарной полученной дозы, а в большей - от мощности дозы. Энергия прорастания или всхожесть семян после облучения нейтронами практически не изменяется. Показано, что длительное (больше трех дней) воздействие на семена нейтронным излучением как при высоких, так и низких мощностях доз ведет к существенному и статистически достоверному стимулированию роста растений, увеличению длины корней и ростков до 9%. Выявлен предел суммарной амбиентной эквивалентной дозы нейтронного излучения в 96 мЗв, при превышении которого семена гороха начинают интенсивно гибнуть.

Список литературы

1. Авдеенко А.П. Влияние современных стимуляторов роста на продуктивность ярового ячменя в условиях ростовской области // Международный научно-исследовательский журнал, № 7(38). — С.103- 106
2. Чурюкин Р.С. Влияние облучения (^{60}Co) семян ячменя на развитие растений на ранних этапах онтогенеза // Радиация и риск. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-oblucheniya-60co-semyan-yachmenya-na-razvitie-rasteniy-na-rannih-etapah-ontogeneza> (дата обращения 21.02.2020).
3. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии. Киев: Изд-во УСХА, 1991. 328 с.
4. Ходжаев Т.А. Влияние нейтронного облучения на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы // Молодой ученый. — 2014. — №3. — С. 48-51. — URL <https://moluch.ru/archive/62/9526/> (дата обращения: 06.02.2020).
5. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания / Пер. с англ. — М.: Издательство «Весь Мир», 2007. — 24с.
6. Андреев В.В., Андреев Н.Г., Галстян К.Г., Леванов С.Л. Обоснование радиационной безопасности нейтронного конвертера на всех этапах жизненного цикла в рамках проектно-ориентированного обучения студентов НГТУ им. Р.Е. Алексеева // Научно-технический вестник Поволжья 2019. №3. URL: <http://ntvp.ru/ru/archive-vypuskov> (дата обращения 20.02.2020).
7. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Взамен ГОСТ 12038-66. Введ. 01.09.1986. Межгосударственный стандарт. Стандарты на методы контроля. 2002. 28 с.

05.13.01

**Е.С. Еранцева, Р.О. Мишанов канд. техн. наук, А.А. Денисюк,
М.Н. Пиганов д-р техн. наук**

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
kipres@ssau.ru

**ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И
НАДЁЖНОСТИ МИКРОСХЕМ**

В данной статье проведен выбор информативных параметров для построения прогнозной математической модели показателей качества и надёжности микросхем серии 564. Для этого были использованы методы корреляционного и регрессионного анализа. В качестве прогнозируемого параметра был принят дрейф тока утечки. Приведены результаты обучающего эксперимента. Определены коэффициенты корреляции между прогнозируемым и информативными параметрами.

Ключевые слова: Информативный параметр, прогнозируемый параметр, микросхема, обучающий эксперимент, прогнозная модель, корреляция.

Проблема повышения качества и надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на сегодняшний день относится к приоритетным направлениям развития космической техники. Наиболее актуальны способы повышения качества аппаратуры и электронной компонентной базы (ЭКБ), позволяющие с минимальными затратами времени и ресурсов обеспечить приемлемый уровень безопасности и надёжности. К таким способам относится индивидуальное прогнозирование (ИП) показателей качества и надёжности с использованием математической модели (оператора прогнозирования)[1-7].

Выбор информативных параметров для построения прогнозной математической модели представляет собой сложную и трудоёмкую задачу, т.к. он преимущественно опирается на интуицию исследователя. Выбор информативных параметров существенно влияет на достоверность математической модели, т.к. неверный выбор может привести к тому, что оператор прогнозирования окажется неприменимым.

В данной работе рассматривается применение корреляционного и регрессионного анализа для выбора информативных параметров, используемых для оценки показателей качества и надёжности интегральных микросхем (ИМС) серии 564. В качестве основы была использована методика [8], которая дала хорошие результаты для ИМС серии 765. Были использованы следующие рекомендуемые критерии принятия информативного параметра в качестве значимого:

- коэффициент корреляции между прогнозируемым и информативным параметром не менее 0,7;

- коэффициенты корреляции между информативными параметрами не более 0,3.

В качестве базовой рассмотрим выборку КМОП-микросхем 564ЛН2 ОС, предназначенных для применения в космических РЭС. Объем выборки составил 50 экземпляров. Такой объем был ранее обоснован и проверен на практике [1-3]. За прогнозируемый параметр у принят дрейф тока утечки, измеренный после проведения 1000 часов испытательных воздействий. В качестве информативных параметров рассматриваются:

- x_1 – время задержки по переднему фронту сигнала t_p^+ , [мкс];
- x_2 – критическое питающее напряжение $E_{кр.П}$, [В].

Основной задачей исследования является определение степени связи прогнозируемого параметра с информативными параметрами. Измеренные величины имеют нормальное распределение. В табл. 1 показаны значения параметров микросхем в выборке после проведения обучающего эксперимента.

Таблица 1 – Измеренные значения исследуемых параметров микросхем

№ экз.	x_1	x_2	y	№ экз.	x_1	x_2	y
1	5,2	1,7	54	26	5,4	2,7	92
2	4,9	1,5	28	27	7,5	2,7	114
3	4,1	1,45	39	28	6,2	2,8	71
4	4,7	1,35	32	29	4,4	1,7	39
5	4,2	1,3	29	30	7,2	1,8	56
6	5,6	2,2	51	31	6,4	2,1	68
7	6,5	1,8	46	32	3,8	1,1	32
8	6,3	1,9	132	33	6,9	2,9	69
9	4,4	1,5	53	34	4,3	1,2	33
10	5,1	1,7	55	35	5,6	1,6	37
11	12,4	3,1	174	36	6,9	2,8	82
12	3,9	1,7	50	37	5,7	2,5	43
13	7,5	2,2	76	38	6,4	2,5	48
14	4,9	1,3	38	39	3,8	1,25	23
15	3,8	1,2	33	40	4,9	1,5	45
16	3,5	1,1	28	41	9,2	2,8	147
17	5,7	1,6	64	42	7,4	2,7	135
18	6,9	2,9	47	43	4,2	1,5	34
19	7,1	2,3	82	44	7,1	2,8	88
20	10,3	2,5	106	45	4,9	1,6	77
21	4,4	1,9	68	46	4,1	1,5	41
22	3,8	1,6	44	47	3,5	1,1	19
23	3,7	1,5	31	48	4,7	1,8	44
24	11,5	3,2	133	49	4,3	1,6	56
25	6,5	2,8	85	50	5,4	2,6	53

Определим, целесообразно ли проведение данного исследования с учётом числа наблюдений n и количества факторов m [9]. Для такой оценки воспользуемся следующим отношением:

$$(n + m) < (n - m)^2. \quad (1)$$

В нашем случае рассматриваются 2 фактора, влияющие на прогнозируемый параметр, и 50 наблюдений каждого фактора. Таким образом:

$$52 < 9604. \quad (2)$$

Следовательно, данное исследование проводить целесообразно.

Т.к. принимается допущение, что связь прогнозируемого и информативных параметров рассматривается в качестве линейной, значения параметров измерены в сильных шкалах (в интервальных шкалах), то для оценки тесноты (силы) связи необходимо вычислить коэффициент корреляции Пирсона для случаев связи y и x_1 , y и x_2 . Значение коэффициента корреляции r вычислим по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2] \cdot [\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}}, \quad (3)$$

где x_i – i -ое числовое значение информативного параметра; $\bar{x}$ – среднее значение информативного параметра; y_i – i -ое числовое значение прогнозируемого параметра; $\bar{y}$ – среднее значение прогнозируемого параметра; n – объем выборки.

В зависимости от объема выборки коэффициенты корреляции требуют коррекции [10]. Т.к. объем выборки меньше 100, то значение коэффициента корреляции Пирсона корректируется по формуле:

$$r' = r \cdot \left[1 + \frac{1-r^2}{2(n-3)} \right], \quad (4)$$

где r' - откорректированное значение коэффициента корреляции Пирсона.

На рис. 1 представлено корреляционное поле точек, описывающих зависимость прогнозируемого параметра y от информативного параметра x_1 , на рис. 2 – y от x_2 .

В табл. 2 и 3 приведены расчетные значения для определения коэффициентов корреляции между параметрами x_1 , x_2 и y .

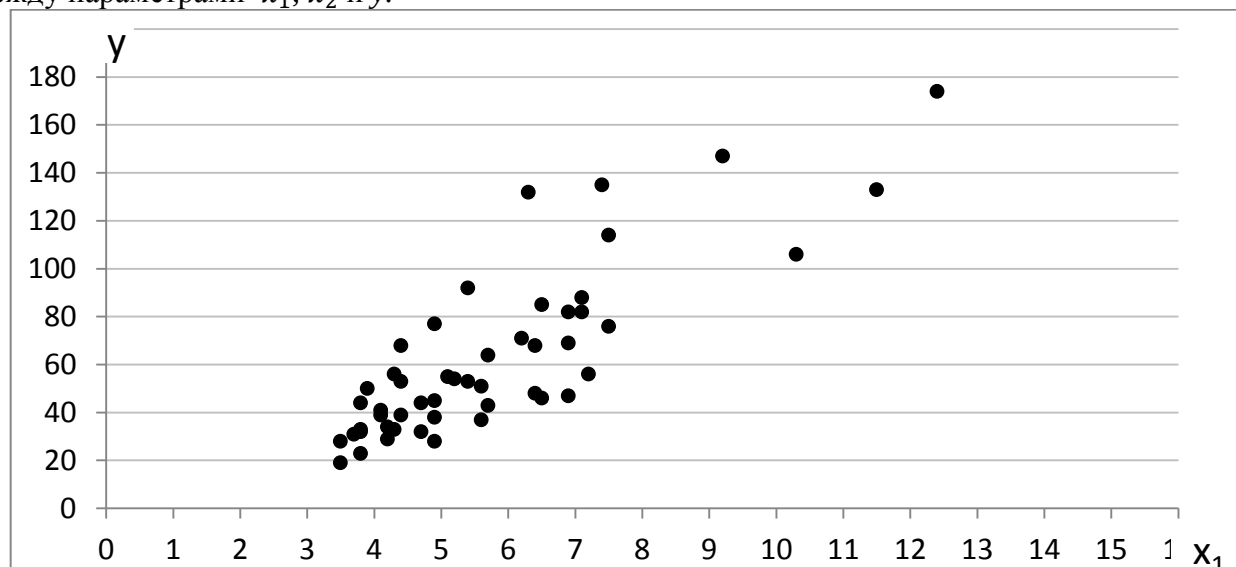


Рис. 1 – Поле корреляции y и x_1

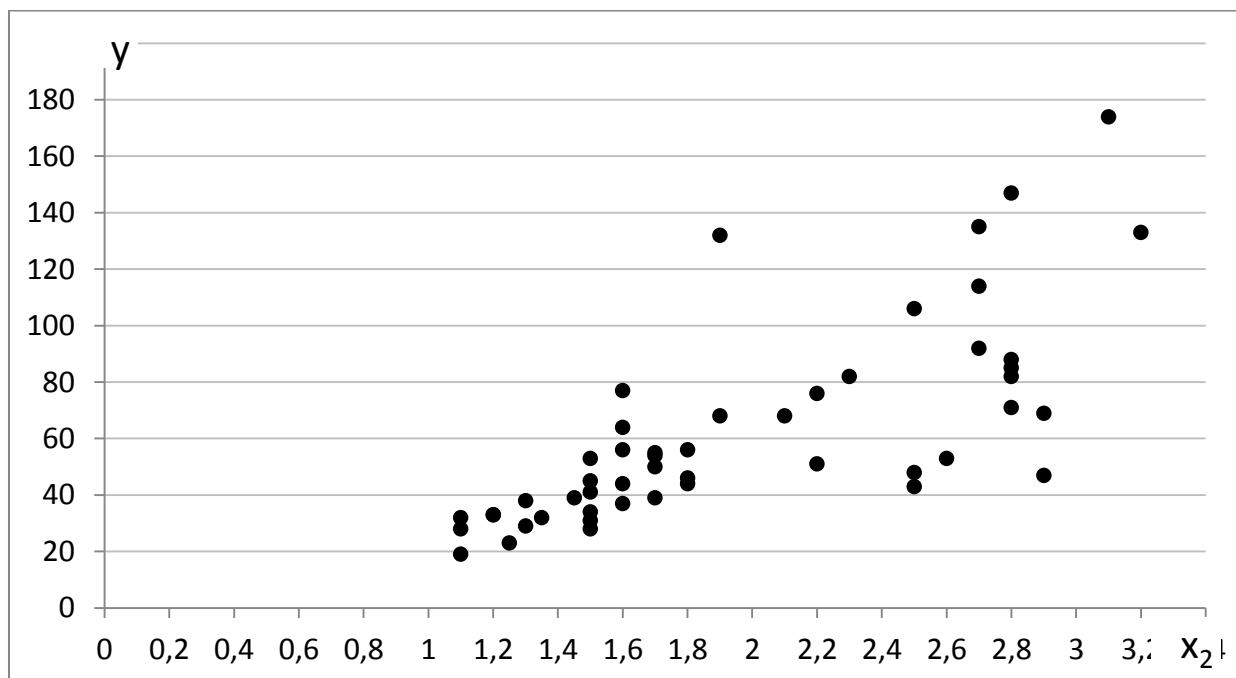


Рис. 2 – После корреляции между x_2 и y

Таблица 2 – Расчетные значения для определения коэффициента корреляции между параметрами x_i и y

№ экз.	x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
1	5,2	54	-0,542	-8,48	0,294	71,91	4,596
2	4,9	28	-0,842	-34,48	0,709	1188,87	29,032
3	4,1	39	-1,642	-23,48	2,696	551,31	38,554
4	4,7	32	-1,042	-30,48	1,086	929,03	31,760
5	4,2	29	-1,542	-33,48	2,378	1120,91	51,626
6	5,6	51	-0,142	-11,48	0,020	131,79	1,630
7	6,5	46	0,758	-16,48	0,575	271,59	-12,492
8	6,3	132	0,558	69,52	0,311	4833,03	38,792
9	4,4	53	-1,342	-9,48	1,801	89,87	12,722
10	5,1	55	-0,642	-7,48	0,412	55,95	4,802
11	12,4	174	6,658	111,52	44,329	12436,71	742,500
12	3,9	50	-1,842	-12,48	3,393	155,75	22,988
13	7,5	76	1,758	13,52	3,091	182,79	23,768
14	4,9	38	-0,842	-24,48	0,709	599,27	20,612
15	3,8	33	-1,942	-29,48	3,771	869,07	57,250
16	3,5	28	-2,242	-34,48	5,027	1188,87	77,304
17	5,7	64	-0,042	1,52	0,002	2,31	-0,064
18	6,9	47	1,158	-15,48	1,341	239,63	-17,926
19	7,1	82	1,358	19,52	1,844	381,03	26,508
20	10,3	106	4,558	43,52	20,775	1893,99	198,364
21	4,4	68	-1,342	5,52	1,801	30,47	-7,408
22	3,8	44	-1,942	-18,48	3,771	341,51	35,888
23	3,7	31	-2,042	-31,48	4,170	990,99	64,282
24	11,5	133	5,758	70,52	33,155	4973,07	406,054
25	6,5	85	0,758	22,52	0,575	507,15	17,070
26	5,4	92	-0,342	29,52	0,117	871,43	-10,096
27	7,5	114	1,758	51,52	3,091	2654,31	90,572
28	6,2	71	0,458	8,52	0,210	72,59	3,902
29	4,4	39	-1,342	-23,48	1,801	551,31	31,510
30	7,2	56	1,458	-6,48	2,126	41,99	-9,448
31	6,4	68	0,658	5,52	0,433	30,47	3,632
32	3,8	32	-1,942	-30,48	3,771	929,03	59,192
33	6,9	69	1,158	6,52	1,341	42,51	7,550
34	4,3	33	-1,442	-29,48	2,079	869,07	42,510
35	5,6	37	-0,142	-25,48	0,020	649,23	3,618
36	6,9	82	1,158	19,52	1,341	381,03	22,604
37	5,7	43	-0,042	-19,48	0,002	379,47	0,818
38	6,4	48	0,658	-14,48	0,433	209,67	-9,528
39	3,8	23	-1,942	-39,48	3,771	1558,67	76,670
40	4,9	45	-0,842	-17,48	0,709	305,55	14,718
41	9,2	147	3,458	84,52	11,958	7143,63	292,270
42	7,4	135	1,658	72,52	2,749	5259,15	120,238
43	4,2	34	-1,542	-28,48	2,378	811,11	43,916
44	7,1	88	1,358	25,52	1,844	651,27	34,656
45	4,9	77	-0,842	14,52	0,709	210,83	-12,226
46	4,1	41	-1,642	-21,48	2,696	461,39	35,270

47	3,5	19	-2,242	-43,48	5,027	1890,51	97,482
48	4,7	44	-1,042	-18,48	1,086	341,51	19,256
49	4,3	56	-1,442	-6,48	2,079	41,99	9,344
50	5,4	53	-0,342	-9,48	0,117	89,87	3,242
	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sum (x_i - \bar{x})^2$			$\sum (y_i - \bar{y})^2$	
	5,74 2	62,48	189,922			60484,48	

Таблица 3 – Расчетные значения для определения коэффициента корреляции между параметрами x_2 и y

№ экз .	x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
1	1,7	54	-0,269	-8,48	0,072	71,91	2,281
2	1,5	28	-0,469	-34,48	0,220	1188,87	16,171
3	1,45	39	-0,519	-23,48	0,269	551,31	12,186
4	1,35	32	-0,619	-30,48	0,383	929,03	18,867
5	1,3	29	-0,669	-33,48	0,448	1120,91	22,398
6	2,2	51	0,231	-11,48	0,053	131,79	-2,652
7	1,8	46	-0,169	-16,48	0,029	271,59	2,785
8	1,9	132	-0,069	69,52	0,005	4833,03	-4,797
9	1,5	53	-0,469	-9,48	0,220	89,87	4,446
10	1,7	55	-0,269	-7,48	0,072	55,95	2,012
11	3,1	174	1,131	111,52	1,279	12436,71	126,129
12	1,7	50	-0,269	-12,48	0,072	155,75	3,357
13	2,2	76	0,231	13,52	0,053	182,79	3,123
14	1,3	38	-0,669	-24,48	0,448	599,27	16,377
15	1,2	33	-0,769	-29,48	0,591	869,07	22,670
16	1,1	28	-0,869	-34,48	0,755	1188,87	29,963
17	1,6	64	-0,369	1,52	0,136	2,31	-0,561
18	2,9	47	0,931	-15,48	0,867	239,63	-14,412
19	2,3	82	0,331	19,52	0,110	381,03	6,461
20	2,5	106	0,531	43,52	0,282	1893,99	23,109
21	1,9	68	-0,069	5,52	0,005	30,47	-0,381
22	1,6	44	-0,369	-18,48	0,136	341,51	6,819
23	1,5	31	-0,469	-31,48	0,220	990,99	14,764
24	3,2	133	1,231	70,52	1,515	4973,07	86,810
25	2,8	85	0,831	22,52	0,691	507,15	18,714
26	2,7	92	0,731	29,52	0,534	871,43	21,579
27	2,7	114	0,731	51,52	0,534	2654,31	37,661
28	2,8	71	0,831	8,52	0,691	72,59	7,080
29	1,7	39	-0,269	-23,48	0,072	551,31	6,316
30	1,8	56	-0,169	-6,48	0,029	41,99	1,095
31	2,1	68	0,131	5,52	0,017	30,47	0,723
32	1,1	32	-0,869	-30,48	0,755	929,03	26,487
33	2,9	69	0,931	6,52	0,867	42,51	6,070
34	1,2	33	-0,769	-29,48	0,591	869,07	22,670
35	1,6	37	-0,369	-25,48	0,136	649,23	9,402
36	2,8	82	0,831	19,52	0,691	381,03	16,221

37	2,5	43	0,531	-19,48	0,282	379,47	-10,344
38	2,5	48	0,531	-14,48	0,282	209,67	-7,689
39	1,25	23	-0,719	-39,48	0,517	1558,67	28,386
40	1,5	45	-0,469	-17,48	0,220	305,55	8,198
41	2,8	147	0,831	84,52	0,691	7143,63	70,236
42	2,7	135	0,731	72,52	0,534	5259,15	53,012
43	1,5	34	-0,469	-28,48	0,220	811,11	13,357
44	2,8	88	0,831	25,52	0,691	651,27	21,207
45	1,6	77	-0,369	14,52	0,136	210,83	-5,358
46	1,5	41	-0,469	-21,48	0,220	461,39	10,074
47	1,1	19	-0,869	-43,48	0,755	1890,51	37,784
48	1,8	44	-0,169	-18,48	0,029	341,51	3,123
49	1,6	56	-0,369	-6,48	0,136	41,99	2,391
50	2,6	53	0,631	-9,48	0,398	89,87	-5,982
	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sum (x_i - \bar{x})^2$		$\sum (y_i - \bar{y})^2$		
	1,96 9	62,48	18,959		60484,48		

Подставим вычисленные значения в формулу (3) и определим значения коэффициентов корреляции для взаимосвязи y и x_1 , y и x_2 . Они будут соответственно равны 0,8379 и 0,7380. После введения поправки значения выборочных коэффициентов составят:

$$r'_1 = 0,84 \text{ и } r'_2 = 0,74. \quad (5)$$

Значение выборочных коэффициентов линейной корреляции Пирсона свидетельствует о сильной связи параметров. Т.к. такой коэффициент является выборочной характеристикой, то необходимо оценить его значимость. Выдвинем нулевую гипотезу h_0 , которая заключается в отсутствии линейной корреляционной связи между исследуемыми переменными в генеральной совокупности ($\rho=0$). Альтернативной гипотезой h_1 является утверждение о том, что генеральный коэффициент корреляции ρ отличен от нуля ($\rho \neq 0$).

Т.к. объем выборки равен 50, то для проверки гипотезы об отсутствии корреляции между параметрами y и x_1 , y и x_2 воспользуемся преобразованием Фишера [10]:

$$u = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r'}{1-r'}. \quad (6)$$

Проверка гипотезы заключается в сравнении вычисленного значения u с критическим значением, вычисляемым по формуле:

$$u_\alpha = z_{1-\alpha/2} \cdot \frac{1}{\sqrt{n-3}}, \quad (7)$$

где $z_{1-\alpha/2}$ – квантили нормированного распределения (для $\alpha = 0,05$ $z_{1-\alpha/2} = 1,96$, для $\alpha = 0,01$ $z_{1-\alpha/2} = 2,576$).

Подставив необходимые значения в формулы (6) и (7), получим для взаимосвязи y и x_1 $u = 1,2212$, для взаимосвязи y и x_2 $u = 0,9505$, $u_{0,05} = 0,286$, $u_{0,01} = 0,3758$.

На рис. 3 и 4 показано графическое представление значений на оси u для взаимосвязи y и x_1 , y и x_2 соответственно.

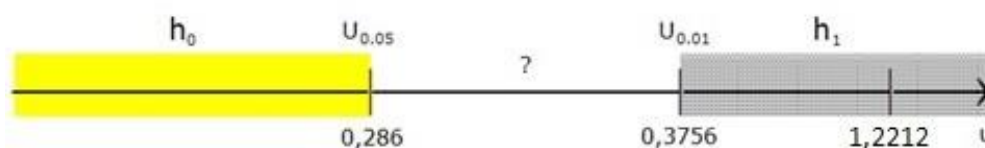


Рис. 3 – Графическое представление значений на оси u для взаимосвязи y и x_1

Рис. 4 – Графическое представление значений на оси u для взаимосвязи u и x_2

По рис. 3 и 4 видно, что вычисленное значение попадает в критическую область $|u| > u_{0.01}$, т.е. гипотеза h_1 не отвергается, а значит корреляция между переменными считается значимой.

Для оценки генерального коэффициента линейной корреляции Пирсона необходимо вычислить границы доверительного интервала r_1 и r_2 по формулам [11]:

$$r_1 = \frac{e^{2 \cdot u_1} - 1}{e^{2 \cdot u_1} + 1}, \quad (8)$$

$$r_2 = \frac{e^{2 \cdot u_2} - 1}{e^{2 \cdot u_2} + 1}. \quad (9)$$

где $u_1 = u - u_{0.05}$, $u_2 = u + u_{0.05}$.

Подставив необходимые значения в формулы (8) и (9), для взаимосвязи u и x_1 получим: $r_1 = 0,733$, $r_2 = 0,9064$; для взаимосвязи u и x_2 получим: $r_1 = 0,5814$, $r_2 = 0,8445$.

Таким образом, с доверительной вероятностью равной 95% генеральные коэффициенты линейной корреляции Пирсона для взаимосвязей u и x_1 , u и x_2 лежат в границах:

$$0,733 < \rho < 0,906; \quad (10)$$

$$0,581 < \rho < 0,845 \quad (11)$$

Заключение

На основе корреляционного и регрессионного анализа проведён выбор информативных параметров для микросхем серии 564. По результатам обучающего эксперимента определены значения прогнозируемого параметра и коэффициентов корреляции. Проведённые исследования показали, что полученные значения генерального коэффициента линейной корреляции Пирсона свидетельствуют о сильной корреляционной связи между параметрами x_1 и x_2 . Таким образом, вторичный отбор проходит только параметр x_1 , который можно рекомендовать в качестве информативного для проведения индивидуального прогнозирования ИМС серии 564.

Список литературы

1. Тюлевин С.В., Пиганов М.Н., Еранцева Е.С. К проблеме прогнозирования показателей качества элементов космической аппаратуры // Надежность и качество сложных систем, 2014. №1(5). С. 9-17.
2. Mishanov R., Piganov M. Individual forecasting of quality characteristics by an extrapolation method for the stabilitrons and the integrated circuits // The experience of designing and application of CAD systems in Microelectronics (CADSM 2015): Proceeding XIII international conference. Ukraine, Lviv. 2015. P. 242-244.
3. Piganov M., Tyulevin S., Erantseva E. Individual prognosis of quality indicators of space equipment elements // The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM 2015): Proceeding XIII international conference. Ukraine, Lviv. 2015. P. 367-371.
4. Тюлевин С.В., Пиганов М.Н. Структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической аппаратуры // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2008. Вып.1. С. 92-96.
5. Пиганов М.Н., Тюлевин С.В. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Информатика.-Телекоммуникации. Управление». 2009. Вып.1. С. 175-182.
6. Пиганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. 267 с.
7. Мишанов Р.О., Пиганов М.Н. Разработка прогнозной модели качества полупроводниковых приборов методом экстраполяции // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2014. Том 6. №4(3). С. 594-599.
8. Мишанов Р.О., Пиганов М.Н. Методика определения набора информативных параметров для проведения индивидуального прогнозирования показателей качества и надёжности радиоэлектронных средств // Надежность и качество сложных систем, 2017. №1(17). С. 93-104.
9. Гришин А.Ф., Кочерова Е.В. Статистические модели: построение, оценка, анализ: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005. 416 с.
10. Харченко М.А. Корреляционный анализ: учеб. пособие для вузов. Изд-во: ИПЦ ВГУ, 2008. 31 с.
11. Юрков Н.К. Оценка безопасности сложных технических систем // Надёжность и качество сложных систем, 2013. №2. С. 15-21.

05.13.01

М.А. Салихова, О.А. Степущенко, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, mitsuko.izanami@gmail.com

**СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ
О ПОЛОЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКЕ
НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ
РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ π -СДВИГОМ**

В работе представлены результаты проектирования системы сбора информации, предназначенной на предотвращение пролежней у пациента, большую часть времени, находящегося в инвалидной коляске. В основе сенсорной части системы используются датчики давления на основе линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток с фазовым π -сдвигом. Применение таких решеток позволит как увеличить точность контроля положения пациента по изменению давления, оказываемого им на определенные контрольные точки коляски, так и снизить стоимость системы опроса датчиков, которая ограничивает применение аналогичных волоконно-оптических систем в медицинской практике.

Ключевые слова: линейно-чирпированная волоконная брэгговская решетка; пролежни; инвалидная коляска; датчики давления; система опроса датчиков, система контроля состояния пациента.

Введение. Все пациенты, которые постоянно или даже временно обездвижены, например, после операции, подвержены высокому риску развития пролежней. Среди них основная группа риска – пациенты, сидящие в инвалидной коляске более восьми часов в день. При этом основные зоны тела, контактирующие с коляской – лопатки, сидалищные зоны и пятки [1].

Преимущества технологии применения датчиков на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР) по сравнению с их электронными аналогами включают возможность мультиплексирования нескольких датчиков в одном оптическом волокне, невосприимчивость к электромагнитным помехам, возможность использования без применения электрического питания, что делает их безусловно применимыми в медицинской практике.

Предлагаемая система контроля состояния пациентов включает шесть датчиков, установленных в стратегических зонах инвалидной коляски (спинка, сиденье и подставка для ног с обеих сторон), соединенных со спектральным оптико-электронным интеррогатором (СОЭИ). Информация, полученная с помощью системы, позволит контролировать давление, с которым пациент давит на указанные зоны коляски, длительность нахождения в коляске, движения пациента и, кроме того, оценить частоту дыхания, возможную потерю сознания и другую информацию для раннего выявления заболеваний.

В то время как типичная однородная ВБР составляет в длину до 5 мм, а минимальное расстояние между чувствительными элементами обычно ограничено 10 мм, типичная длина ЛЧВБР составляет 15–50 мм, и потенциально может иметь пространственное разрешение в пределах одного миллиметра [2]. С этой точки зрения датчики ЛЧВБР могут стать хорошей альтернативой точечным ВБР с одним π -сдвигом, которые отличаются от классических гауссовых ВБР более высокой разрешающей способностью [3], поскольку в одной ЛЧВБР можно сформировать несколько таких сдвигов [4].

Формирование фазовых сдвигов или окон прозрачности в отражающем спектре ЛЧВБР позволит осуществить функцию переноса информации о воздействии на датчик, формируемой в оптическом диапазоне, в радиочастотный микроволновый диапазон. Обработка информации в микроволновом диапазоне существенно выигрывает по точности и разрешающей способности у оптического. Кроме того, создание радиофотонного интеррогатора позволит создать устройство на 2-3 порядка более дешевое, чем СОЭИ.

Для реализации в датчиках давления этих принципов можно использовать как две ЛЧВБР без фазовых сдвигов, так и две ЛЧВБР с записью фазового сдвига, например, по центру решеток. При этом возникающий сдвиг спектров решеток, вызванный изменением давления пациента на определенные нами зоны, в которых установлены датчики, приведет к возникновению разностной частоты между окнами прозрачности и генерации на выходе фотоприемника частоты, лежащей в микроволновом диапазоне, пропорциональной давлению.

Система на основе ЛЧВБР без фазовых сдвигов. Для защиты целостности ЛЧВБР встраивается в специальную упругую капсулу. Таким образом, когда на капсулу давит пациент, капсула растягивается, вызывая деформацию в оптическом волокне, и, следовательно, сдвиг отраженных длины волн Брэгга ЛЧВБР (рис. 1).

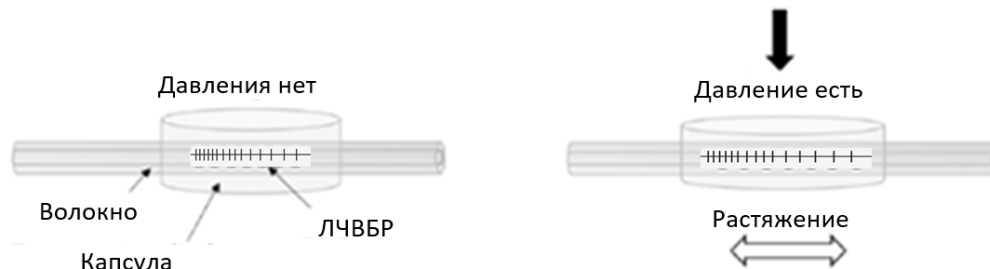


Рис. 1 – Схематическое изображение датчика на основе ЛЧВБР без фазовых сдвигов под воздействием давления и без него

На рис. 2 представлена радиофотонная система опроса отражательного типа, основанная на ЛЧМ зондировании двух ЛЧВБР датчиков, первый из которых закреплен свободно и является датчиком температуры, а второй закреплен в одной из указанных зон инвалидной коляски, и является датчиком давления с принципом действия, показанным на рис. 1.

На вставке к рис. 2 показано изменение спектра ЛЧВБР2 при отсутствии (б/д) и приложении (с/д) давления пациента, опирающегося на капсулу в зоне установки на коляске.

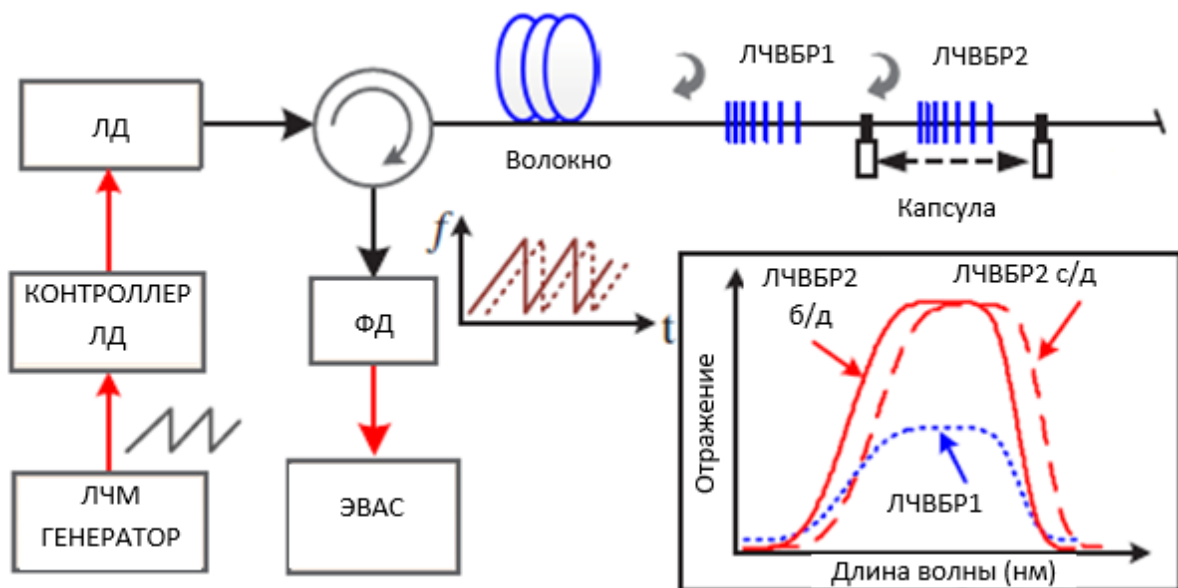


Рис. 2 – Структурная схема радиофотонного интеррогатора для ЛЧВБР без фазовых сдвигов [5]: ЛД – лазерный диод; ФД – фотодетектор

Известно, что сдвиг длины волны Брэгга в зависимости от величины приложенной деформации к ЛЧВБР можно выразить как [5]:

$$\Delta\lambda = \lambda_0 (1 - P_e) \Delta\epsilon, \quad (1)$$

где $\Delta\lambda$ – сдвиг длины волны, вызванный деформацией растяжения, P_e – эффективная упруго-оптическая постоянная, равная 0,22 при 1550 нм, λ_0 – начальная длина волны при ненагруженном состоянии ЛЧВБР2, а $\Delta\epsilon$ – деформация, вызванная приложенным давлением.

Для ЛЧВБР со скоростью чирпа C_{chirp} (нм/см) можно переписать (1) и получить связь между временной задержкой $\Delta\tau$, вызванной сдвигом λ_0 в силу приложенной деформации [5]:

$$\Delta\tau = 2n\lambda_0 (1 - P_e) \Delta\epsilon / cC_{chirp}, \quad (2)$$

и частотой биений между λ_0 ЛЧВБР1 и смещенным положением λ_0 ЛЧВБР2 с величиной приложенной деформации [5]:

$$f_b = \alpha n\lambda_0 (1 - P_e) \Delta\epsilon / \pi cC_{chirp}, \quad (3)$$

где α – скорость изменения зондирующего ЛЧМ сигнала.

Путем измерения с помощью электронного векторного анализатора спектра (ЭВАС) сдвига частоты сигнала биений (3), вызванного изменением временной задержки (2) можно определить величину приложенной деформации $\Delta\epsilon$ и соответствующему ей давления с каким пациент опирается на контрольные зоны коляски. Дополнительным преимуществом является тот факт, что схема не чувствительна к температуре, в силу близкого расположения решеток друг к другу [5].

Несмотря на полученные преимущества схемы радиофотонной интеррогации и возможностью получить погрешность измерения давления с разрешением 0,25 $\mu\epsilon$ по вызванной им деформации, схема достаточно сложна в реализации и конструктивно позволяет опрашивать только один датчик. Для получения информации с нескольких датчиков необходимо использовать сплиттер на 6 каналов, а пары датчиков разнести на разные расстояния между собой, чтобы получить частоты биений в неперекрывающихся диапазонах. Датчик температуры на ЛЧВБР1 можно сделать общим, однако, возникнет проблема компенсации температуры в различных местах установки датчиков давления ЛЧВБР2.

Система на основе ЛЧВБР с одним фазовым π -сдвигом. Для упрощения схемы было предложено записать ЛЧВБР с одним фазовым π -сдвигом, расположенным в центре решеток.

На рис. 3 представлена структурная схема радиофотонной системы опроса пропускающего типа, основанная на широкополосном зондировании двух ЛЧВБР датчиков с фазовым π -сдвигом (π -ЛЧВБР).

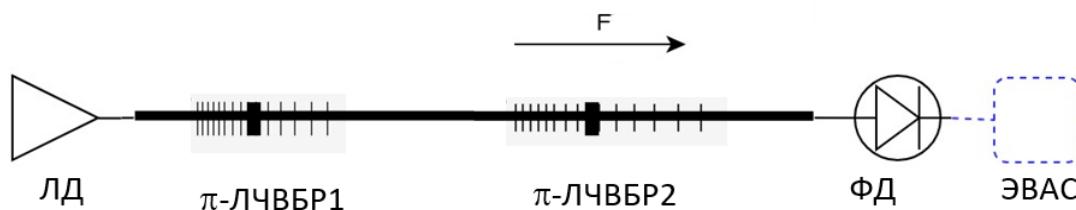


Рис. 3 - Структурная схема радиофотонного интеррогатора для ЛЧВБР с фазовых π -сдвигом

На рис. 4,а показана амплитудно-частотная характеристика π -ЛЧВБР, а на рис. 4,б – положение двух решеток при отсутствии давления (б/д) и изменение спектра π -ЛЧВБР2 при приложении (с/д) давления пациента, опирающегося на капсулу в зоне установки на коляске.

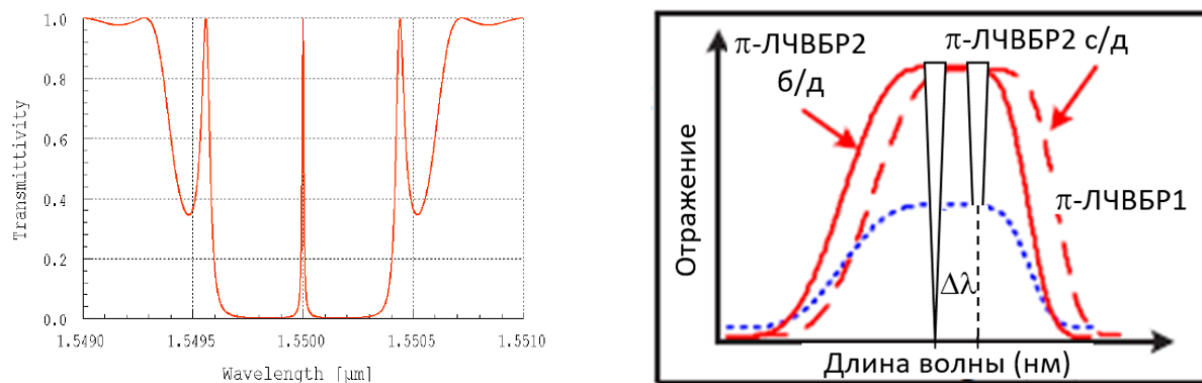


Рис. 4 – Спектр π -ЛЧВБР (а) и его изменение в ходе измерений (б)

В этом случае частота биений f_b , соответствующая $\Delta\lambda$, вычисляется как разностная частота между положениями окон прозрачности π -ЛЧВБР1 и π -ЛЧВБР2, которое пропорционально давлению, приложенному ко второму датчику (1). Система опроса датчиков существенно упрощается, а разрешающая способность будет определяться разрешающей способностью ЭВАС, которая в принципе может быть равна 1 Гц.

Заключение. В работе представлены результаты проектирования системы сбора информации, предназначенной для предотвращения пролежней у пациента, находящихся в инвалидной коляске. В основе сенсорной части системы впервые используются датчики давления на основе π -ЛЧВБР. Применение таких решеток и разработанных радиофотонных методов их опроса позволило как увеличить точность контроля положения пациента, так и снизить стоимость системы опроса датчиков. Адресный вариант решения можно найти используя принципы построения адресных решеток [6]. В этом случае в ЛЧВБР формируются два фазовых π -сдвига симметрично от центра решетки. В шести датчиках коляски разностная частота между двумя окнами прозрачности должна быть разной и не удовлетворять условию кратности. Данный вариант системы будет рассматриваться как продолжение темы исследований.

Список литературы

1. Tavares C. et al. Wheelchair pressure ulcer prevention using FBG based sensing devices // Sensors. 2020. V. 20. P. 212.
2. Tosi D. Review of chirped fiber Bragg grating (CFBG) fiber-optic sensors and their applications // Sensors. 2018. V. 18. P. 2147.
3. Садыков И.Р. и др. Волоконно-оптический рефрактометрический датчик // Труды МАИ. 2012. № 61. С. 18.
4. Chen X. et al. Phase shifts induced by the piezoelectric transducers attached to a linearly chirped fiber Bragg grating // J. of Light. Tech. 2010. V. 28(14). P. 2017-2020.
5. Wang Y. et al. Interrogation of a linearly chirped fiber Bragg grating sensor with high resolution using a linearly chirped optical waveform // Opt. Lett. 2015. V. 40(21). P. 4923-4926.
6. Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж. Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.

05.13.01

**М.А. Салихова, О.А. Степушенко, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов,
А.Ж. Сахабутдинов, И.И. Нуреев**

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, mitsuko.izanami@gmail.com

**РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ
О ПОЛОЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКЕ
НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ
БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ДВУМЯ ФАЗОВЫМИ π -СДВИГАМИ**

В основе сенсорной части представленной в данной статье системы сбора информации, предназначенной для предотвращения пролежней у неподвижных пациентов, находящихся в инвалидной коляске, впервые используются датчики давления на основе адресных линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток с двумя фазовыми π -сдвигами. Применение таких систем позволит решить проблемы адресности получаемой информации от конкретных датчиков коляски и компенсации в ней составляющей, определяемой температурными изменениями в процессе мониторинга.

Ключевые слова: линейно-чирпированная волоконная брэгговская решетка; фазовый сдвиг; адресность; пролежни; инвалидная коляска; датчик давления; компенсация температуры, система опроса датчиков.

Введение. Пролежни являются серьезной проблемой для людей с травмами спинного мозга (ТСМ). Статистика показывает, что более 50% людей с ТСМ страдают от пролежней в период их жизни [1]. Снизить стоимость лечения и улучшить качество жизни людей с ТСМ, можно с помощью профилактических и мониторинговых мероприятий.

Две основные стратегии предотвращения пролежней для пациентов, находящихся в инвалидных колясках, заключаются в следующем: создание кресел со специальными подушками, которые могут равномерно распределить вес тела на большой площади [2]; создание систем мониторинга, которые позволяют контролировать выполнение пациентом расслабляющих упражнений (проводить мониторинг давления тела на коляску).

Для создания мониторинговых систем используются различные технологии, при этом практически все они высокочувствительны – видеоаналитика, массив датчиков от 128 до 2056 для контроля рельефа давления и т.д. К этому же классу систем относятся и волоконно-оптические системы на волоконных брэгговских решетках, стоимость системы интеррогации которых достигает десятков тысяч долларов. Более дешевые интеррогаторы не обладают требуемым разрешением для проведения профилирования [3].

Предложенные недавно системы на двух линейно-чирпированных волоконных брэгговских решетках (ЛЧВБР) без и с одним фазовым сдвигом позволяют частично решить указанные проблемы. Однако, в их арсенале отсутствует аппарат обеспечения адресности измерений. Даже для шести датчиков, установленных в зонах лопаток, сидища, пяток с обеих сторон тела, требуется применение 12, а то и большего количества датчиков, соединенных отдельными волокнами снижения [4].

В данной статье будут использованы принципы построения и работы адресных волоконных брэгговских решеток (АВБР), представленные в [5]. Ключевым свойством АВБР является возможность переноса информации о воздействии на датчик, формируемой в оптическом диапазоне, в радиочастотный микроволновый диапазон. Обработка информации

в микроволновом диапазоне существенно выигрывает по точности и разрешающей способности у оптического. Кроме того, создание радиотонного интеррогатора позволит снизить стоимость системы.

Система на основе ЛЧВБР с двумя фазовыми сдвигами (адресные ЛЧВБР, а-ЛЧВБР). Для реализации в датчиках давления радиотонных адресных принципов при записи а-ЛЧВБР необходимо предусмотреть запись двух фазовых сдвигов с разностной частотой между ними, лежащей в микроволновом диапазоне. Величина этой разностной частоты может отличаться от датчика к датчику или внутри одного датчика, формируя при обработке адресные свойства принимаемой информации (рис. 1).

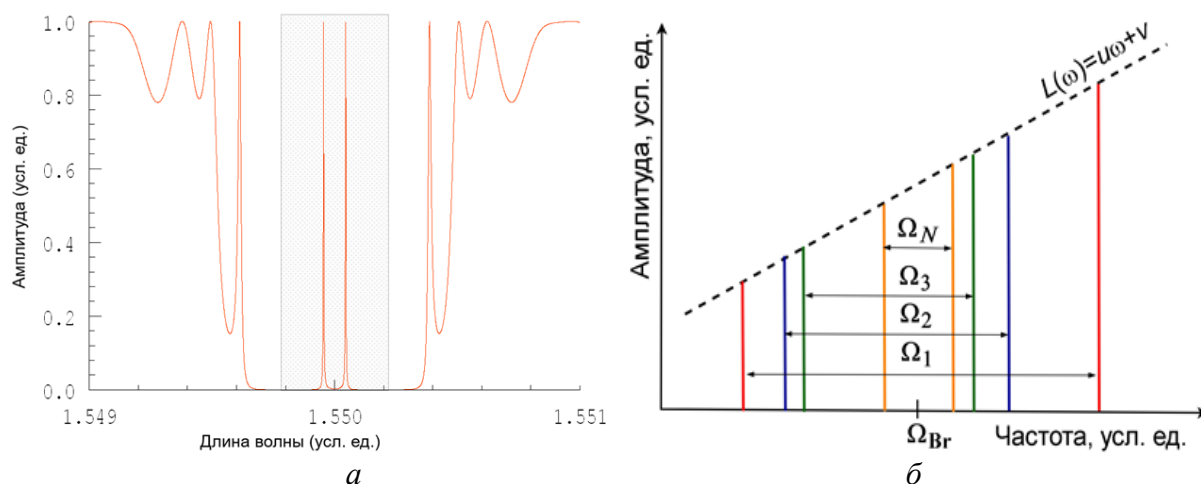


Рис. 1 – Спектр а-ЛЧВБР (а) и набор адресных частот для N таких решеток

На рис. 2 приведена оптико-электронная схема системы сбора информации о положении пациента, включающего в себя внешний модуль, устанавливаемый под сиденьем коляски, и сенсорную часть измерительного зонда с датчиками. Датчики по два объединены в три группы по месту их расположения – в области лопаток, сидалища и пяток.

Определим диапазон изменения центральной длины волны оптоволоконного датчика в 2 нм (диапазон хождения по температуре), получим, что требуемая разрешающая способность определения центральной длины волны составит 0,3–1,5 пм или 37,5–187,5 МГц для определения центральной частоты, что является вполне достижимой величиной для радиотонных методов измерений с а-ЛЧВБР [6].

Лазерный источник ЛИ (рис. 2) направляет широкополосное лазерное излучение, которое проходя через а-ЛЧВБР1, формирует излучение эквивалентное частотным диапазонам смещения центральных частот, входящих в измерительную систему а-ЛЧВБР2 датчиков. Сформированное излучение делится делителем СД на три оптических канала, в каждом из которых располагаются по два а-ЛЧВБР датчика (Д1.х, Д2.х и Д3.х).

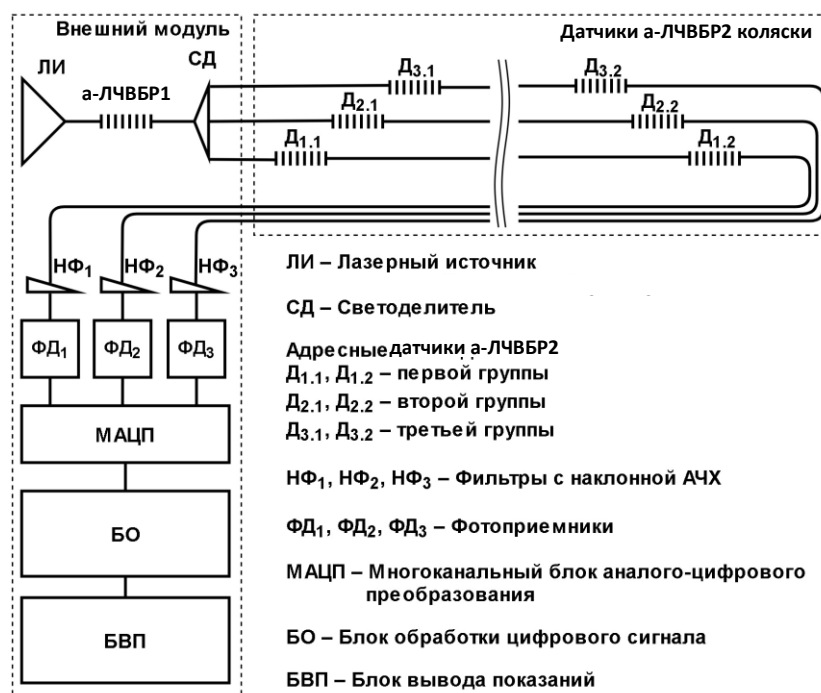


Рис. 2 – Оптико-электронная схема системы сбора информации

В каждом оптическом канале лазерное излучение, проходит через два а-ЛЧВБР датчика и проходит через фильтр с наклонной АЧХ, который асимметрично меняет амплитуды частотных компонент, формирующих адресные частоты (рис. 1,б), после чего принимается на фотоприемнике.

Электрический сигнала на выходе фотоприемника для двух датчиков в одном канале пропорционален:

$$P(t) = \left(\frac{A_1^2 + B_1^2 + A_2^2 + B_2^2}{2} \right) + (A_1 B_1 \cos(\Omega_1 t) + A_2 B_2 \cos(\Omega_2 t)) + \left[\begin{aligned} &A_1 A_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t + A_1 B_2 \cos(\omega_1 - \omega_2 - \Omega_2)t + \\ &B_1 A_2 \cos(\omega_1 - \omega_2 + \Omega_1)t + B_1 B_2 \cos(\omega_1 - \omega_2 + \Omega_1 - \Omega_2)t \end{aligned} \right] \quad (1)$$

Выражение (1) позволяет однозначно определить положение а-ЛЧВБР₁ и а-ЛЧВБР₂ по коэффициенту модуляции огибающей биений между адресными компонентами соответствующего датчика. Адрес датчика определяется уникальной для него частотой биений, равной адресной.

Однозначное определение положения решеток достигается практически всегда, кроме двенадцати случаев, когда частоты, возникающие в одном из четырех слагаемых в квадратных скобках совпадают с адресными частотами Ω_1 или Ω_2 а-ЛЧВБР₁ и а-ЛЧВБР₂ структур. В [5] решена задача определения положения каждой а-ЛЧВБР как в общем случае, так и в случае возникновения в измерительной системе частот, совпадающих с адресными, аналогичный нашему.

Электрический сигнал с каждого фотоприемника независимо оцифровывается на многоканальном АЦП (МАЦП) и поступает в блок обработки, где осуществляется фильтрация сигналов в каждом канале на адресных частотах а-ЛЧВБР. После фильтрации сигнала на адресных частотах в режиме реального времени производится определение центральных частот а-ЛЧВБР датчиков согласно методике измерительного преобразования и вычисление показаний давления с выводом данных на монитор исследователя БВП [5].

Центральные и адресные частоты а-ЛЧВБР датчиков в каждом оптическом канале подбираются таким образом, чтобы, во-первых, исключить совпадение адресных частот, во-вторых, исключить пересечение спектров а-ЛЧВБР, так, чтобы их можно было включать последовательно вдоль одного участка волокна и одновременно избежать возникновения после фотоприемника частот, совпадающих с адресными (рис. 1,б). Поскольку прием, обработка и анализ данных в каждом оптическом канале производится независимо, адресные и центральные частоты а-ЛЧВБР в каждом из оптических каналов могут быть выбраны одинаковыми, чтобы унифицировать элементную базу.

Заметим, что в качестве наклонного фильтра, входящего в измерительную систему, может быть использованы специальным образом структурированные волоконные брэгговские решетки.

Внешний модуль в электронной части может быть сделан на основе беспроводных технологий, что значительно снизит его энергопотребление. Для этого могут быть использованы интерфейсы таких технологий как WiFi6, 5G, LoraWAN и т.д. Кроме того установленный термостат позволит стабилизировать а-ЛЧВБР1 по температуре и сделать ее опорной для всей системы с реализацией функции компенсации датчиков давления.

Заключение. В работе представлены результаты проектирования адресной системы сбора информации, предназначенной для предотвращения пролежней у пациента, находящихся в инвалидной коляске. В основе сенсорной части системы впервые используются датчики давления на основе а-ЛЧВБР. Применение таких решеток и разработанных радиофотонных методов их опроса позволило как обеспечить адресный опрос каждого датчика в зонах лопаток, сидалища и пяток пациента, так и существенно снизить стоимость интеррогатора, при переходе на радиофотонные методы обработки.

Кроме этого использование простейшей системы приема и обработки информации позволяет крепить ее непосредственно на коляске и обеспечить термостатирование а-ЛЧВБР1, сделав ее опорной для всей информационно-измерительной системы. В этом случае разностная частота между компонентами опорной а-ЛЧВБР1 и измерительными а-ЛЧВБР2 будет представлять собой однозначную информацию о давлении пациента на коляску.

Коллизии, связанные с возможностью совпадения компонент адресных частот различных датчиков могут быть устранены по известным вычислительным методикам, встроенным в программное обеспечение системы.

Список литературы

1. *Tavares C. et al.* Wheelchair pressure ulcer prevention using FBG based sensing devices // *Sensors*. 2020. V. 20. P. 212.
2. *Dai R. et al.* A robust wheelchair pressure relief monitoring system // In *Proceedings IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2012. P. 6107.
3. *Tosi D.* Review of chirped fiber Bragg grating (CFBG) fiber-optic sensors and their applications // *Sensors*. 2018. V. 18. P. 2147.
4. *Wang Y. et al.* Interrogation of a linearly chirped fiber Bragg grating sensor with high resolution using a linearly chirped optical waveform // *Opt. Lett.* 2015. V. 40(21). P. 4923-4926.
5. *Морозов О.Г., Сахабутдинов А.Ж.* Адресные волоконные брэгговские структуры в квазираспределённых радиофотонных сенсорных системах // *Компьютерная оптика*. 2019. Т. 43. № 4. С. 535-543.
6. *Мисбахов Р.Ш. и др.* Волоконные брэгговские решетки с двумя фазовыми сдвигами как чувствительный элемент и инструмент мультиплексирования сенсорных сетей // *Инженерный вестник Дона*. 2017. № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4343/.

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

05.13.06

А.П. Быков, С.В. Андросов, М.Н. Пиганов д-р техн. наук

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
kipres@ssau.ru

**ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

В данной статье предложена программа и технология автоматизированных механических испытаний бортовых радиоэлектронных приборов. Приведены результаты испытаний прибора на обнаружение резонанса конструктивных элементов, на прочность при воздействии транспортировочных нагрузок, на устойчивость к действию широкополосной вибрации, на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов, на прочность при воздействии линейного ускорения. Разработан модуль сопряжения аппаратуры и испытательного оборудования с автоматизированным испытательным комплексом.

Ключевые слова: *механические испытания, автоматизация, технология, модуль сопряжения, радиоэлектронный прибор.*

Введение

Одним из серьезных внешних факторов, снижающих надежность бортовой аппаратуры космических аппаратов (КА), являются механические воздействия (вибрации, удары, линейные нагрузки и др.) [1-3]. Для выявления дефектов бортовых радиоэлектронных средств (РЭС) проводятся механические испытания. Наиболее распространенными являются механические испытания на наличие и отсутствие резонансных частот, на виброустойчивость, на вибропрочность, на ударную устойчивость, на воздействие одиночных ударов, на линейные центробежные нагрузки, на акустические шумы [4].

Известные методики и технологии испытаний не позволяют в полной мере моделировать реальные условия эксплуатации КА и бортовой аппаратуры. В связи с этим ведется поиск новых технологий и режимов испытаний аппаратуры КА.

Целью данной статьи являются повышение эффективности механических испытаний радиоэлектронных средств космических аппаратов.

Задачами исследования являются: разработка технологии механических испытаний, разработка средств автоматизации, проведение испытаний, анализ результатов испытаний.

В качестве объекта испытаний было выбрано достаточно сложное и проблемное бортовое электронное устройство – микропроцессорный контроллер температуры (МТК) космического аппарата.

Были поставлены следующие цели механических испытаний:

1. Подтверждение в условиях наземных конструкторско-доводочных испытаний работоспособности радиоэлектронного прибора МКТ на соответствие требованиям технического задания (ТЗ) и технических условий (ТУ) по стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействующим механическим факторам.

2. Подтверждение правильности выбора схмотехнических и конструктивных решений.

3. Подтверждение правильности применения электрорадиоизделий (ЭРИ).

4. Отработка конструкторской документации (КД) для присвоения ей литеры «0», а также технологической документации (ТД) завода-изготовителя прибора.

Для испытаний был использован прибор МКТ, прошедший приемосдаточные испытания (ПСИ).

Программа и технология испытаний

Для проведения цикла испытаний была разработана программа. Последовательность проведения конкретных испытаний приведена в таблице 1. При обосновании последовательности испытаний и режимов испытательных воздействий был изучен опыт испытаний и результатов эксплуатации аналогов, проведен системный анализ принципа действия прибора, ТУ. Выбор испытательного оборудования и средств контроля и измерения проводился с учетом результатов экспертных оценок по методу Дельфы.

Таблица 1 – Последовательность и результаты испытаний

№ п/п	Объем и вид испытаний	Условия и режимы испытаний	Результат испытаний
1	2	3	4
1	Испытание по обнаружению резонанса конструктивных элементов	Нормальные условия (НУ). Табл. 2. По осям X, Y, Z. Прибор включен	До 25 Гц резонансов нет. Соответствует
1.1	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
1.2	Установка одного контрольного датчика	-	Соответствует
1.3	Установка двух задающих датчиков	-	Соответствует
1.4	Испытание по обнаружению резонансов по оси X	НУ. Табл. 2. По оси X. Прибор выключен	Соответствует
1.5	Установка одного контрольного датчика	-	Соответствует
1.6	Установка двух задающих датчиков	-	Соответствует
1.7	Испытание по обнаружению резонансов по оси Y	НУ. Табл. 1. По оси Y. Прибор выключен	Соответствует
1.8	Установка одного контрольного датчика	-	Соответствует
1.9	Установка двух задающих датчиков	-	Соответствует
1.10	Испытание по обнаружению резонансов по оси Z	НУ. Табл. 1. По оси Z. Прибор выключен	Соответствует
1.11	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
1.12	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{\Pi} < 0,8 \text{ мОм}$. Соответствует
1.13	Проверка электрической схемы	НУ	Соответствует
1.14	Проверка электрического сопротивления изоляции	НУ	$R_{\text{из}} > 20 \text{ МОм}$. Соответствует
1.15	Проверка функционирования	НУ. $U_{\Pi} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
2	Испытания на прочность при воздействии транспортировочных нагрузок в составе изделия	НУ. Табл. 3. По осям X, Y, Z. Прибор выключен	Соответствует
2.1	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
2.2	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{\Pi} < 0,8 \text{ мОм}$. Соответствует

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
2.3	Технический осмотр со вскрытием на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
2.4	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{\Pi} < 0,8 \text{ мОм}$. Соответствует
2.5	Проверка электрической схемы	НУ	Соответствует
2.6	Проверка электрического сопротивления изоляции	НУ	$R_{\text{из}} > 20 \text{ МОм}$. Соответствует
2.7	Проверка функционирования	НУ. $U_{\Pi} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
2.8	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
3	Испытание на прочность и устойчивость при воздействии ШСВ и синусоидальной вибрации	НУ. Табл. 4, 5. По осям X, Y, Z	Соответствует
3.1	Испытание на прочность и устойчивость при ШСВ с контролем подрабатывания	$U_{\Pi} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
3.2	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
3.3	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{\Pi} < 0,8 \text{ мОм}$. Соответствует
3.4	Технический осмотр со вскрытием на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
3.5	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{\Pi} < 0,8 \text{ мОм}$. Соответствует
3.6	Проверка электрической схемы	НУ	Соответствует
3.7	Проверка электрического сопротивления изоляции	НУ	$R_{\text{из}} > 20 \text{ МОм}$. Соответствует
3.8	Проверка функционирования	НУ. $U_{\Pi} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
3.9	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
4	Испытания на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов	НУ. Табл. 6. По осям +X, +Y, +Z	Соответствует
4.1	Испытания на ударную прочность и устойчивость с контролем подрабатывания. По оси X*	НУ. $U_{\Pi} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
4.2	Испытания на ударную прочность и устойчивость с контролем подрабатывания. По оси Y*	НУ. $U_{\Pi} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
4.3	Испытания на ударную прочность и устойчивость с контролем подрабатывания. По оси Z*	НУ. $U_{\Pi} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
4.4	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
4.5	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{\Pi} < 0,8 \text{ мОм}$. Соответствует
4.6	Технический осмотр со вскрытием на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует. Замечания 1 и 2
4.7	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{\Pi} < 0,8 \text{ мОм}$. Соответствует
4.8	Проверка электрической схемы	НУ	Соответствует

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
4.9	Проверка электрического сопротивления изоляции	НУ	$R_{из} > 20 \text{ МОм}$. Соответствует
4.10	Проверка функционирования	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
4.11	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
5	Испытания на прочность при воздействии линейного ускорения	НУ. Табл. 7. По осям $\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$	Соответствует
5.1	Испытание на воздействие линейных ускорений с контролем подрабатывания. По оси «+X»	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
5.2	Испытание на воздействие линейных ускорений с контролем подрабатывания. По оси «-X»	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
5.3	Испытание на воздействие линейных ускорений с контролем подрабатывания. По оси «+Y»	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
5.4	Испытание на воздействие линейных ускорений с контролем подрабатывания. По оси «-Y»	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
5.5	Испытание на воздействие линейных ускорений с контролем подрабатывания. По оси «+Z»	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
5.6	Испытание на воздействие линейных ускорений с контролем подрабатывания. По оси «-Z»	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует
5.7	Технический осмотр без вскрытия на отсутствие механических повреждений	НУ	Соответствует
5.8	Измерение переходного сопротивления	НУ	$R_{п} < 0,8 \text{ МОм}$. Соответствует
5.9	Проверка электрической схемы	НУ	Соответствует
5.10	Проверка электрического сопротивления изоляции	НУ	$R_{из} > 20 \text{ МОм}$. Соответствует
5.11	Проверка функционирования	НУ. $U_{п} = (27 \pm 1) \text{ В}$	Соответствует

При разработке данной программы были использованы также типовые технологические процессы и операции испытаний. Это позволяет уменьшить трудозатраты [5].

Испытания по обнаружению резонансов конструктивных элементов проводились последовательно в трех взаимно перпендикулярных направлениях в режимах, заданных в таблице 2. Для этого использовался вибростенд TV-59349/АГТ-440. Отсутствие резонансов до 25 Гц подтверждалось по контрольному датчику, установленному по центру верхней поверхности рамки платы (печатного узла) 5.

Таблица 2 – Параметры испытаний по обнаружению резонанса

Поддиапазон частот, Гц	Скорость прохождения		Амплитуда вибрации м/с ² (g)
	Поддиапазон окт/мин	Гц/мин	
5-10	0,5	0,04	4,9 (0,5)
10-20	0,5	0,08	9,8 (1,0)
20-40	0,5	0,16	9,8 (1,0)
40-80	0,5	0,32	9,8 (1,0)
80-160	0,5	0,64	11,76 (1,2)
160-320	1,0	2,56	17,64 (1,8)
320-640	1,0	5,3	23,52 (2,4)
640-1280	1,0	10,6	23,52 (2,4)
1280-2500	1,0	21,2	16,7 (1,7)

Для испытания на прочность при воздействии транспортировочных нагрузок в составе изделия был использован ударный стенд STT 500. Испытания проводились ускоренным методом. Режимы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Режимы испытаний на воздействие транспортировочных нагрузок

Амплитуда ударного ускорения, м/с ² (g)	Длительность действия ударного ускорения, мс	Количество ударов	Ориентировочное количество ударов, в минуту
147,2 (15)	5-10	5000	40-80
98,1 (10)	5-10	15000	40-80

В таблицах 4-7 приведены параметры вибрационных, ударных и линейных воздействий.

Таблица 4 – Параметры спектральной плотности виброускорения

Номер режима	Поддиапазон частот, Гц							Продолжи- тельность действия, с
	20	50	100	200	500	1000	2000	
	Спектральная плотность виброускорения, м ² с ⁻⁴ Гц ⁻¹							
1	4,32 (0,045)	8,66 (0,09)	12,98 (0,135)	17,3 (0,18)	17,3 (0,18)	6,48 (0,067)	2,16 (0,023)	120
2	1,08 (0,011)	1,08 (0,011)	1,73 (0,018)	2,16 (0,023)	2,16 (0,023)	1,73 (0,018)	1,08 (0,011)	480
3	0,108 (0,0011)	0,108 (0,0011)	0,324 (0,0034)	0,324 (0,0034)	0,324 (0,0034)	0,324 (0,0034)	0,108 (0,0011)	2000

Таблица 5 – Режимы вибрационных воздействий

Номер режима	Поддиапазон частот, Гц	Амплитуда виброускорения, м/с ² (g)	Продолжительность действия вибрации в каждом поддиапазоне частот, с
1	5-10	25,48 (2,6)	120
2	10-20	25,48-38,2 (2,6-3,9)	120
3	20-40	38,2 (3,9)	120
4	10-20	6,37 (0,65)	120
5	20-40	6,37 (0,65)	120

Таблица 6 – Параметры ударных воздействий

Номер режима	Длительность действия ударного ускорения, мс	Амплитуда ускорения, м/с ² (g)	Количество ударных воздействий по каждой оси
1	2-10	98 (10)	14
2	0,5-2	392 (40)	16
3	0,5-2	294 (30)	12

Таблица 7 – Режимы линейных ускорений

Номер режима	Амплитуда линейного ускорения, м/с ² (g)	Время воздействия по каждому направлению каждой оси, с
1	70,1 (7,15)	600
2	1,27 (0,13)	Не регламентируется

Прочность и устойчивость при воздействии широкополосной случайной вибрации (ШСВ) и синусоидальной вибрации проверялась на вибростенде TV-59349/AIT-440 в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Испытания на воздействие механических ударов в положительном направлении каждой из трех взаимно перпендикулярных осей проводились на ударном стенде STT 500 и стенде 8999-699Z. Для воздействия линейного ускорения в обе стороны каждого из трех взаимно перпендикулярных направлений использовалась центрифуга M155.

Амплитуду виброускорений на элементах конструкции прибора определяли по формуле:

$$A_p = 3,6 \sqrt{\frac{W_0 f_0}{Q}},$$

где A_p – максимальная расчетная амплитуда виброускорения синусоидальной вибрации, эквивалентная повреждающему действию ШСВ; W_0 – спектральная плотность ускорения ШСВ, действующая и измеренная на радиоэлектронном приборе; f_0 и Q – резонансная частота и добротность прибора, как колебательной системы.

Добротность Q равна отношению резонансной частоты к ширине резонансной кривой на уровне убывания амплитуды. Значение спектральной плотности виброускорения W_0 , действующей на прибор, брали равной спектральной плотности виброускорения из таблицы 4 для режима 1.

Результаты расчетов приведены в таблице 8. Из нее следует, что амплитуды виброускорений на элементах конструкции прибора, полученные расчетным путем, не превышают амплитуды виброускорений, допустимые по ТУ на ЭРИ.

Таблица 8 – Расчетные значения амплитуды виброускорений

Ось	Резонансная частота (f_0), Гц	Спектральная плотность виброускорения W_0 , м ² /с ⁴ Гц (g ² /Гц)	Добротность (Q)	Максимальная амплитуда виброускорения ($A_{pЭАЭ}$), м/с ² (g)
X	272,4	7,69 (0,08)	13,6	45,1 (4,6)
X	701	5,28 (0,05)	17,5	50 (5,1)
Y	387,1	7,69 (0,08)	19,4	44,1 (4,5)
Y	504,2	7,69 (0,08)	16,8	54,9 (5,6)
Z	1549	0,96 (0,01)	10,3	43,1 (4,4)
Z	1962	0,96 (0,01)	19,6	43,3 (3,6)

В качестве показателей качества использовались также величина переходного сопротивления R_{Π} между электрическими цепями и электрическое сопротивление изоляции $R_{из}$. Для измерения R_{Π} использовали микроомметр Ф415. Проверка электрических и входных цепей прибора, а также измерение $R_{из}$ проводилась на автоматизированной системе контроля АСК-МКИ.

Все используемые средства контроля и измерения прошли поверку, а испытательное оборудование было аттестовано.

Результаты испытаний приведены в четвертом столбце таблицы 1.

Автоматизация испытательных и измерительных операций

Для сокращения времени проведения испытаний РЭС и повышению их эффективности был разработан модуль сопряжения РЭС и испытательного оборудования с автоматизированным испытательным комплексом (АИК). В состав модуля сопряжения входят каналы передачи данных. Он позволяет управлять аппаратурой и испытательным оборудованием.

С его помощью обеспечивается контроль работы испытательного оборудования, выполнение испытательных операций, выдача информации об отказах, более высокая достоверность и качество формирования протокола и заключения по результатам испытания. При этом используются формализованные описания объекта контроля, типовых процессов испытаний, технических средств и программного обеспечения базового технологического процесса автоматизированных испытаний.

Такой процесс обеспечивает оперативность и полноту сбора, регистрации и обработки измерительной информации; снижение вероятности пропуска отказов в аппаратуре и неисправностей в испытательном оборудовании; непрерывность ведения контроля измерительной информации о процессе испытаний в заданном объеме; минимизацию ошибок в действиях оператора-испытателя.

Можно выделить следующие основные особенности данной автоматизированной технологии проведения испытаний РЭС:

1. Все составные части системы объединены физически и логически в единый информационно-вычислительный комплекс, реализующий функции автоматизированного контроля и испытаний.

2. Реализация замкнутого контура автоматизированного управления испытаниями и выполнения циклограмм испытательных воздействий с выдачей и контролем прохождения необходимых команд управления.

3. Автоматизированная регистрация и архивация всей исходной и обработанной измерительной информации, операций проведения испытаний, протоколов испытаний. На рис. 1 и 2 в качестве примера приведены графики регистрации результатов испытаний на виброустойчивость и отсутствие резонансов в конструктивных элементах.

Использование данного комплекса автоматизации позволяет решать задачи рационального управления технологическим процессом механических (вибродинамических) испытаний по времени, глубине и объему проверок, определения дополнительного объема проверок после устранения вибродефектов.

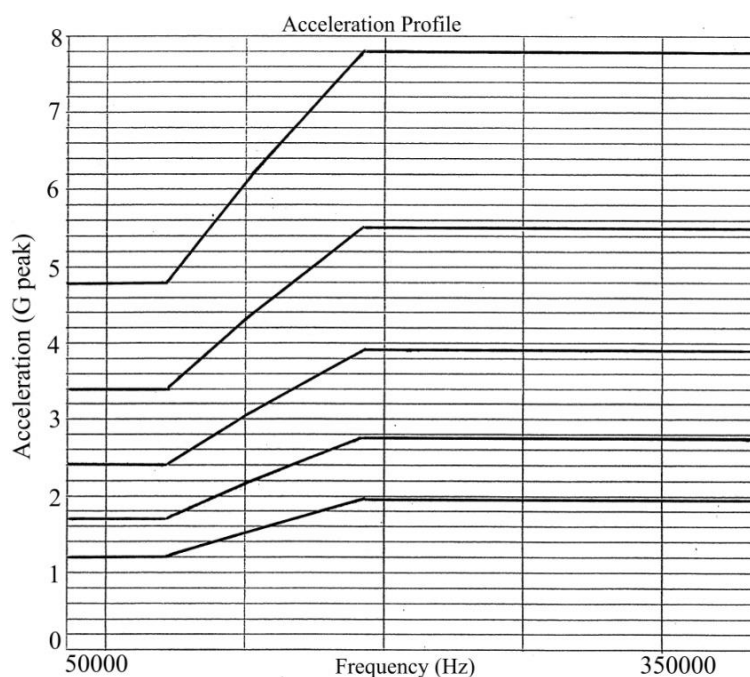


Рис. 1 – Низкочастотная вибрация по оси x

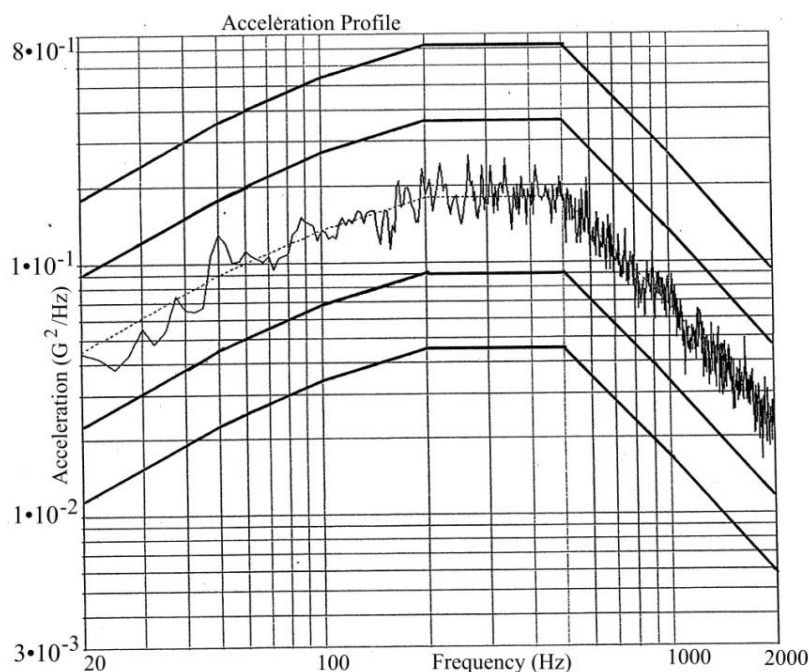


Рис.2 – Режим 1 широкополосной случайной вибрации по оси x

Анализ результатов испытаний

После испытаний на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов при техническом осмотре со вскрытием были выявлены следующие замечания:

Замечание 1:

1.1. На плате 1 был выявлен отрыв конденсатора С2 от прокладки (около корпуса).

1.2. На плате 5 – ослабление крепления корпуса (люфт шайбы).

1.3. На плате 18 – нарушение крепления конденсатора С9 на клей-мастику.

1.4. На плате 22 – в районе V3 отрыв клеем-мастикой провода.

1.5. На плате 30 – под конденсатором С13 полный отрыв прокладки из лакоткани по всему периметру.

Замечание 2:

2.1. В КД отсутствует требование о вскрытии корпуса на платах 1 и 6 после механических испытаний.

Для устранения замечаний было принято решение о демонтаже и исследовании: конденсаторов с плат 1 и 18, прокладки под конденсатором С13. Дано разъяснение, что вскрытие корпусов на платах 1 и 6 осуществляется при контрольной разборке. По замечанию 2 (2.1) выпущено извещение о доработке технических требований КД.

В результате исследования внешним осмотром под микроскопами МБС-10 и Ersascope установлено следующее:

1. Причиной отрыва конденсатора на платах 1 и 18 было несоблюдение исполнителем технологии установки ЭРИ на мастику. Была проведена учеба с исполнителем. Платы восстановлены согласно КД и ТД.

2. Причиной ослабления крепления корпуса (люфт шайбы) на плате 5 явилось несоблюдение исполнителем требований КД. Была проведена техническая учеба с исполнителем. На плате установлен винт в соответствии с КД.

3. Причиной нарушения крепления клеем-мастикой провода в районе V3 на плате 22 явилось несоблюдение исполнителем установки провода на мастику. С исполнителем была проведена техническая учеба. Провод на плату установлен в соответствии с КД.

4. Полный отрыв прокладки из лакоткани под конденсатором С13 на плате 30 произошел по причине несоблюдения исполнителем технологии приклейки прокладок. Была проведена техническая учеба с исполнителем. Плата 30 восстановлена согласно КД и ТД.

После проведения доработок прибор был собран и прошел проверку на функционирование в нормальных условиях. Затем были повторены испытания на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов. Замечаний при повторных испытаниях не было.

Заключение

1. Предложен новый вариант программы и технологии испытаний радиоэлектронных приборов КА на механические воздействия, который прошел апробацию в условиях производства. Подтверждена правильность выбора ЭРИ, схемных и конструктивных решений.

2. Результаты испытаний позволили откорректировать КД и ТД на прибор МКТ.

3. Конструкторская документация полностью соответствует требованиям ТУ и ТЗ и подготовлена для присвоения литеры «0».

4. Разработаны модули, обеспечивающие автоматизацию и хорошую управляемость техпроцессом испытаний.

Список литературы

1. Лысенко А.В., Таньков Г.В., Калашиников В.С. Алгоритм реализации адаптивной системы вибрационных испытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Надежность и качество сложных систем, 2019. №3(27). С. 131-147.
2. Лисейкин В.А., Моисеев Н.Ф., Фролов О.П. Основы теории испытаний. Экспериментальная отработка ракетно-космической техники. –М.: Машиностроение – Полет/ Виарт Плюс, 2015. – 260с.
3. Голушко Д.А., Затылкин А.В., Калашиников В.С. Методика прогнозирования ресурса электрорадиоэлементов печатного узла в условиях внешних вибрационных воздействий // Вопросы радиоэлектроники, 2015. №6. С. 105-112.
4. Федоров В.К., Сергеев Н.П., Кондрашин А.А. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. –М.: Техносфера, 2005. 504 с.
5. Беляков И.Т., Зернов И.А., Антонов Е.Г., Баклунов А.М. Технология сборки и исследований космических аппаратов // Под ред. И.Т. Белякова, И.А. Зернова. –М.: Машиностроение, 1990. 352с.

05.13.06

**Л.А. Галиуллин канд. техн. наук, Е.В. Зубков канд. техн. наук,
А.Х. Тазмеев канд. хим. наук, Э.Л. Хазиев канд. техн. наук, Л.Б. Хузятова**

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, galilenar@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОСТУПА К ПРОМЫШЛЕННЫМ УСТРОЙСТВАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ OPC UA ТЕХНОЛОГИИ

В данной работе проведено исследование особенностей и преимуществ стандарта промышленного обмена данными OPC UA. OPC UA использует мощную и стандартизированную технологию для такого рода коммуникации. Стандарт основан на модели связи клиент/сервер, которая требует установленного соединения.

Ключевые слова: автоматизация, информация, технология, веб.

В последние годы Фонд OPC [1] (заинтересованная группа известных производителей для определения стандартных интерфейсов) определил большое количество программных интерфейсов для стандартизации информационного потока от уровня процесса до уровня управления. В соответствии с различными требованиями в рамках промышленного применения, в прошлом были разработаны различные спецификации OPC: Data Access (DA), Alarm & Events (A&E), Historical Data Access (HDA) and Data eXchange (DX). Доступ к данным процесса описан в спецификации DA; A&E описывает интерфейс для информации, основанной на событиях, включая подтверждение; HDA описывает функции для архивированных данных и DX определяет дополнительный сервер для обеспечения коммуникации между серверами.

Основываясь на опыте работы с этими классическими интерфейсами OPC [2], OPC Foundation определил новую платформу под названием OPC Unified Architecture (UA). Целью настоящего стандарта является общее описание и единообразный доступ ко всей информации, которой должны обмениваться системы или приложения. Здесь заключается функциональность всех предыдущих интерфейсов OPC. Кроме того, новый стандарт создал возможность интеграции интерфейса в соответствующую систему, независимо от операционной системы, на которой работает система, и независимо от языка программирования, на котором была создана система.

Стандарт OPC для обмена данными изначально был основан на использовании платформ ПК под управлением операционных систем Windows. Компонентная объектная модель COM/DCOM [3][4] от Microsoft использовалась в качестве базовой технологии для стандарта OPC. Эта тесная связь наложила ряд ограничений на использование технологии OPC.

Например, технология OPC на основе DCOM не подходит для связи через Интернет, для использования брандмауэров или для работы на платформах, отличных от Windows. В частности, настройка обмена данными между ПК требует большого опыта в настройках безопасности DCOM. Поскольку развитие COM/DCOM с тех пор было прекращено, эта технология больше не поддерживается. Кроме того, в отрасли возникли новые потребности и требования, касающиеся обмена данными OPC, например, такие как поддержка безопасности, защита от потери данных, возможности резервирования и поддержка сложных соединений данных.

В ответ на эту ситуацию организация OPC Foundation разработала полностью переосмысленную и расширенную версию стандарта OPC, которая устраняет слабые места классической технологии OPC. Эта версия не зависит от используемой операционной системы, языка программирования или технологий конкретной компании, где мог бы применяться стандарт. Он не зависит от производителя и поддерживает масштабируемость, высокую доступность и возможности коммуникации через Интернет. Это новое поколение технологий OPC было выпущено под названием OPC UA (Unified Architecture), в то время как классическая технология OPC теперь известна как OPC Classic.

На основной схеме каждый процесс делится на несколько подпроцессов. На рисунке 2 представлена декомпозиция процесса "Продать лекарство». Покупатель приходит в аптеку, чтобы купить нужное лекарство. Фармацевт помогает ему подобрать приемлемое по цене лекарство, так как благодаря широкому ассортименту в аптеке присутствуют как дорогие, так и менее дорогие лекарства.

Для обмена данными необходимы клиент и сервер. В качестве клиента будет спроектировано .NET приложение на языке программирования C#. В качестве сервера выбран слой PLCs (см. приложение А), а именно контроллер SIMATIC S7-1500 [5, 6]. Также будет произведена настройка сервера OPC UA SIMATIC S7-1500.

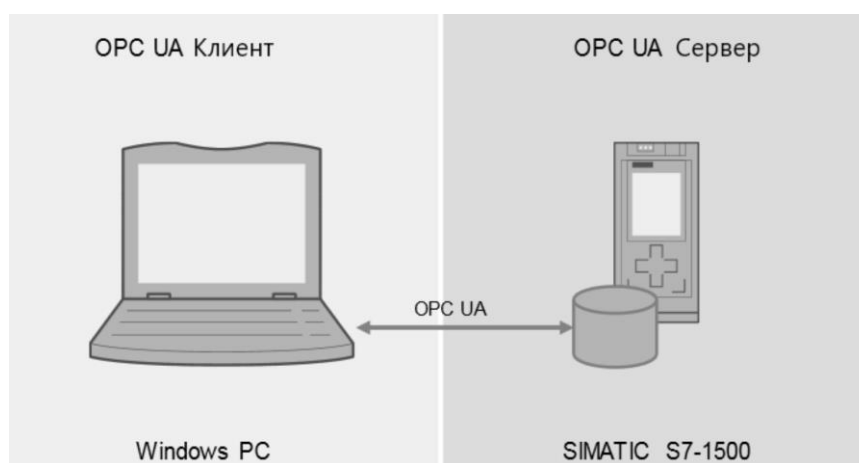


Рис. 1 - Клиент и сервер OPC UA

На рисунке 2.2 показаны наиболее важные компоненты приложения. Сервер SIMATIC S7-1500 OPC UA настраивается через программное обеспечение TIA Portal [7]. Клиент OPC UA создается в C #/.NET и использует внутри свободно доступный OPC UA .NET OPC Foundation SDK. Клиент и сервер соединены через Ethernet и обмениваются данными через OPC UA через TCP/IP..

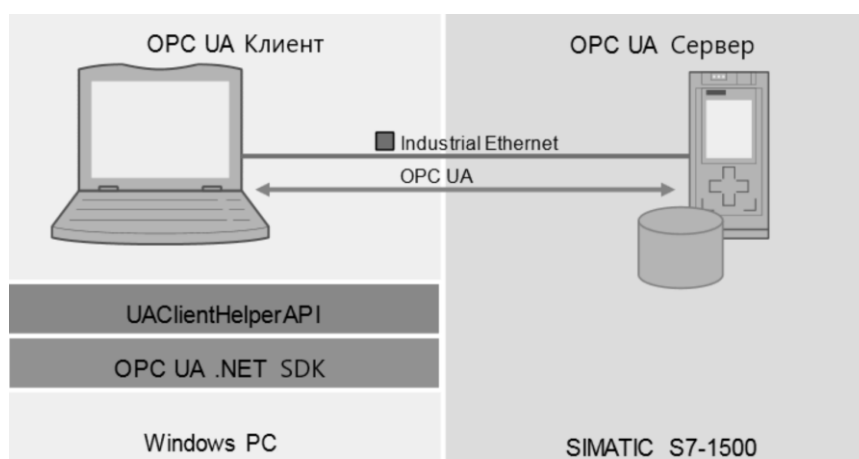


Рис. 2 - Наиболее важные компоненты приложения

С UA SIMATIC S7-1500. Клиент поддерживает следующие наборы сервисов OPC UA:

- Поиск и обнаружение серверов: набор сервисов обнаружения (FindServers, GetEndpoints);
- Создание и завершение сеансов: набор сервисов для сеансов (CreateSession, CloseSession);
- Навигация в адресном пространстве: набор сервисов для просмотра (обзор, зарегистрированные узлы, незарегистрированные узлы);
- Чтение и запись тегов и атрибутов: набор сервисов для атрибутов (чтение, запись);
- Подписка на теги: набор сервисов для подписки (CreateSubscription, DeleteSubscription); набор сервисов MonitoredItem (CreateMonitoredItem, DeleteMonitoredItem);
- Вызов методов: набор сервисов для методов (GetMethodArguments, CallMethod).

Произведен ввод в эксплуатацию OPC UA сервера. Продемонстрирована работа приложения по коммуникации OPC UA клиента и OPC UA сервера. Оценивая перспективы развития темы, можно выделить направление создание удаленного веб-сервиса, позволяющего расширить круг пользователей OPC UA клиента, а также организовать сбор и хранение данных.

Список литературы

1. Валиев Р.А., Коснырев Д.В. Реализация OPC-сервера с унифицированной архитектурой на основе библиотеки SDK // В сборнике: Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2017) Сборник материалов VII международной научно-практической конференции (дистанционная форма). Ответственные редакторы Симонова Л.А., Савицкий С.К.. 2017. С. 49-55.
2. Валиев Р.А., Акмалов Р.Р., Каримов Т.Н. Формализация многокритериальной задачи оптимального планирования распределения товара по потребителям // В сборнике: Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП - 2014) Сборник материалов Международной научно-практической конференции (дистанционная форма). Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"; Информационно-образовательный центр подготовки специалиста машиностроительного профиля. 2014. С. 8-11.
3. Валиев Р.А., Хайруллин А.Х., Шибakov В.Г. Модели и методы синтеза алгоритмов и программ систем автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении // Вестник машиностроения. – 2015. – №6. – С.48–51.
4. Валиев Р.А., Абайдуллин Р.Н. Разработка конфигуратора автоматизированной системы учета результативности деятельности предприятий в соответствии с СМК ISO 9001 // В сборнике: Образование и наука - производству Сборник трудов Международной научно-технической и образовательной конференции: в 2-х частях. Министерство образования и науки РФ; ГОУ ВПО "Камская государственная инженерно-экономическая академия". 2010. С. 164-165.
5. Галиуллин Л.А., Валиев Р.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н. САПР пользовательского интерфейса на базе облачных технологий (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ) №2015611061, 23.01.2015.
7. Галиуллин Л.А., Гараев А.З., Юнусов И.Р. Проектирование информационной системы технической поддержки в виде веб-приложения // VII Камские чтения Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, в трёх частях. Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет". 2015. С. 83-85.

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, aerptm@mail.ru, shelevgen@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИНЕМАТИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГЕКСАПОДА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В работе представлено математическое описание кинематики передвижения и разворотов робота гексапода в плоскости. Рассмотрено его устройство и особенности перемещения. Приводится расчёт координат точек касания ног относительно центра робота, и определение углов поворота сервоприводов. Обозначены основные направления применения представленных формул.

Ключевые слова: *гексапод, кинематика, сервопривод, координаты точек, алгоритм передвижения.*

Сегодня роботостроение задаёт высокую планку автоматизации любой промышленности в мире. Одним из перспективных направлений, в этой области, является разработка и применение шагающих роботов. В отличие от колёсных и гусеничных устройств, они обладают повышенной проходимостью за счёт нескольких переменных точек опоры [1].

При проектировании и отладке таких устройств существует ряд известных проблем: разработка системы управления, которая обеспечит согласованную работу двигателей, непосредственно реализующих требуемые перемещения; расчёты основных параметров электрооборудования, необходимого для проектируемой машины; разработка алгоритмов перемещения и соответствующих программных решений для их реализации. Целью данной работы является создание универсальной математической модели, которая позволит не только создавать алгоритмы для различных систем управления, но и оценивать нагрузки во всех узлах перемещения робота гексапода [2,3].

В данной работе рассмотрим схему передвижения, когда перемещение ног осуществляется группами по три ноги – две с одного бока, одна - с другого [4,5]. Схема передвижения показана на рисунке 1. Позиция (а) является исходной, когда гексапод опирается на все шесть ног. Опорным треугольником будет являться нога №1, №3 и №5. Тогда перемещение вперед осуществляется путем перестановки треугольника ног №2, №4 и №6 вперед относительно тела (позиция б). Опорный треугольник при этом остается неподвижным относительно пола, но перемещается назад относительно тела на половину шага.

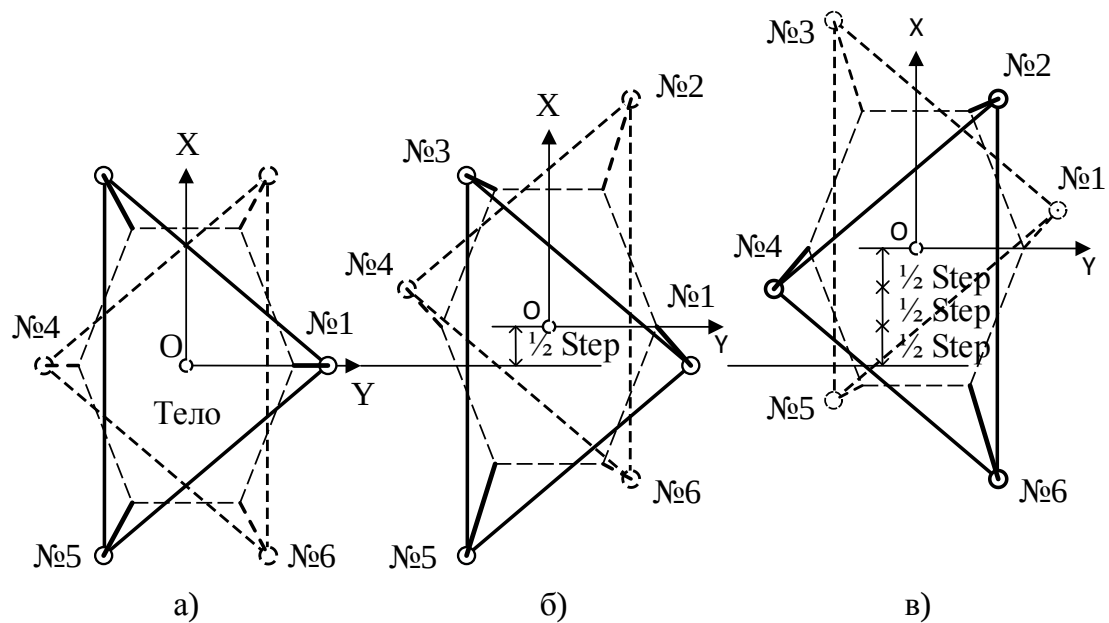


Рис. 1 – Схема передвижения

Непрерывное перемещение тела гексапода осуществляется путем чередования позиций б) и в), то есть периодического перемещения треугольников ног относительно тела.

Для упрощения формирования функций управления рассмотрим перемещение только центра треугольников. В состоянии покоя он совпадает геометрическим центром тела (точка О на рисунке 1а). Расчет координат точек касания осуществляется относительно смещения центра треугольника, как показано на рисунке 2.

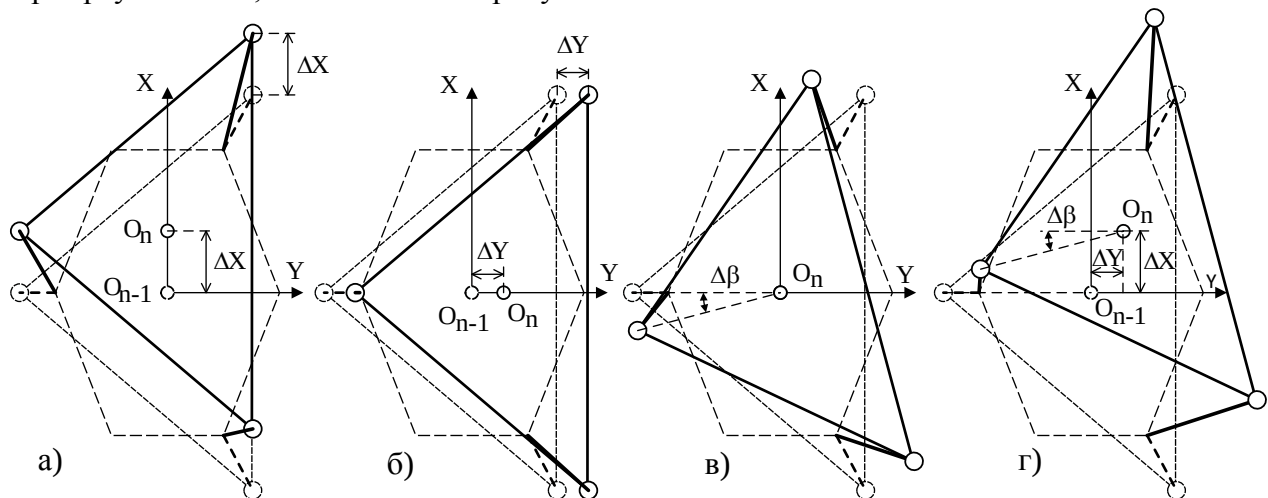


Рис. 2 – Смещение треугольника ног относительно тела

Центр треугольника смещается на величины $\Delta X = X_{O_n} - X_{O_{n-1}}$ вдоль тела (рисунок 2а) для перемещений гексапода вперед/назад и на $\Delta Y = Y_{O_n} - Y_{O_{n-1}}$ поперек тела (рисунок 2б) для перемещений вбок. Также вращается относительно центра на величину $\Delta \beta$ (рисунок 2в) при повороте. Точка О смещается по всем координатам (рисунок 2г).

Согласно рисунку 3 координаты точек касания ног:

$$\begin{cases} X_{2,3} = \Delta X \pm L_{Y0} \cdot \sin \Delta\beta + H / 2 \cdot \cos \Delta\beta; \\ Y_{2,3} = \Delta Y \pm L_{Y0} \cdot \cos \Delta\beta - H / 2 \cdot \sin \Delta\beta; \\ X_{4,1} = \Delta X \mp (W - L_{Y0}) \cdot \sin \Delta\beta; \\ Y_{4,1} = \Delta Y \mp (W - L_{Y0}) \cdot \cos \Delta\beta; \\ X_{6,5} = \Delta X \pm L_{Y0} \cdot \sin \Delta\beta - H / 2 \cdot \cos \Delta\beta; \\ Y_{6,5} = \Delta Y \pm L_{Y0} \cdot \cos \Delta\beta + H / 2 \cdot \sin \Delta\beta. \end{cases} \quad (1)$$

где L_{Y0} – смещение центра треугольника ног относительно основания по оси Y; H – длина основания треугольника ног вдоль оси X; W – ширина треугольника вдоль оси Y.

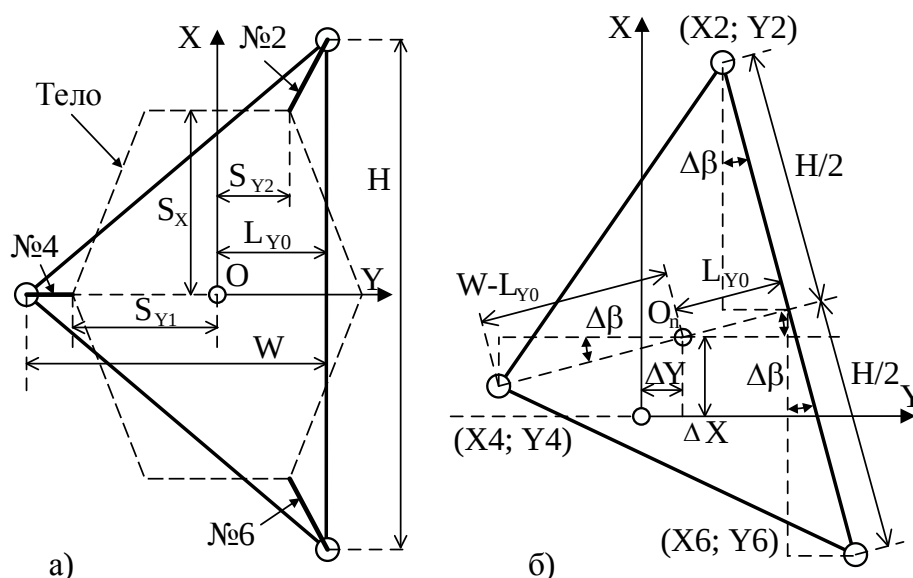


Рис. 3 – К расчету координат точек касания ног

Координаты в осях, связанные с телом гексапода, пересчитываются в оси, связанные с осью вращения каждой ноги в точке соединения с телом (рисунок 4а). Для универсальности управления кинематическая схема и способ соединения сервоприводов каждой ноги одинаковы, поэтому направление осей каждой ноги последовательно изменяется от $\alpha_1 = 0$ до α_6 . Углы поворота осей противоположных конечностей отличаются на 180 градусов. Преобразование координат для точки касания i -й ноги:

$$\begin{cases} x_{\alpha,i} = (X_i - L_{X,i}) \cdot \cos \alpha_i - (Y_i - L_{Y,i}) \cdot \sin \alpha_i; \\ y_{\alpha,i} = (X_i - L_{X,i}) \cdot \sin \alpha_i + (Y_i - L_{Y,i}) \cdot \cos \alpha_i. \end{cases} \quad (2)$$

где $L_{X,i}$, $L_{Y,i}$ – смещение системы координат $(x_{\alpha}; y_{\alpha})$ относительно $(X; Y)$; X_i , Y_i – координаты точек касания в осях, связанных с телом.

Значения смещений определяются из векторов:

$$\begin{aligned} L_X &= [0 \quad S_X \quad S_X \quad 0 \quad -S_X \quad -S_X]; \\ L_Y &= [S_{Y1} \quad S_{Y2} \quad -S_{Y2} \quad -S_{Y1} \quad -S_{Y2} \quad S_{Y2}]. \end{aligned} \quad (3)$$

где S_X , S_{Y1} , S_{Y2} – смещения координат точек вращения ног.

На последнем этапе расчета определяются углы поворота сервоприводов (рисунок 4б).

Расчет углов поворота сервоприводов производится на основе законов тригонометрии:

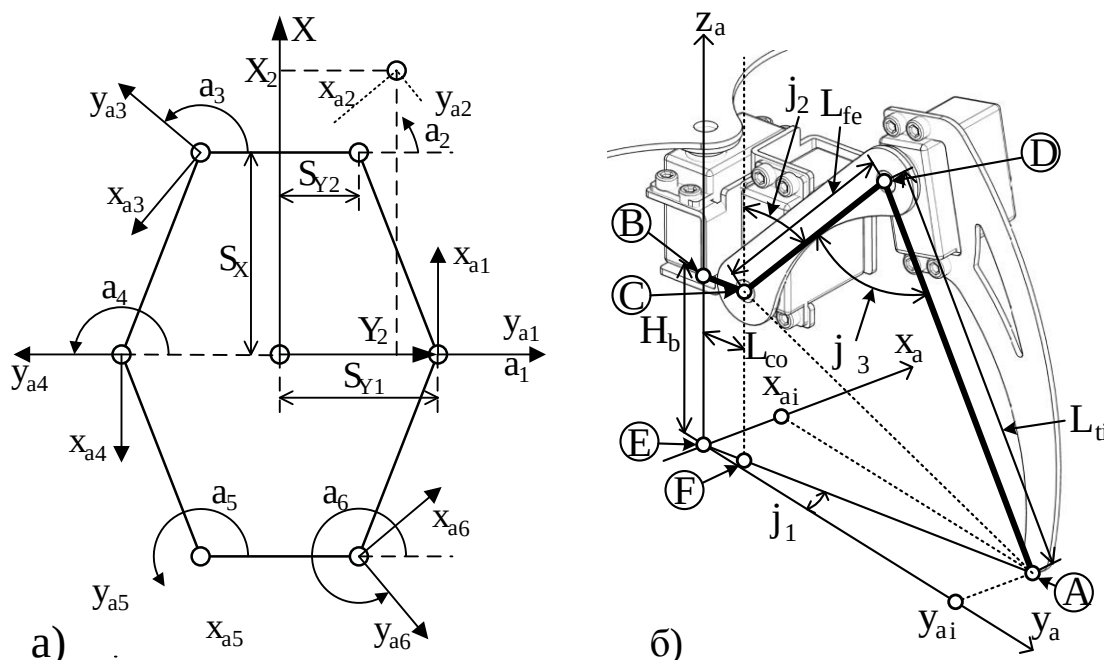


Рис. 4 – Преобразование координат и определение углов поворота

$$AE = \sqrt{x_{ai}^2 + y_{ai}^2}; \quad AF = AE - EF = AE - L_{co}; \quad AC = \sqrt{CF^2 + AF^2} = \sqrt{H_b^2 + AF^2};$$

$$\angle ACF = \arccos \frac{H_b}{AC}; \quad \angle ACD = \arccos \frac{AC^2 + L_{fe}^2 - L_{ti}^2}{2 \cdot L_{fe} \cdot AC}.$$

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{x_{ai}}{AE}; \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \pi - \angle ACF - \angle ACD; \quad (5)$$

$$\varphi_3 = \arccos \left(\frac{CD^2 + AD^2 - AC^2}{2 \cdot CD \cdot AD} \right) = \arccos \left(\frac{L_{fe}^2 + L_{ti}^2 - AC^2}{2 \cdot L_{fe} \cdot L_{ti}} \right); \quad (6)$$

где H_b – высота от земли оси поворота 2-го сервопривода (между голенью и бедром); L_{co} , L_{fe} , L_{ti} – геометрические размеры соответствующих частей кинематической схемы ноги.

Полученная модель позволяет определять углы поворотов конечностей гексапода в зависимости от заданных перемещений и габаритных размеров, что необходимо для разработки алгоритмов управления и конкретизации в выборе электрооборудования (сервоприводов, питания и т.д.). Последовательность расчёта используется для определения аналогичных характеристик при разработке других шагающих роботов.

Список литературы

1. Игнатъев 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.
2. Буданов В.М. Алгоритмы планирования движений шестиногого шагающего аппарата. Фундаментальная и прикладная математика, 2005. – С. 197-206.
3. Павловский В.Е., Панченко А.В. Модели и алгоритм управления движением малого шестиногого робота. Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 11. – С. 23 – 28.
4. Ростов И.А., Шелихов Е.С., Шерстнёв Е.С. Реализация алгоритма основного передвижения многоприводного гексапода. Компьютерная интеграция производства и ипитехнологии. – Оренбург, 2017. – с. 303-305.
5. Желонкина О.С., Злобин Д.Ю. Построение параметризации походки робота-гексапода. Исследования молодых ученых: материалы I Междунар. науч. конф. – Казань: Молодой ученый, 2019. – С. 4-7.

05.13.06

**А.Н. Илюхин канд. техн. наук, Е.В. Зубков канд. техн. наук,
Э.Л. Хазиев канд. техн. наук, Л.Б. Хузятова**

Казанский федеральный университет,
Набережночелнинский институт,
кафедра информационных систем,
Набережные Челны, Lexusil@rambler.com

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ WTA

Настоящая статья посвящена модернизации методики кластеризации неисправностей дизелей на основе искусственной нейронной сети WTA. Предложенная модернизация заключается в назначении начальных весов равным входным значениям, в отличие от классического метода, назначения начальных весов случайным способом. Полученная методика позволяет существенно снизить количество циклов обучения.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, дизель, математическая модель, весовые коэффициенты.

При испытании дизелей возникает проблема сохранения большого количества информации. Все данные, поступающие со станций испытания двигателей, подразделяются на группы кластеров. Одним из вариантов устранения данного недостатка является применение искусственной нейронной сети, уже хорошо зарекомендовавших себя при проведении испытаний дизельных двигателей [1,2]. Для решения задачи кластеризации нейронными сетями в основном применяют три типа структур: нейронная сеть WTA, нейронный газ и сети Кохонена. При сравнении этих методов для восстановления двумерного массива обучающихся данных сложной структуры показал, что независимо от количества нейронов наилучшие результаты самоорганизации были получены с использованием алгоритмов WTA и нейронного газа, причем последний из-за необходимости сортировки оказался значительно, более медленным, чем нейронная сеть WTA. Оригинальный алгоритм Кохонена показал наихудший результат, не обеспечивая хорошего восстановления данных. Следовательно, для решения задачи кластеризации неисправностей целесообразно применить искусственную нейронную сеть WTA[3].

В работе [4] рассмотрена структура управления автоматизированной системы испытаний (АСИ) дизелями. В этой структуре в «Блоке хранения истории управления» сохраняются данные о результатах проведенных испытаний. При этом анализируются только положительные результаты испытаний, который влияют на уточнение базы знаний. Для предотвращения аварийных режимов предусмотрена связь между «Блоком датчиков» и «Блоком управления», однако в работах [4-6] не рассмотрен механизм выявления неисправностей. В рассмотренных работах также не производится анализ неудачных результатов испытаний, что является важной задачей, с точки зрения повышения качества продукции.

Для решения рассмотренных выше проблем целесообразно дополнить систему блоком анализа неисправностей. Данный блок позволит проанализировать как положительные, так и отрицательные результаты испытаний попадающие в «Блок хранения истории управления». Блок анализа неисправностей будет кластеризовать входную информацию, по неисправностям дизелей в результате испытаний, на основе искусственной нейронной сети WTA.

Параметры и их характеристики, на основе которых проводят испытания, регламентируются различными стандартами (например, международный стандарт 1585) или могут создаваться инженерами-технологами. Построение структуры искусственной нейронной сети должно учитывать необходимое количество входных и выходных параметров. Одним из вариантов комбинаций входных параметров является следующий набор: Time – время; n – обороты двигателя; L – положение регулятора подачи топлива; Gt – расход топлива; Me – момент нагрузки; T – температура масла; D – дымность.

Для обучения нейронной сети WTA применяется правило Гроссберга [7-9]. На первоначальном этапе обучения необходимо выбрать количество кластеров необходимых для разбиения входного массива данных, представленных в виде векторов $\bar{x}$. Каждому кластеру назначается вектор весовых коэффициентов $\bar{w}$, генерируемый случайным образом. Затем на вход сети подают выборку нормализованных входных сигналов $\bar{x}$, которые перемножаются с нормализованными весовыми коэффициентами $\bar{w}$, в результате рассчитываются выходные значения сумматоров u_i . Эти полученные результаты поступают в блок конкурентной борьбы, предназначенный для поиска сумматора победителя. Данный сумматору присваивают на выходе значение 1, остальным сумматорам присваивается на выходе 0. На следующем этапе производится обучение нейронной сети WTA по правилу Гроссберга:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta[x_j - w_{ij}(t)],$$

где $w_{ij}(t+1)$ – рассчитываемые веса i-го сумматора;

где $w_{ij}(t)$ – текущие веса i-го сумматора;

η - это коэффициент обучения, значение которого, как правило, выбирается из интервала (0,1);

x_j - входной сигнал i-го сумматора.

По данному алгоритму Гроссберга, вычисляются все входные вектора $\bar{x}$ в цикле до тех пор, пока выходные значения нейронной сети не будут совпадать с желаемыми (цель обучения достигнута) или превысят какого-то порогового значения числа итераций (обучения не достигла требуемого результата).

Генерация начальных весовых коэффициентов случайным образом приводит к возникновению негативных ситуаций. Одной из них является проблема «мертвых нейронов» и вероятность возникновения большого количества итераций обучения.

Выходы сумматоров ни разу не победившие в конкурентной борьбе называются «мертвыми нейронами». Возникновение данных нейронов уменьшает итоговое количество кластеров, что приводит к снижению эффективности диагностики неисправностей. «Мертвые нейроны» появляются в случае, когда два нейрона создают область, в которой есть еще весовые коэффициенты, но нет входных сигналов.

Основной причиной появления «мертвых нейронов» является случайное назначение начальных весовых коэффициентов. Для устранения данного недостатка целесообразно в качестве весового коэффициента каждого нейрона использовать значение первого входного вектора из каждого соответствующего кластера. Использование этой методики позволит исключить появление мертвых нейронов, что позволит максимально эффективно провести кластеризацию неисправностей дизелей.

Для системы диагностики неисправностей дизелей на основе искусственной нейронной сети WTA, необходимо создать корректную базу знаний весовых коэффициентов. Для обучения нейронной сети необходимо задать входные обучающие вектора $\bar{x}$ и соответствующие им выходные желаемые значения $\bar{d}$. В результате испытаний дизелей КАМАЗ 740.30-260 на стенде были получены обучающие выборки.

Для обучения системы было отобрано восемнадцать выборок, которые были поделены на шесть групп. Выборка включает в себя семь параметров, но в процессе обучения применяется только шесть, параметр время испытаний при обучении не используется, так как он не влияет на процесс кластеризации неисправностей.

Используя полученные выборки, была произведена их нормализация. Затем было присвоено каждому вектору соответствующее ему выходное значение. Далее провели одиннадцать экспериментов вводя в систему различные начальных весовых коэффициенты, заданные случайным

В результате проведения экспериментов: минимальное количество циклов обучения в выборке составило 295, максимальное 400, среднее количество 363.

В работе модернизированного алгоритма лежит определение в качестве начальных весовых коэффициентов данные входного вектора $\bar{x}$, впервые встречающегося в каждой кластерной группе.

В результате на основе начальных выборок была получена следующая матрица начальных весовых коэффициентов. Используя эти веса, было проведено обучение, позволяющее подобрать весовые коэффициенты, такими, чтобы выходное значение соответствовало желаемому. Процесс обучения длился один цикл.

Математическая модель, предложенная в настоящей статье была реализована в виде программы ЭВМ под названием «Кластеризатор неисправностей дизелей» на языке программирования Visual Studio C#. На данный программный продукт было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ под №2015616955, от 26.06.2015г. в Федеральный институт промышленной собственности Роспатента[5].

Эффективность модернизированного алгоритма подбора начальных весовых коэффициентов перед классическим заключается в существенном уменьшении количества циклов обучения, позволяющего снизить нагрузку на вычислительные устройства. Наибольший эффект может быть достигнут при большом количестве обучающих выборок и размерности входных и выходных векторов. Таким образом, модернизированный алгоритм подбора начальных весовых коэффициентов позволяет уменьшить временные и вычислительные ресурсы при обучении искусственной нейронной сети WTA.

Список литературы

1. Biktimirov R.L., Valiev R.A., Galiullin L.A., Zubkov E.V., Iljuhin A.N., Automated test system of diesel engines based on fuzzy neural network. Research Journal of Applied Sciences, 2014, Vol. 9, pp. 1059-1063.
2. Galiullin L.A., Zubkov E.V. Hybrid Neural Network for the Adjustment of Fuzzy System when Simulating Tests of Internal Combustion Engines //Russian Engineering Research. - 2011. - Vol. 31, № 5. - pp. 439-443.
3. Osovskiy S., Neural networks for data processing, Moscow: Finance and statistics, 2002.
4. Макушин А.А., Зубков Е.В., Гафиятуллин А.А., Илюхин А.Н. Испытания автотракторных дизелей для создания математических моделей на основе нечеткой логики// Тракторы и сельхозмашины. – 2010. -№8. С.22-25.
5. Кластеризатор неисправностей дизелей: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012618433, Российская Федерация /А.Н. Илюхин; заявл. 29.04.2015; зарегистр. 26.05.2015

05.13.06

¹Л.Р. Кашапова, ¹Д.Л. Панкратов д-р техн. наук, ¹Л.А. Симонова д-р техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
pishite.lile@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В статье представлены основные этапы работы автоматизированной системы технологической подготовки производства процесса листовой штамповки и реализация на примере детали лонжерон автомобиля КАМАЗ. Система, основанная на формализованных знаниях экспертов в области обработки металлов давлением, позволяет получать высококачественные изделия с учетом технико-экономических показателей предприятия.

Ключевые слова: автоматизированная система, листовая штамповка, надежность, технологический процесс.

Обеспечение качества изделий, получаемых листовой штамповкой (ЛШ), является актуальной задачей и способы ее решения определяются на этапе проведения технической подготовки производства (ТПП). Реализация ТПП в автоматизированном режиме позволяет ускорить принятие технических решений и исключить ошибки, вызванные человеческим фактором.

В данной работе листоштамповочное производство (ЛШП) рассматривается в виде системы МСИОП (Материал – Структура процесса – Инструмент – Оборудование – Персонал). Каждый элемент данной человеко-машинной системы включает параметры ЛШП (факторы надежности), например: содержание углерода, трение между поверхностью заготовки и инструмента, усилие пресса и т.д.

Подробно последовательность этапов функционирования разработанной автоматизированной системы (АС), предназначенной для реализации ТПП ЛШ в автоматизированном режиме, приведена в работе. [1] Входной информацией для АС является конструкторская документация на деталь (3D-модель), которая содержит следующие параметры: конструкция (форма), габаритные размеры детали, марка материала, технические требования и т.д. На следующем этапе АС происходит формирование нескольких вариантов ТП изготовления данной детали. Виды необходимых операций и последовательность их выполнения определяются автоматически на основе разработанного классификатора деталей ЛШП. [1]

Сгенерированные варианты МСИОП проходят оценку надежности. Алгоритм оценки описан и представлен в работе [2]. Принятие решений осуществляется на базе нечеткого вывода (рисунок 1).

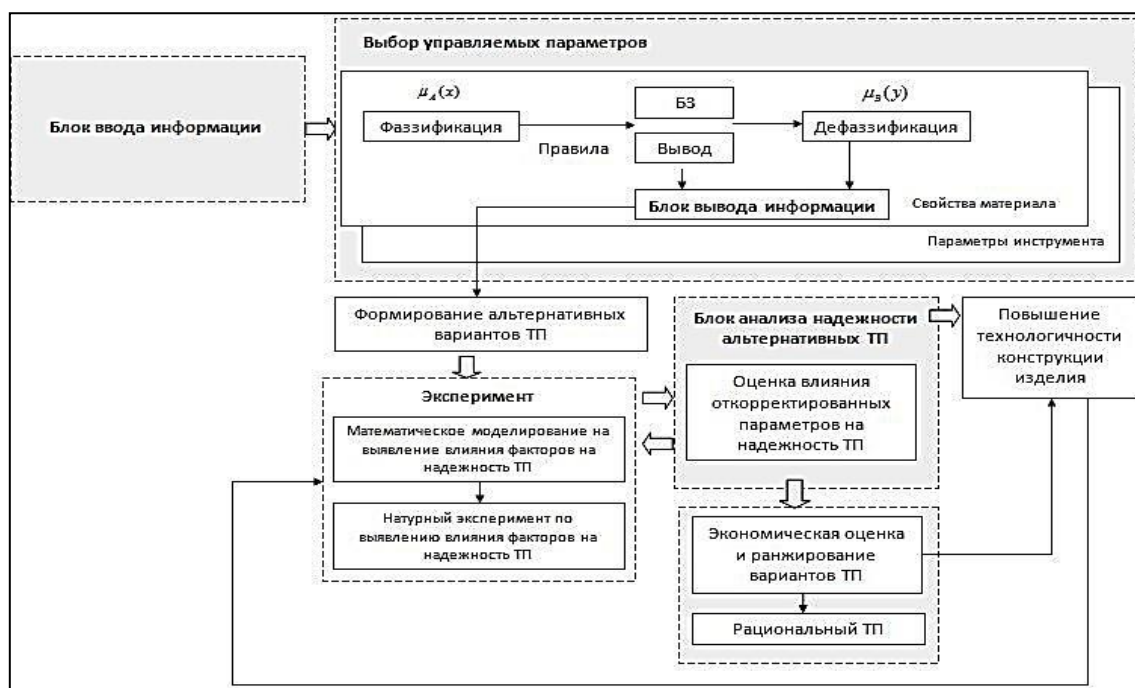


Рис. 1 – Схема нечеткого логического вывода

На третьем этапе АС позволяет выявить факторы, за счет которых можно произвести корректировку разработанного ТП с целью повышения его надежности. Исправленный вариант МСИОП' переходит на этап экономического анализа, в результате которого осуществляется ранжирование вариантов МСИОП. [3]

Логический вывод формируется с помощью выходной лингвистической переменной на основе предварительно составленных правил базы знаний. База знаний составляется экспертом (инженером-технологом в области ЛШ) на основании правил и заключений, которыми бы пользовался инженер-технолог или оператор при управлении процессом.

Разработанная АСТПП ЛШ реализована в программе MATLAB. На рисунке 2 представлен фрагмент программы: база данных, выборка материалов по заданным условиям, варианты структур процесса, оборудования и персонала. [2]

Номер	Марка стали	Стандарт	Толщина	Ширина	Длина	Сортамент
1 20		ГОСТ 1050...	4	1000	3000	ГОСТ 19903...
2 35		ГОСТ 1050...	12	1200	6000	ГОСТ 19903...
3 08пс		ГОСТ 1050...	2	1250	3000	ГОСТ 19903...

Номер	Инструмент	Форма переходной кромки	Радиус скругления/угол	Зазор
1	Матрица	скругленная	16	8
2	Матрица	скругленная	24	8
3	Матрица	скругленная	40	8.93

Номер	Оборудование
1	Пресс штамповочный
2	Автоматическая линия штамповки лонжеронов а/м КАМАЗ KOMATSU
3	Сварочный полуавтомат Kemroweld

Номер	Персонал	Разряд
1	Штамповщик	1
2	Оператор автоматических линий	3
3	Фрезеровщик	2

Рис. 2 – Окно программы генерации вариантов МСИОП

Работа АСТПП была опробована на ТП лонжерона автомобиля КАМАЗ. В конструкции детали имеется сложный элемент, выемка под амортизаторы задних колес автомобиля. На производстве при изготовлении данной детали возникает в зонах вытяжки периодический брак: складки и разрыв металла. Сформированные варианты параметров МСИОП представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты МСИОП ТП штамповки лонжерона

М	Лист 8х1200х3000 500МС		Полоса 8х445х7020 500МС
С	1 – 3 – 2 – 4	1 – 2 – 3 – 4	1 – 2 – 3
И	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4
О	1, 3	1, 3	2
П	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4
МСИОП ₁	МСИОП ₁	МСИОП ₂	МСИОП ₆

где С: 1 – вырубка заготовки; 2 – пробивка отверстий; 3 – гибка; 4 – сварка;

И: 1 – вырубной штамп; 2 – матрица; 3 – пуансон; 4 – прижим; 5 – сварочный инструмент;

О: 1 – автоматическая линия KOMATSU; 2 – автоматическая линия штамповки лонжеронов автомобилей КАМАЗ KOMATSU UAS6000MB; 3 – сварочный полуавтомат Kempoweld;

П: 1 – оператор автоматических и полуавтоматических линий холодноштамповочного оборудования (разряд 2-5); 2 – сверловщик (разряд 2-5); 3 – разметчик (разряд 2-6); 4 – фрезеровщик (разряд 2-6); 5 – электрогазосварщик (разряд 2-6).

Рассмотрим МСИОП₆, профиль которого изображен на рисунке 4. По профилю видно, что есть факторы надежности, лежащие вне зоны оптимальных значений (область с заливкой и без заливки): K_{T1} – коэффициент трения между поверхностью заготовки и рабочих частей инструмента; K_{T3} – коэффициент температурного режима; K_{T4} – допускаемые отклонений размеров листа (металлопроката); K_{M1} – твердость материала рабочих частей инструмента; K_{M2} – шероховатость поверхностей рабочих частей матрицы, пуансона, прижима; K_{M5} – зазор между рабочими частями штампа. Совместное воздействие данных факторов и приводит к возникновению периодического брака (складки и трещины). Места возникновения брака на лонжероне изображены на рисунке 3.

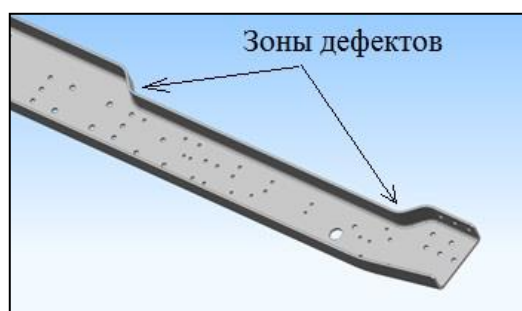


Рис. 3 – Зоны дефектов лонжерона

Корректирующие мероприятия и их основные параметры определялись как по данным базы знаний экспертной системы, так и с помощью проведения ряда экспериментов (компьютерного моделирования). Например, коэффициент трения (смазка Графитол, обладающая требуемыми смазывающими свойствами), размеры и форма переходной кромки матрицы были определены на основе результатов моделирования, проведенного в программе LS-DYNA.

На рисунке 4 так же изображен профиль надежности откорректированного МСИОП₆'. По нему видно, что после корректировки все «дефектные» факторы попали в допустимую зону профиля (заштрихованная область), и данный вариант МСИОП приобретает статус «надежного», а периодический брак при производстве лонжерона исчез. [4]

0,12	0,015	0,025	0,50	550	700	~	30	80	0,35	+0,16	+4,2	1100	14	255	0,32	0,63	0,16	200	0,055	8,93	8,00	2000	+0,2	+0,08	
○	○	○	○	○	○	○	□	□	○	○	○	□	□	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
●	●	●	●	●	●	●			●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
□	□	□	□	□	□	□	●	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
×	×	×	×	×	×	×	○	○	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	○	×	×	
q1	0,025	0,002	0,35	500	550	0	1%	50	q1	-0,16	0	20	12	217	0,10	0,32	0,10	50	0,05	8	0,05	0	-0,2	-0,08	
K _{M1}	K _{M2}	K _{M3}	K _{M4}	K _{M5}	K _{M6}	K _{M9}	K _{M7}	K _{M8}	K _{T1}	K _{T2}	K _{T4}	K _{T3}	K _{T5}	K _{Ш1}	K _{Ш2} ⁿ	K _{Ш2} ⁿ	K _{Ш2} ^o	K _{Ш3}	K _{Ш4}	K _{Ш5} ^{n-us}	K _{Ш5} ^{o-us}	K _{08.1}	K _{08.2}	K _{08.3}	
Химический состав						Механические свойства			Технология штамповки					Геометрические параметры инструмента								Параметры оборудования			
Свойства материала																									
ФАКТОРЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ЛОНЖЕРОНА																									

Рис. 4 – Профиль надежности МСИОП₆ до и после корректирующих мероприятий

Корректировка показателей надежности процесса ЛШ в автоматическом режиме позволяет на стадии ТПП предотвратить возникновение брака при производстве деталей.

Список литературы

1. Кашапова Л.Р., Панкратов Д.Л., Симонова Л.А., Генерация вариантов технологии изготовления деталей листовой штамповкой в автоматизированном режиме // Международная научно-техническая конференция "Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации" (15 декабря 2019), Ч.1, Пенза: МЦНС "Наука и просвещение".-2019.-С.104-107.
2. Кашапова Л.Р., Панкратов Д.Л., Шibaков В.Г., Автоматизированная оценка надежности технологического процесса листовой штамповки // Вестник машиностроения/М.: «Машиностроение».-№4.-2016.-С.56-59.
3. Интеллектуальная система формирования технологических процессов штамповочного производства на основе CALS-технологий, В.Г. Шibaков, Л.А. Симонова, Р.И. Мулюков / М.: Academia, 2011.-220с.
4. Кашапова Л.Р., Панкратов Д.Л., Утяганов Р.Ф., Влияние контактного трения на стабильность процесса листовой штамповки // Тенденции развития техники и технологий - 2015: сборник статей Международной научно-технической конференции (17-19 февраля 2015г., г. Тверь) / Под общей редакцией М.Г. Шалыгина. Тверь: НДМ.-2015.-С.54-60.

05.13.06

**В.Н. Красовский канд. техн. наук, Н.И. Красовская канд. техн. наук,
А.В. Сычева, С.В. Якубовская д-р техн. наук**

Тюменский индустриальный университет,
Институт транспорта,
Строительный институт,
Тюмень, krass200552@mail.ru, krass51@mail.ru, asycheva.tiu@mail.ru, sv5508@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИАГНОСТИКЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В работе представлены результаты формирования методики совершенствования системы технического диагностирования автотранспортных сервисных служб с применением когнитивных технологий. На основе теоретико-экспериментальных исследований сделаны выводы о возможности обучения правильно спроектированного многослойного персептрона надежной постановки диагноза неисправности диагностируемых сложных технических систем. Причем, из всего множества параметров мониторинга ценность для обучения нейронной сети имеют параметры именно первой и последней диагностических процедур.

Ключевые слова: *техническое диагностирование, когнитивные технологии, «имитация» мыслительной деятельности человека, искусственные нейронные сети.*

В работе предприятий автомобильного сервиса особое место занимает техническое диагностирование (ТД) подвижного состава и его составных частей, с помощью которого проводят непрерывный или периодический контроль параметров, характеризующих текущее фактическое состояния объекта диагностирования.

Проблема диагностики неисправностей состоит в достоверности выявления и локализации дефектов в системе. По мере усложнения технических систем диагностика неисправностей становится все более значимой процедурой [1,2,3,5]. Для самого сложного агрегата автотранспортного средства (АТС) – двигателя – следствиями неисправностей могут быть: повышение выбросов, загрязняющих экосистему; снижение уровня безопасности; увеличение расхода топлива; ухудшение управляемости автомобилем, его проходимости и др. При своевременном обнаружении неисправностей эти последствия можно предотвратить или хотя бы снизить.

В публикациях, касающихся современных аппаратно–программных средств для различного рода вычислений, все чаще встречаются словосочетания «когнитивные технологии» (от англ. Cognitive technology) и «когнитивные системы» (от англ. Cognitive system) [2,3,4,6]. В основе когнитивных технологий лежит «имитация» мыслительной деятельности человека, которые основаны, как правило, на моделях с нечеткой логикой (от англ. Fuzzy logic) и на искусственных нейронных сетях (от англ. Artificial neural networks), которые представляют собой математические модели, выстроенные на основе принципов организации биологических нейронных сетей [3,4,6,7]. Среди множества различных способов и методов обнаружения неисправностей при диагностике технических систем в последнее десятилетие одним из прогрессивных методов диагностики является использование когнитивных технологий. Получаемые модели используют в практических целях: в задачах прогнозирования, для распознавания образов, в задачах управления и др.

Искусственные нейронные сети (ИНС) в настоящее время проектируются в автономно работающем программном обеспечении, которое способно обрабатывать многомерные входные данные в режиме реального времени [4]. Сеть обучается предсказывать одну из переменных, используя другие. Разница между предсказанием и измерением используется,

чтобы отличить нормально работающий двигатель от неисправного. Например, используя ИНС, мы можем с высокой степенью точности обнаружить ошибки датчика абсолютного давления впускного коллектора (V_s) и клапана системы рециркуляции отработавших газов (V_a). Во впускном коллекторе автомобильного двигателя, схематически изображенном на рисунке 1, скорость массового расхода воздуха (V_i), рециркуляция отработавших газов (V_a), обороты двигателя (V_o) и абсолютное давление (V_s) связаны уравнением динамики первого порядка.

$$dV_s / dt = F(V_i, V_o, V_a, V_s) \quad (1)$$

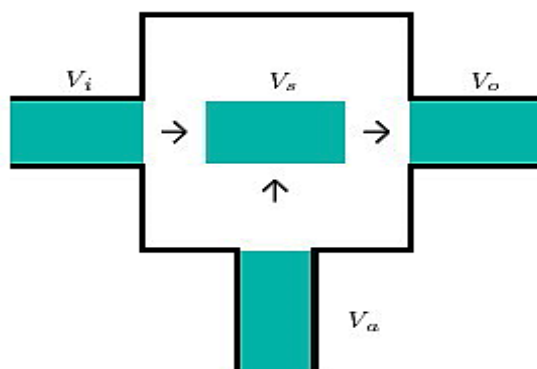


Рис. 1 - Схема циркуляции потоков в двигателе

Во многих автомобилях датчики измеряют данные переменные. Благодаря взаимосвязи этих переменных и фиксации их изменений во времени, мы можем выявлять неисправности датчиков. Таким образом, к примеру, контролируя переменную V_s , мы способны с высокой точностью обнаруживать ошибки в переменной V_a .

Рассмотрим модель нейронной сети, которая способна фиксировать динамику работы шестицилиндрового двигателя АТС в условиях предприятия автомобильного сервиса (АРП). Несмотря на то, что представленная модель ИНС характерна лишь для решения определенной диагностической проблемы, данный подход является общим и может легко быть адаптирован под решение широкого круга задач диагностики [3,6,7].

Используя трехслойную нейронную сеть с обратной связью, архитектура которой представлена на рисунке 2, можно спрогнозировать переменную V_s , используя остальные три переменные.

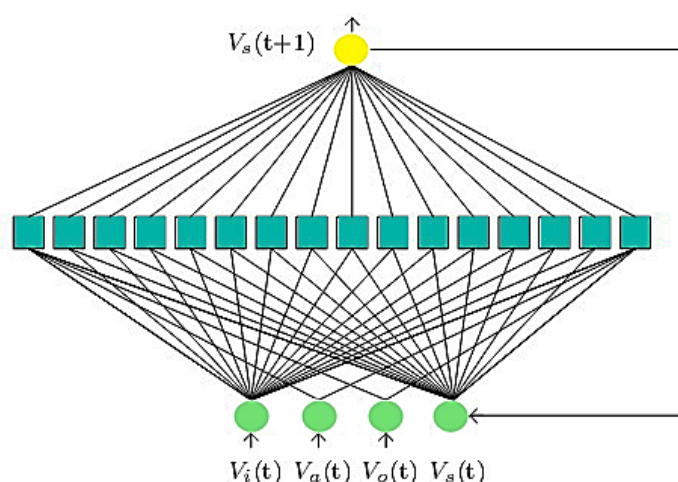


Рис. 2 - Архитектура трехслойной ИНС с обратной связью

Спрогнозированная переменная V_s возвращается на вход (принцип действия сетей с обратной связью) в качестве четвертого входного нейрона. Сеть с обратной связью обучается на учебном наборе данных, который был сформирован путем имитирования неисправностей V_s и V_a . Данные для обучения подаются следующим образом [3]:

1. Находится случайная начальная точка в длинной временной последовательности данных, и устанавливается начальное значение входа обратной связи переменной V_s .
2. Выполняется вход, чтобы получить V_s на выходе и вычислить ошибку (квадрат разности спрогнозированного значения V_s и полученного).
3. Устанавливается прямая подача на вход к следующей точке данных и вход обратной связи к спрогнозированному значению V_s .
4. Повторяются шаги 2 и 3 в цикле ($n=100$) для сбора сигналов об ошибках.
5. Повторяются шаги 1, 2, 3 и 4 в цикле ($n=4$) для дальнейшего сбора сигналов об ошибках.
6. Обновляется соединение согласно правилу обратного распространения ошибки (Back Error Propagation).
7. Повторяются шаги с 1 по 6 до тех пор, пока ошибка не перестанет уменьшаться или пока не будет достигнут предел вычислений.

Рабочие характеристики сети обычно проверяются на отдельном тестовом наборе данных.

В работах [2,3,6] приведены результаты экспериментальных исследований по диагностированию неисправностей двигателей АТС (КамАЗ класса «Еуго-4») с использованием искусственной нейронной сети, на которых установлены датчики, измеряющие соответствующие параметры во время ездки. База данных, полученных в ходе такого мониторинга, включает следующие параметры: номер и дату ездки, общую наработку двигателя, температуру и давление воздуха на входе в двигатель, температуру и давление отработавших газов и др. Количество таких параметров может достигать полусотни и более [3].

После выполнения 20-30 плановых технических обслуживаний (ТО) двигатель снимали с АТС и подвергали стендовой разборке, во время которой выявляли и устраняли его дефекты.

Задача оператора-диагноста состоит в том, чтобы, используя данные мониторинга, выявить дефекты двигателя до его профилактической разборки. Традиционно эта задача решается с помощью методик, основанных на физических закономерностях: каждый дефект вызывает определенные отклонения тех или иных параметров работы двигателя, поэтому, анализируя характер их изменения, можно сделать предположения о наличии дефектов, вызывающих эти изменения [3].

Данная задача с использованием нейросетевого моделирования решается следующим образом: во входном векторе персептрона X_{int} предусматривают места для всех параметров мониторинга, на значения которых оказывают влияние выявляемые дефекты. Возможные дефекты двигателя кодируются в выходном векторе Y_{ext} с помощью двоичной системы счисления. Векторы желаемых выходов Y_{ext} составляются по результатам стендовых разборок двигателей. Кроме того, предполагается, что при начале эксплуатации нового или только что отремонтированного АТС его двигатель полностью исправен и дефектов в нем нет, тогда, как перед самым завершением мониторинга двигатель уже имел те самые дефекты, которые и выявились при его разборке. Поэтому из всего множества параметров мониторинга ценность для обучения нейронной сети имеют параметры именно первой и последней ездки АТС. Тогда для каждого двигателя, побывавшего в разборке, нужно сформировать пару обучающих векторов X_{int} и Y_{ext} [3,4,7].

Вывод. При достаточном количестве обучающих примеров правильно спроектированный многослойный персептрон обучится надежно ставить диагноз неисправности диагностируемых сложных технических систем, в том числе и тех, которые в обучающем множестве не присутствовали.

Список литературы

1. Красовский, В.Н. Особенности оценки технического состояния двигателей при их разборке в условиях централизованного ремонта: диссертация канд. тех. наук . - МАДИ – М., 1987.
2. Корчагин В.А., Красовский В.Н. Когнитивные технологии в решении организационно-технологических задач предприятий автомобильного транспорта // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 34-37.
3. Корчагин В.А. Применение искусственных нейронных сетей в процессе распределения агрегатов автомобилей по комплексам ремонтных работ при их централизованном ремонте по техническому состоянию: диссертация канд. тех. наук. – СПб, СПбГАСУ, 2013.
4. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 144 с.
5. Poptsov V.V., Krasovsky V.N., Korchagin V.A. Development of Modern Technological Process for Vehicle Parts On-condition Centralized Repair.- Biosciences biotechnology research, Asia, august 2015, Vol. 12(2). Pp. 1857-1866.
6. Patan K. Towards Robustness in Neural Network Based Fault Diagnosis / K. Patan, M. Witczak, J. Korbicz // Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., 2008, Vol. 18, № 4. – P. 443–454
7. Svärd C. Residual Generation Methods for Fault Diagnosis with Automotive Applications // Linköping Studies in Science and Technology Thesis No.1406. – 2009.

05.13.06

¹И.И. Миннигалиева, ²Г.А. Гареева канд. педагог. наук,
Д.Р. Григорьева канд. педагог. наук, Р.Р. Басыров канд. техн. наук,
С.И. Жук канд. экон. наук

¹Набережночелнинский институт Казанского федерального университета,
Экономическое отделение,
кафедра экономики предприятий и организаций,
²Набережночелнинский институт Казанского федерального университета,
Набережные Челны, ilvinaminnigalieva27@mail.ru, gagareeva1977@mail.ru,
d.r.grigoreva@mail.ru, basr@mail.ru, SiZhuk@kpfu.ru

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЁТА ДОБЫЧИ НЕФТИ

Нефтегазодобывающая промышленность как основа топливно-энергетического комплекса занимает важное место в развитии страны и региона. Организации ведут оперативный учет добытой нефти по скважинам на основании данных о нефтегазоводяной смеси.

Ключевые слова: экономическая эффективность, добыча нефти, анализ.

Обеспечение устойчивого развития экономических систем предполагает переход к новой парадигме экономического развития, основанной на принципах ресурсоэффективности. Убеждение в неисчерпаемости природных ресурсов привело к глобальным проблемам экологического загрязнения, а также к истощению минерально-сырьевых запасов.

Благодаря внедрению и использованию новых, более совершенных технологий, предприятие остается конкурентоспособным в современных рыночных условиях [1].

У каждого предприятия возникает проблема повышения экономической эффективности внедрения новых технологий. Для этого на предприятии должны осуществляться прогнозирование и планирование внедрения мероприятий научно-технического прогресса на основе выработанной стратегии развития предприятия на долгую перспективу с учетом возможных финансовых возможностей [2].

Актуальность темы заключается в оперативности ведения учета добытой нефти по скважинам организацией на основании данных о нефтегазоводяной смеси. В основу всех методов экономической оценки входит определение затрат, результатов и критериев экономической эффективности. Поэтому грамотное управленческое решение приводит к росту эффективности инвестиционных решений.

Цель исследования заключается в оценке экономической эффективности проведения организационно-технических мероприятий на месторождении.

К основным показателям оценки эффективности проекта можно отнести такие параметры, как: чистый дисконтированный доход (ЧДД); внутренняя норма доходности (ВНД); индекс доходности дисконтированных затрат (ИДЗ); индекс доходности инвестиций (ИДИ); время окупаемости вложений.

Анализ производственной программы является одним из важнейших направлений технико-экономического анализа деятельности предприятия. В нефтегазодобывающем управлении производственная программа это – план добычи нефти и газа и их сдача транспортирующим организациям.

Правительством установлены льготные ставки НДС при разработке месторождений и участков, содержащих сверхвязкие нефти более 200мПа*с или имеющие выработку запасов более 80%. Это даст возможность недропользователям применять на таких месторождениях и участках новые более эффективные, но и более дорогие, технологии для увеличения нефтеотдачи [3].

Для обеспечения возможности применения дифференцированной ставки НДС по Соколкинскому месторождению НГДУ «Елховнефть» предлагается реализовать схему индивидуального поскважинного учета массы нетто добытой нефти в соответствии с требованиями законодательства РФ.

Количество добытой нефти это масса нефти за вычетом отделенных воды, попутного нефтяного газа и примесей, а также содержащихся в нефти во взвешенном состоянии воды, хлористых солей и механических примесей. В ПАО "Татнефть" внедряли для этих целей счетчик СКЖ, который, не может охватить измерением всё разнообразие параметров продукции, добываемой из скважин [4].

Для реализации схемы учета было дооснащено 90 добывающих скважин Соколкинского месторождения индивидуальными средствами замера дебита (СКЖ, РИНГ) и контроллерами для передачи данных на верхний уровень на общую сумму 18594,0 тыс. руб.

Свободный попутный нефтяной газ, который присутствует в потоке продукции нефтяной скважины, является необходимым условием для работы счетчика жидкости СКЖ. Нефтегазоводяная смесь подается во входной коллектор КПП, затем через сопло в измерительную камеру, состоящую из двух полостей. Заполнение одной полости измерительной камеры до определенной массы приводит к нарушению условия равновесия и сливу жидкости из этой полости камеры в КПП. Затем этот процесс повторяется в другой полости камеры. Слившаяся жидкость и излишек свободного газа одновременно вытесняются в выходной коллектор. При повороте измерительной камеры магнит, закрепленный на ней, воздействует на датчик в виде геркона или датчика Холла. Сигналы от датчика, число которых равно числу поворотов измерительной камеры, поступают на вход вычислителя БЭСКЖ или на вход датчика с нормированным выходным сигналом ПНСКЖ-1 [4].

Исходные данные для расчета экономической эффективности внедрения индивидуальных средств замера дебита с контроллерами «Стандарт» 1КП1.1РМ1. для передачи данных на верхний уровень на месторождении представлены в таблице.

Таблица - Исходные данные

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
Объем внедрения – счетчика СКЖ-60 в кол-ве	шт.	72
Стоимость СКЖ-60	тыс.руб.	130
Итого на внедрение счетчика СКЖ-60	тыс.руб.	9 360
Количество контроллеров «Стандарт» 1КП1.1РМ1.	шт.	90
Стоимость 1 контроллера	тыс.руб.	34
Итого на внедрение контроллеров	тыс.руб.	3060
Объем внедрения – счетчика РИНГ в кол-ве	шт.	18
Стоимость РИНГ	тыс.руб.	203
Затраты на внедрение счетчика РИНГ	тыс.руб.	3 654
СМР, ПНР (90 скв.)	тыс.руб.	2 520
Итого затраты по оборудованию	тыс.руб.	18 594
Объем нефти по Соколкинскому месторождению	т	452 000
Ставка НДС без льготы	тыс.руб/т	7,097
Ставка НДС с льготой	тыс.руб/т	6,287

Динамика ЧДД от внедрения индивидуальных средств замера дебита представлена на рисунке.

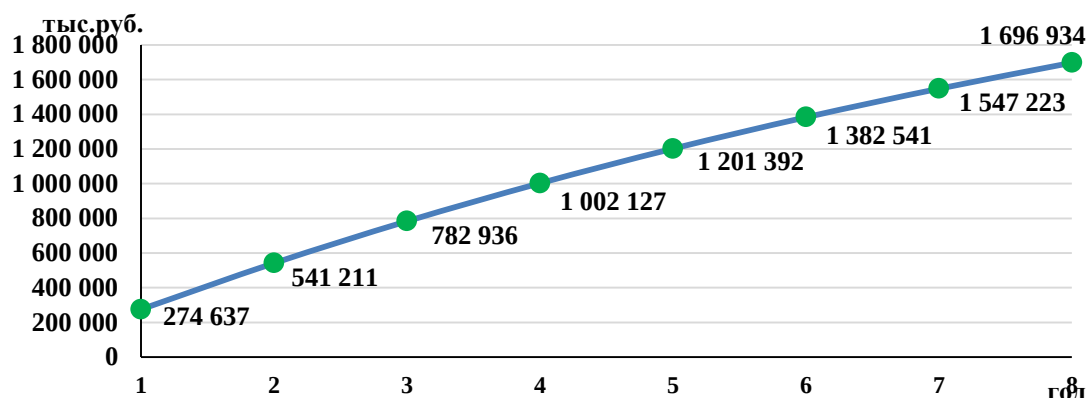


Рис. - Динамика ЧДД от внедрения индивидуальных средств замера дебита, тыс.руб.

Расчет экономической эффективности использования счётчиков для индивидуального учёта добычи нефти показал, что суммарный ЧДД > 0 и составляет 1696934 тыс. руб., срок окупаемости менее года. Индекс доходности дисконтированных затрат составляет 4,770 доли единиц. Полученный доход от реализации проекта покрывает затраты на его проведение и будет получена прибыль. По всем критериям инвестиционный проект является эффективным.

В результате проведения мероприятия добыча нефти не изменилась, производственная себестоимость валовой продукции снизилась на 357241 тыс.руб., а себестоимость добычи 1 т снизилась на 104 рубля; чистая прибыль от внедрения увеличилась на 285792 тыс.руб. и составила 14800701 тыс. руб. Рентабельность продукции увеличилась на 1,3% и рентабельность продаж на 0,6%. За счет внедрения индивидуальных средств замера дебита снизился налог на добычу полезных ископаемых на 365758 тыс.руб. и составил 2926067 тыс. руб. это произошло за счет выработанности месторождения более чем на 80%.

Все показатели говорят об экономической эффективности предлагаемого мероприятия по внедрению индивидуальных средств замера дебита (СКЖ, РИНГ). Реализовав данное мероприятие НГДУ «Елховнефть» удастся снизить ставку НДПИ, следовательно, получить за счет этого дополнительную прибыль, которую можно будет использовать на нужды предприятия.

Список литературы

1. *Сергеев И.В.* Организация и финансирование инвестиций. – М.: Финансы и статистика, 2013. – 304 с.
2. Устав публичного акционерного общества «Татнефть» имени В.Д.Шашина (новая редакция) от 26.06.2017 г.
3. Налоговый кодекс Российской Федерации. Часть 1, 2.-М.:Омега-Л, 2015.
4. *Гареева Г.А., Басыров Р.Р., Григорьева Д.Р.* Проектирование программного обеспечения для принятия эффективных управленческих решений. Научно-технический вестник Поволжья. №3, 2020. – Казань. – С. 88-91.

05.13.06

В.А. Митин, Д.Ю. Соколов, А.В. Савчиц канд. техн. наук

Волжский политехнический институт – филиал
Волгоградского государственного технического университета,
Волжский, doste.cowachi911@gmail.com

ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ДВУХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ СТЕНДОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ОБУЧЕНИЯ РАБОТЫ С ПЛК, КАК ДВУХ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ (МЕТОДОВ) ОБУЧЕНИЯ

Данная статья посвящена проведению сравнительного анализа двух лабораторных стендов, виртуального и физического, направленных на приобретение студентами навыков работы с ПЛК. Посредством работы на стенде, реализующим виртуальный объект, можно обеспечить восприятия реального эксперимента, проводимого на физической лабораторной установке, только на экране монитора. Но можно ли дать однозначный ответ, что лучше наблюдать и работать с реальной лабораторной установкой, или же с экранной моделью? Сомнительно. У любого метода и технологии проведения лабораторных работ есть как достоинства, так и недостатки.

Ключевые слова: информационные технологии, лабораторный практикум, учебный лабораторный стенд, преимущества и недостатки виртуальных и реальных лабораторных работ.

Лаборатории являются важной средой для обучения, в которой студенты, подкрепляя теорию практикой, получают практические навыки работы с реальными объектами. Основной задачей лабораторий в образовательных учреждениях является предоставление необходимого уровня практических знаний, необходимых обучающемуся в дальнейшем обучении, или устройстве на работу [1]. Хорошо оборудованные лаборатории позволяют проводить практические занятия, посредством выполнения лабораторных работ, в которых студенты принимают активное участие, самостоятельно делают выводы на основе полученных опытным путём данных, тем самым более глубоко закрепляют теоретический материал [2].

К примеру, в лабораторных работах по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП)» приобретаются навыки проведения экспериментов, понимания принципа работы и назначения приборов, исполнительных механизмов, датчиков и различных промышленных устройств.

На данный момент широкую популярность получают универсальные вычислительные продукты, которые позволяют решать задачи, связанные с моделированием реальных динамических систем. Вслед за модернизацией техники, неизбежно происходит модернизация обучения.

Идея разработки виртуального стенда заключается в создании виртуального стенда для программирования логических контроллеров и дальнейшего применения его в целях обучения. Разработка позволит повысить качество обучения за счет практического и наглядного программирования логических контроллеров. На данный момент проводится анализ рынка виртуальных стендов, а также подбор оборудования и выбор языка и среды для программирования.

Получение навыков по разработке алгоритмов управления различными технологическими объектами невозможно представить без практического опыта программирования ПЛК. Но у студента не всегда есть возможность получить доступ к реальному технологическому оборудованию. Поэтому было принято решение, разработать виртуальный стенд, который позволит студенту, не выходя из стен учебного заведения, тренироваться в разработке алгоритмов управления различными технологическими объектами, с поведением, максимально приближенному к реальности [3-4].

Разработанный стенд будет представлять собой персональный компьютер, с подключёнными к нему контроллерами. На одном из контроллеров будет находиться модель объекта, которая будет имитировать поведение реального объекта, а именно контроллер будет эмулировать сигналы датчиков. Студент будет программировать второй контроллер, который будет связан с виртуальным стендом по физическому или виртуальному сетевому интерфейсу. У преподавателя будет возможность изменять поведение модели, для того, чтобы проверить, учел ли студент при программировании все возможные нюансы работы объекта.

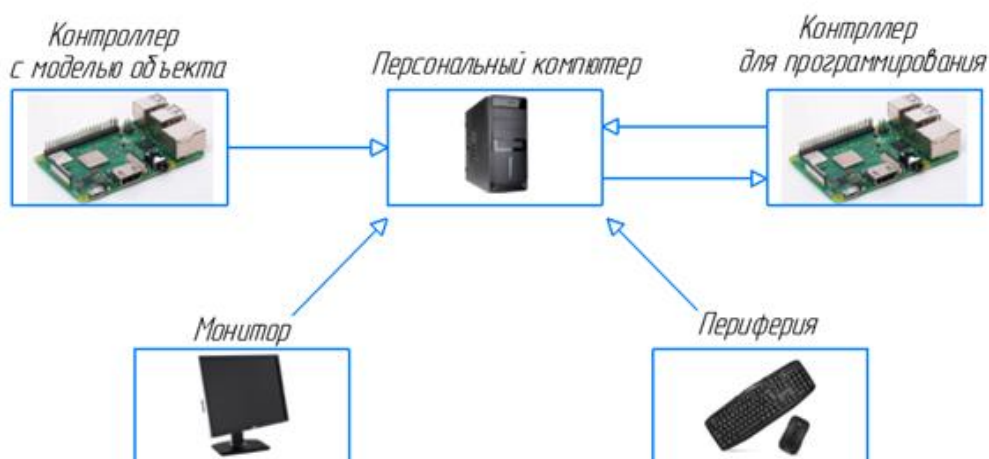


Рис.1– Структурная схема виртуального стенда

Такой инструмент позволяет студенту работать с компьютером как со специально разработанным для него обычным электронным прибором.

В дальнейшем планируется расширить возможности виртуального стенда, а именно моделировать поведение не только отдельных объектов, но и целых технологических процессов.

Идея разработки физического стенда заключается в создании лабораторной установки на основе ПЛК, предназначенной для обучения основам работы с логическими контроллерами и программным обеспечением, необходимым для разработки и последующей отладки программ и мнемосхем.

Разработка призвана повысить качество и скорость обучения, путем предоставления наглядного способа работы с физической обвязкой ПЛК в совокупности с программированием [5]. На данный момент проводятся монтажные работы по сборке стенда, а также выбор основного объекта управления, который тесно будет применяться со стендом, можно даже сказать будет неотъемлемой его частью.

На объекте, перед разработчиком программ нередко встаёт задача, проверить правильность подключения физических сигналов. Поэтому, при обучении навыкам работы с ПЛК, необходимо не только научиться разрабатывать программы по алгоритмам управления, но и получить навыки с физической частью ПЛК.

Благодаря разрабатываемому стенду, у студентов появиться возможность непосредственно познакомиться с ПЛК, узнать, как правильно подключать и работать с сигналами, поступающими как на контроллер, так и с него. Получить опыт работы с физическим оборудованием и алгоритмами их взаимодействия с ПЛК.

Стенд строится по иерархическому принципу современных АСУ ТП:

- нижний уровень — уровень датчиков и исполнительных механизмов;
- средний уровень — уровень промышленных контроллеров (ПЛК);
- верхний уровень — уровень промышленного сервера и сетевого оборудования;
- оперативный уровень — уровень операторских и диспетчерских станций (SCADA).

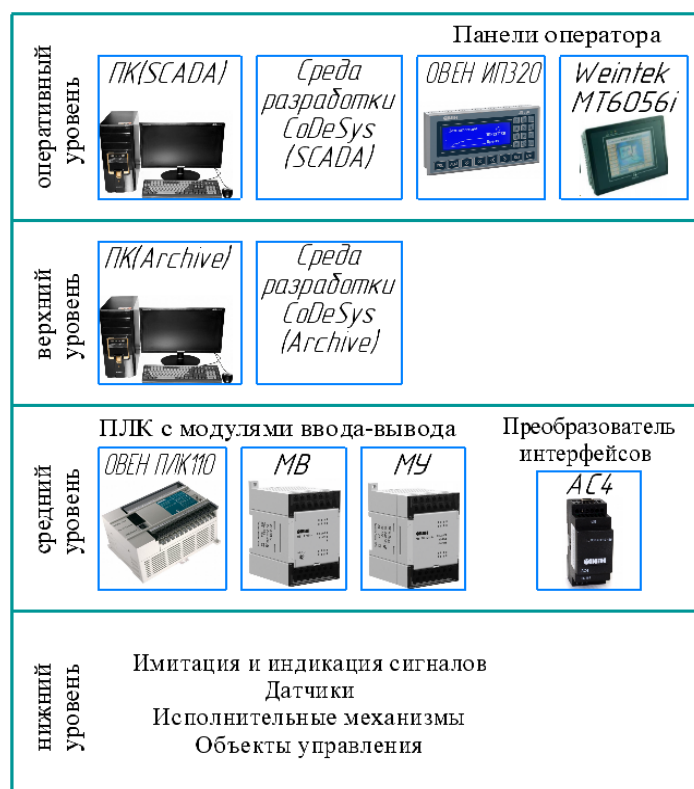


Рис.2– Структурная схема лабораторной установки

В дальнейшем планируется расширить возможности стенда, а именно разрабатывать различные модели объектов управления, чтобы шире охватить круг изучения оборудования, используемого на производстве.

Сегодня создать физическую лабораторию достаточно сложно, она должна соответствовать нормам, пройти необходимую аттестацию, нуждается в настройке и обслуживании, расходы. Наши проекты были разработаны для решения этих проблем. Но возникает вопрос: какой стенд, физический или виртуальный, будет более целесообразно выбрать для повышения качества образования студентов?

Для составления полной картины, было выбрано несколько показателей, которые раскрывают плюсы и минусы каждого из стендов.

Таблица– Сравнение виртуального и физического стендов

Показатель	Виртуальный стенд	Физический стенд
Стоимость	В единичном экземпляре значительно дешевле аналогов	
Смена функционала	Возможность загрузить модель другого объекта	Необходимость замены одного или нескольких частей стенда
Безопасность	Не требуется	Необходим курс ТБ
Износоустойчивость	+	-
Необходимые навыки	Начальный курс в среде программирования	Начальный курс в среде программирования, базовый курс электротехники, вводный курс работы с ПЛК
Контроль за обучающимися	Не требуется	Необходим
Габариты	Занимает пространство, равное одной учебной парте	
Возможности	Использование бесплатного ПО дает возможность давать обучающемуся задание на дом	
Наглядность	Взаимодействие с ПК	Взаимодействие с ПК, ПЛК с модулями расширения

Практическая значимость	Навыки программирования и визуализации [6]	Навыки программирования и визуализации, а также навыки работы с физической частью ПЛК, с ПО для конфигурирования модулей, работа с панелями оператора
Размер группы обучающихся, единовременно использующих стенд	Неограниченно, разбиение по написанию отдельных блоков и мнемосхем	Неограниченно, разбиение по написанию блоков, мнемосхем, обязанностям работы с отдельными модулями и ОУ
Гибкость и универсальность	Возможность имитированию любого по сложности и размеру технологического процесса посредством программирования	Нет привязанности к объекту управления, возможность подключения любого устройства полевого уровня, с цепями питания 24В

Каждая из лабораторных установок имеет как «плюсы», так и «минусы», и нельзя однозначно сказать, какой из стендов обладает большим полезным эффектом. Несомненно, технологии не стоят на месте, технологические процессы становятся все более компьютеризированными и работа, связанная с программированием ПЛК, отклоняется в сторону виртуального программирования, но при этом работа с физической частью, так же никуда не исчезает.

Обучение студента на физическом стенде в основном направлено на получение начальных знаний и навыков, формирование у обучающегося базового понимания работы с ПЛК, а именно тактильное восприятие самого контроллера, деятельность, связанная с подключением различного оборудования к входам и выходам и программирование небольших технологических объектов.

Виртуальный стенд, нацелен, по большей части, на людей, прошедших физический этап работы с контроллерами, и сконцентрировавших свое внимание именно на получение навыков программирования [7]. Виртуальный стенд позволит человеку обучиться программированию не только отдельно взятых технологических объектов, но возможность работать с целыми технологическими процессами.

Список литературы

1. Радковский С.А., Трунаев А.М. Перспективы и возможности использования виртуальных лабораторных установок в учебном процессе кафедры АТСиВТ ДОНИЖТ, Сборник научных трудов ДОНИЖТ. Донецк: ДОНИЖТ, 2019. С. 14-19.
2. Зак Е.А., Жиребин С.В., Литвинов А.С. Идеология построения учебных стендов для изучения промышленных контроллеров, Труды международного симпозиума надежность и качество. 2006. №1, С. 111-113.
3. Дозоров В.А., Дозоров Е.В. Виртуальный лабораторный практикум как одна из эффективных форм урока в инновационной школе, Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Организация довузовской подготовки в условиях проведения Единого государственного экзамена». Омск: 2012, С. 27-31.
4. Саданова Б.М., Олейникова А.В., Альберти И.В., Одинцова Е.А., Плеханова Е.Н. Применение возможностей виртуальных лабораторий в учебном процессе технического вуза, Молодой ученый. 2016. №4., URL: moluch.ru/archive/108/25945/.
5. Митин В.А. Разработка лабораторного стенда для изучения работы с модулями ввода-вывода промышленного контроллера на базе ПЛК-110, Молодой ученый. 2018. №21, URL: moluch.ru/archive/207/50710/.
6. Matthew, E.V., A Virtual Circuits Lab: Building students' understanding of series, parallel, and complex circuits, The Science Teacher, 77(5). Date Views 20.11.2019 jstor.org/stable/24146143.
7. Kollöffel, B. and T.de. Jong, Virtues of Virtual Labs, ASEE Prism, 23(4). Date Views 20.11.2019 jstor.org/stable/43531082.

05.13.06

**Ш.Ш. Хузятов канд. техн. наук, Р.А. Валиев канд. физ.-мат. наук,
Е.В. Зубков канд. техн. наук, Э.Л. Хазиев канд. техн. наук, Л.Б. Хузятова**

Казанский федеральный университет,
Набережночелнинский институт,
Набережные Челны, huzjatov@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Предложена методика паттерн проектирования программного обеспечения для распределенной системы управления утилизацией попутного нефтяного газа в газотурбинной установке. В шаблонных проектах программного обеспечения контроллера и системы диспетчерского управления созданы паттерны для однотипных датчиков исполнительных устройств, а также для микротурбин и их станций. Использование этих шаблонных проектов значительно сокращает время разработки и внедрения проектов АСУ ТП.

Ключевые слова: автоматизация, система управления, паттерн проектирование, программное обеспечение, газотурбинная установка.

Системы управления сепарацией, очисткой и комплексной подготовкой газа для микротурбин характеризуются большим количеством однотипных элементов автоматизации [1, 2]. В этом случае представляется целесообразным применение методики паттерн проектирования программного обеспечения. В соответствии с этой методикой [3] в качестве элементов нижнего иерархического уровня принимаются однотипные объекты проекта, такие как аналоговые и дискретные датчики, задвижки, насосы и компрессоры, счетчики газа и т.д. [4 – 6]. Для систем утилизации попутного нефтяного газа дополнительными однотипными объектами проекта являются также и микротурбины.

Шаблонные проекты реализованы на основе аппаратных и программных средств Siemens. Для разработки программы управления контроллером использована система Step 7, для создания системы мониторинга и диспетчерского управления оборудованием использована SCADA-система WinCC.

В шаблонном проекте программы контроллера для описания основных эксплуатационных характеристик одной микротурбины был создан пользовательский тип UDTm (табл. 1).

Таблица 1 – Пользовательский тип UDTm для микротурбины

Характеристика микротурбины	Имя элемента	Тип элемента
Наработка в часах	Hours	DWord
Количество пусков	NumStart	DWord
Состояние	State	DWord
Генерируемая мощность	Power	DInt

Описание характеристик всех микротурбин станции реализовано через пользовательский тип UDTs. У этого пользовательского типа первый элемент предназначен для хранения значения выработанной электроэнергии всеми генераторами станции. Второй элемент с именем GTPS является одномерным массивом Array[1..N] объектов типа UDTm, где N – максимальное количество микротурбин в станции.

Для хранения данных станции в проекте Step 7 был создан блок данных DBk, который представляет собой одномерный массив объектов пользовательского типа UDTs. В программном обеспечении контроллера реализован циклически опрос микропроцессорной системы микротурбин, в результате которого происходит заполнение элементов блока данных DBk.

В функциональном блоке управления станцией реализованы алгоритмы включения/отключения, которые учитывают давление газа в резервуарах и наработку конкретной микротурбины. Этим обеспечивается равномерная эксплуатация микротурбин в течение определенного периода времени.

Эффективная организация обмена блоками данных между контроллером и диспетчерским компьютером обеспечивается на основе соответствия элементов структурных типов в шаблонных проектах нижнего и верхнего уровней.

В шаблонном проекте WinCC определен структурный тип GTPS, элементы которого содержат информацию о состоянии всех микротурбин станции. Этот структурный тип соответствует пользовательскому типу UDTs проекта Step 7. Количество и тип элементов GTPS равно количеству и типу элементов типа UDTs соответственно.

На основе структурного типа GTPS в проекте WinCC для каждой станции были созданы структурные теги. Каждый структурный тег соответствует элементу массива в блоке данных DBk проекта Step 7. Адрес каждого структурного тега определяется выбором блока данных DBk и указанием смещения соответствующего элемента массива внутри этого блока данных (табл. 2).

Таблица 2 – Теги и их адреса для i-ой газотурбинной станции

Имя тега	Тип тега	Адрес тега
GTPS[i].GenPower	Signed 32-bit value	DBk.DD0
GTPS[i].M[1]_Hours	Unsigned 32-bit value	DBk.DD4
GTPS[i].M[1]_NumStart	Unsigned 32-bit value	DBk.DD8
GTPS[i].M[1]_State	Unsigned 32-bit value	DBk.DD12
GTPS[i].M[1]_Power	Signed 32-bit value	DBk.DD16
GTPS[i].M[2]_Hours	Unsigned 32-bit value	DBk.DD20
GTPS[i].M[2]_NumStart	Unsigned 32-bit value	DBk.DD24
GTPS[i].M[2]_State	Unsigned 32-bit value	DBk.DD28
GTPS[i].M[2]_Power	Signed 32-bit value	DBk.DD32
...	...	...

Для отображения эксплуатационных характеристик микротурбин в шаблонном проекте верхнего уровня создан экран процесса, который является паттерном для всех микротурбин (рис. 1).

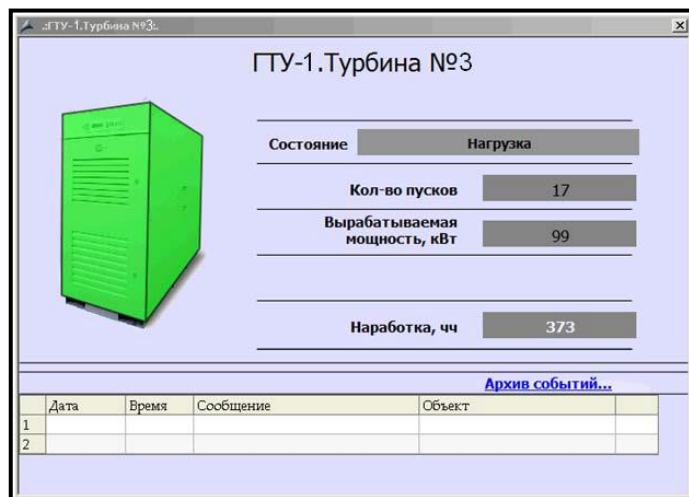


Рис. 1 – Паттерн экрана процесса для микротурбин

Этот экран процесса содержит несколько полей ввода/вывода, свойства которых указывают на вспомогательные внутренние теги. При вызове экрана процесса формируется имя тега процесса для конкретной микротурбины. Имя тега процесса записывается на внутренний тег, характеристики текущей микротурбины отображаются путем косвенной адресации.

Для отображения характеристик микротурбин в составе станции в шаблонном проекте верхнего уровня создан экран процесса, который является паттерном для всех станций (рис. 2).

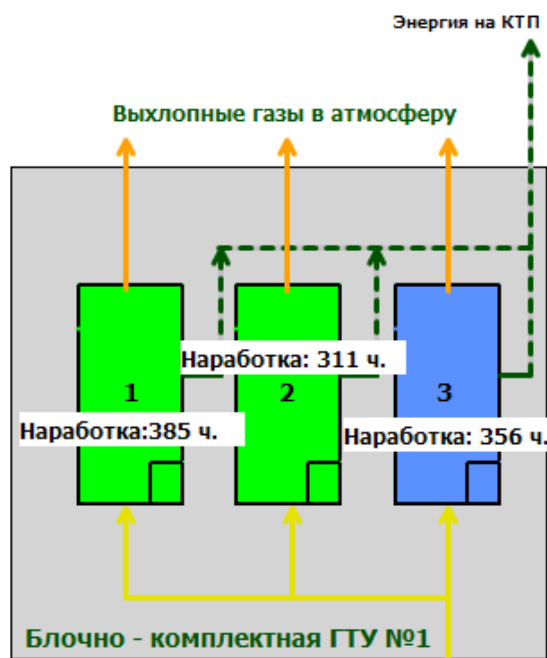


Рис. 2 – Паттерн экрана процесса для станций.

Экран процесса станций отображает состояние (работа, ожидание, отключено, авария) и основные характеристики всех микротурбин в виде различных визуальных эффектов.

Основной экран процесса для конкретного объекта нефтедобычи разрабатывается в виде мнемосхемы технологического процесса путем копирования графических объектов из экрана объектов. Свойства графических объектов и связанные с ними скрипты при этом сохраняются. При необходимости экран состояний конкретного объекта вызывается обработчиком события графического объекта на мнемосхеме.

Таким образом, для реализации предложенной методики шаблонного проектирования программного обеспечения систем управления утилизации попутного нефтяного газа паттернами программного обеспечения приняты однотипные датчики и исполнительные устройства, а также и микротурбины.

Базовыми элементами паттерна для микротурбин являются структурный тип, блок данных, структурные теги и функциональный блок, в котором реализованы алгоритмы обработки данных датчиков и генерирования управляющих сигналов.

Предложенная структура паттерна позволяет интегрировать автономную систему управления микротурбиной в распределенную систему управления утилизацией попутного нефтяного газа.

Список литературы

1. Дроздов А.Н. Утилизация попутного нефтяного газа с использованием существующей инфраструктуры промыслов // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 74-77.
2. Barkan M.S., Kornev A.V. Prospects for the Use of Associated Gas of Oil Development as Energy Product // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2017. – Vol. 7. – Iss. 2. – P. 374-383.
3. Khalil M. Pattern-based methods for model-based safety-critical software architecture design // Lecture Notes in Informatics, Proceedings - Series of the Gesellschaft fur Informatik – 2013. – P. 493-499.
4. Хузятов Ш.Ш., Валиев Р.А. Проектирование автоматизированных систем управления на основе методики паттерна // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – N 2. – С. 215–218.
5. Valiev R.A., Khuzyatov Sh. Sh. Pattern-design software of automated control systems // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings. – 2016. – A.N.7910942.
6. Илюхин А.Н., Хузятов Ш.Ш., Валиев Р.А. Методика разработки системы диспетчерского управления для объектов нефтедобычи // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – N 5. – С. 214–216.

05.13.11

Т.А. Деменкова канд. техн. наук, Е.В. Шпиева

МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
Москва, demenkova@mirea.ru

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

В работе рассматриваются методы моделирования сверточных нейронных сетей применительно к задаче распознавания изображений. Проведен анализ существующих моделей нейронных сетей, создана модель нейронной сети для распознавания изображений и проведена оценка точности обучения и прогнозирования модели. Предложено программное обеспечение и методика выполнения с его помощью исследований при выполнении проектов на основе нейронных сетей. Показаны возможные области применения полученных в работе результатов.

Ключевые слова: *модели, сверточная нейронная сеть, распознавание образов, точность прогнозирования модели.*

Целью работы является исследование эффективности применения методов моделирования сверточных нейронных сетей для конкретной задачи, имеющей отношение к распознаванию образов. В настоящее время существует множество различных программных средств для обработки и анализа данных. Наиболее популярное программное обеспечение это Tensorflow и Keras. Tensorflow относится к открытым библиотекам машинного обучения для работы с библиотеками на языке программирования Python, также есть реализация на других языках. Keras является открытой нейросетевой библиотекой, надстройкой над Tensorflow.

Для решения поставленной задачи были проанализированы несколько видов фреймворков с учетом типа нейронных сетей, используемого языка программирования, количества инструментов и дополнительных параметров, характера и общих целей самого проекта. Для исследования фреймворков и использованы следующие параметры тестирования:

- продолжительность;
- потребление памяти;
- загрузка процессора и графического процессора;
- количество эпох.

Была разработана программа построения моделей сверточной нейронной сети в различных фреймворках, которая предназначена для исследования моделей сверточных нейронных сетей с использованием стандартных баз данных. Программа предоставляет возможность выполнять моделирование сверточной нейронной сети для лучшего обучения системы с наглядным изменением параметров для оценки вероятности определения объекта по изображению. Имеется возможность отображать точность определения и этапы переобучения в зависимости от списка параметров, включая количество эпох, скорость обучения, размер базы для обучения, размер базы для тестирования. Программа построена таким образом, что может показывать различные подходы в решении поставленной задачи, а также недостатки того или иного фреймворка.

Структура программной системы представлена на рис.1. Для выполнения описанных выше исследований надо подготовить набор входных параметров, которые предполагается использовать в качестве базовых. К входным параметрам относятся количество эпох, функции активации, количество слоев нейронной сети и вид набора данных (например, MNIST). В качестве набора данных можно использовать различные виды.

Набор данных делится на три группы. Обучающий набор используется для обучения модели. Оценочный набор предназначен для оценки точности модели, Тестовый набор требуется для оценки точности прогноза. Запрос / ответ направляется во фреймворки для обработки данных.

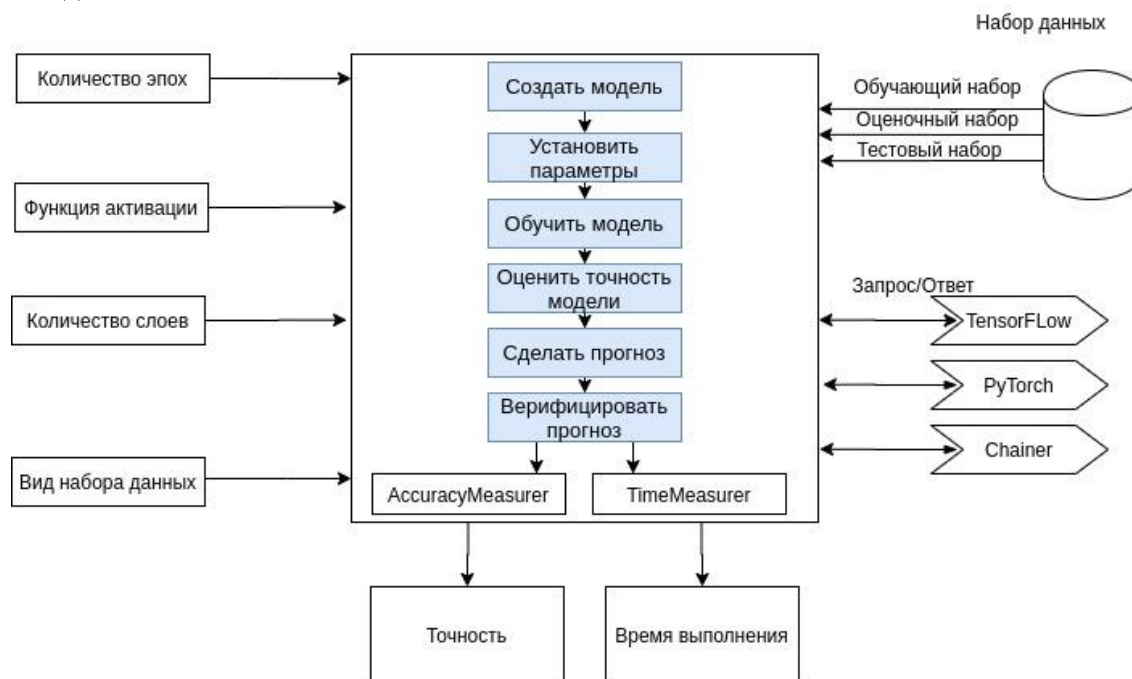


Рис. 1. – Структура программного обеспечения

Для анализа точности и времени обработки данных применяются специальные модули: модуль AccuracyMeasurer и модуль TimeMeasurer.

Используя каждый фреймворк, для получения верного прогноза по тестовому набору данных последовательно создается модель на основе заданных параметров, далее происходит ее обучение, оценка точности и в итоге верификация прогноза.

В программе построения моделей предусмотрены следующие функции:

- изучение и анализ данных;
- предварительная обработка данных;
- создание модели, обучение модели;
- оценка точности определения;
- расчет прогноза правильного определения.

В качестве метрик для теста производительности использовались время обучения нейронной сети, время тестирования нейронной сети, точность обучения / прогнозирования, состоятельность надёжность.

Был проведен анализ трех библиотек для работы с глубинными сетями:

- TensorFlow,
- PyTorch,
- Chainer.

Ниже представлены результаты экспериментальных исследований (рис.2-4).

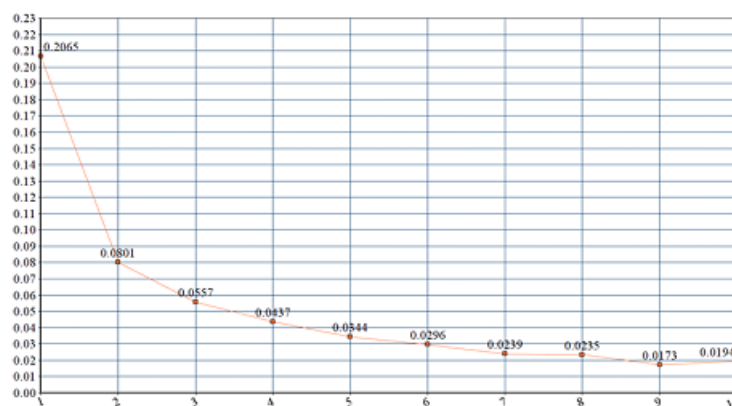


Рис. 2. - График потерь для библиотеки TensorFlow

В среднем обучение в одной эпохе для случая библиотеки TensorFlow составляет 24 секунды. Общее время обучения в TensorFlow занимает 240 секунд. Точность работы TensorFlow составляет 0,9921.

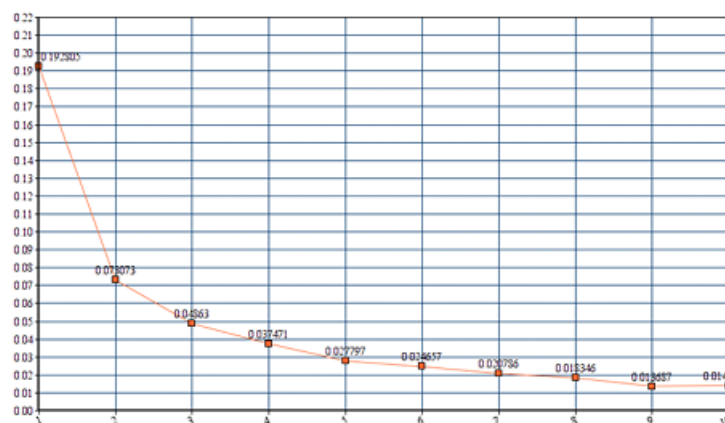


Рис. 3. - График потерь для библиотеки Chainer

Обучение в одной эпохе для случая библиотеки Chainer составляет 30 секунд. Общее время обучения в Chainer занимает 440,69 секунд. Точность работы Chainer составляет 0,9825.

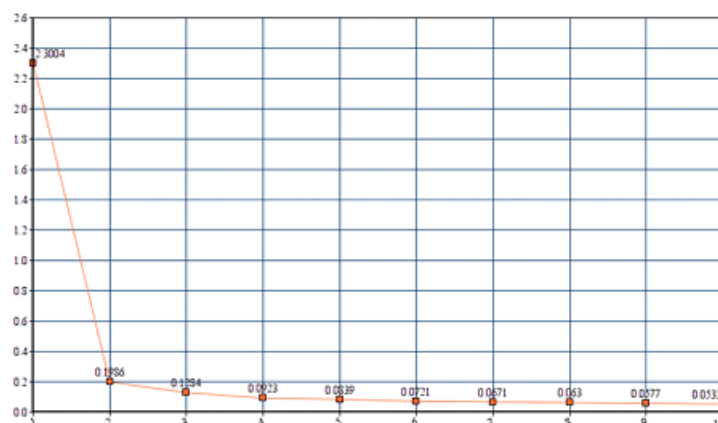


Рис. 4. - График потерь для библиотеки PyTorch

Для обучения в одной эпохе для случая библиотеки PyTorch требуется 38 секунд. Общее время обучения в PyTorch занимает 378.78 секунд. Точность работы PyTorch приближается к 0,98.

Также рассмотрены значения потерь для каждой библиотеки. Под этим подразумевается поведение модели после каждой итерации оптимизации. В идеале можно ожидать уменьшение потерь после каждой или нескольких итераций.

Для каждой библиотеки случайным образом были выбраны были цифры из обученного множества со своими спрогнозированными ответами. Исследования показали, что каждый из фреймворков определяет числа с достаточно большой точностью. Наилучшие показатели по скорости обучения и точности оказались у библиотеки TensorFlow, что позволяет считать ее наиболее подходящей библиотекой для работы со сверточными нейронными сетями.

Предложенные в работе программные средства и методика исследования существующих библиотек являются удобным инструментом для реализации конкретных производственных решений, связанных с обработкой изображений [4]. Они могут быть использованы также для решения актуальной задачи определения и устранения уязвимостей в современных инфокоммуникационных системах на этапе их проектирования и эксплуатации за счет использования нейронных сетей, которые доказали эффективность их использования в таких случаях [5,6].

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации (проект № FFSZ-2020-0022).*

Список литературы

1. Schmidhuber J. Deep Learning in neural networks: An overview // Neural Networks. 2015. (61). pp.85–117.
2. Bahrapour S., Ramakrishnan N., Schott L., Shah M. Comparative Study of Deep Learning Software Frameworks. 2015. URL: file:///C:/Users/79162/Downloads/Comparative_Study_of_Caffe_Neon_Theano_and_Torch_f.pdf (дата обращения 15.03.2020)
3. Ciresan D., Meier U., Masci J., Schmidhuber J. Multi-column deep neural network for traffic sign classification // Neural Networks. 2012. (32). pp. 333–338.
4. Деменкова Т.А., Шниева Е.В. Анализ средств реализации для задачи обработки изображений. Журнал Современная наука: актуальные проблемы теории и практики: Серия «Естественные и Технические науки». 2019, №6. С.67-69.
5. Деменкова Т.А., Индришенок А.О. Исследование уязвимостей интеллектуальной системы управления // Интеллектуальные системы в информационном противоборстве. Сборник научных трудов. Т.1 -М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова. 2018. С.186-190.
6. Pevtsov E.Ph., Demenkova T.A., Shnyakin A.A. Design for testability of integrated circuits and project protection difficulties // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7. № 4. С. 60–70.

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

05.13.18

Р.А. Бикметов, Р.Ш. Ишмуратов, А.С. Хисматуллин канд. физ.-мат. наук

Филиал «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
кафедра электрооборудования и автоматики промышленных предприятий,
Салават, hism5az@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСОВ
С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ
НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В работе проведен анализ отказов электрооборудования и повышение надежности электроснабжения в электродвигателях, влияния технического состояния электродвигателей насосной станции на надежность системы электроснабжения.

Разработана модель в программе Matlab Simulink, повышающая надежность системы электроснабжения, основанная на определении влияния технического состояния насосов с электрическим приводом на надежность системы электроснабжения промышленных предприятий.

Разработанные математические модели реализованы в среде MATLAB, обеспечивающей переход к микропроцессорным реализациям алгоритмов управления. Их использование позволяет проводить исследования работы электродвигателя при различных способах регулирования и разнообразных функциях нагружения асинхронного электропривода насосных агрегатов.

Ключевые слова: электропривод, потенциал насос, асинхронный двигатель.

По разным источникам потенциал экономии энергопотребления насосными системами составляет до 60 %. Созданию энергоэффективных и экономичных режимов работы насосных агрегатов до сих пор уделяется недостаточно внимания, что приводит к нерациональным затратам электроэнергии от 5 до 15 % в процессе перекачки чистых и сточных вод.

Асинхронный двигатель (АД) является основным источником энергии для всех видов насосов. Использование частотного преобразователя (ЧП) позволяет снизить пусковой ток и осуществлять плавное регулирование скорости вращения электродвигателя. Однако при этом возникают добавочные потери от высших гармоник напряжения, происходит снижение максимально допустимого электромагнитного момента двигателя из-за повышенного нагрева, появляются пульсации момента, взаимодействие магнитных полей вызывает дополнительный шум, снижается долговечность изоляции, возникают подшипниковые токи, снижается к.п.д. электродвигателя. Экономия на электроэнергии выливается в повышенную аварийность оборудования и может привести к еще большим финансовым тратам.

Анализ основных причин аварий, произведенный на основании дефектных ведомостей предприятия, произошедших на объектах химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности, позволил выделить основные группы причин, которые представлены на рисунке 1 и 2.

В технологическом процессе, промышленных предприятий некоторую часть (34%) занимают машинные агрегаты, имеющая электрический привод [1-5].

Наличие гармонических составляющих и несимметрии напряжения в низковольтных сетях подтверждается исследованиями, проведенными в [3-6].

В реальных сетях существует несинусоидальность напряжения, которая согласно [4], нормируется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения ($K_{и}, \%$);
- коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения ($K_{и}(n), \%$).



Рис. 1 – Статистические данные электрических повреждений электроприводов машинных агрегатов



Рис. 2 – Статистические данные механических повреждений электроприводов машинных агрегатов

Для сетей 0,38 кВ нормально допустимое значение $K_{и} = 8,0 \%$, а предельно допустимое значение коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности (K_{2n}) равно четырем процентам. Искажения формы кривой напряжения приводит к увеличению напряжения небаланса на выходе ФНОП и ложным срабатываниям исполнительного органа [4-10]. Исследование влияния несинусоидальности кривой напряжения на работу фильтра напряжения обратной последовательности проводилось на математической модели фильтра, с помощью математического пакета Matlab.

Ухудшение качества поверхности контактной группы коммутационного аппарата приводит к изменению переходных процессов при пуске АД.

В этом случае, при пуске АД, наблюдается увеличение токов, изменяется время возникновения ударного тока, возникают гармонические составляющие пускового тока.

Для исследования влияния переходных режимов работы электропривода и влияния неисправных машинных агрегатов на показатели качества электроэнергии в системе электроснабжения, а также для изучения процессов, происходящих в системе электроснабжения разработана модель системы электроснабжения в приложении Simulink, рисунок 3.

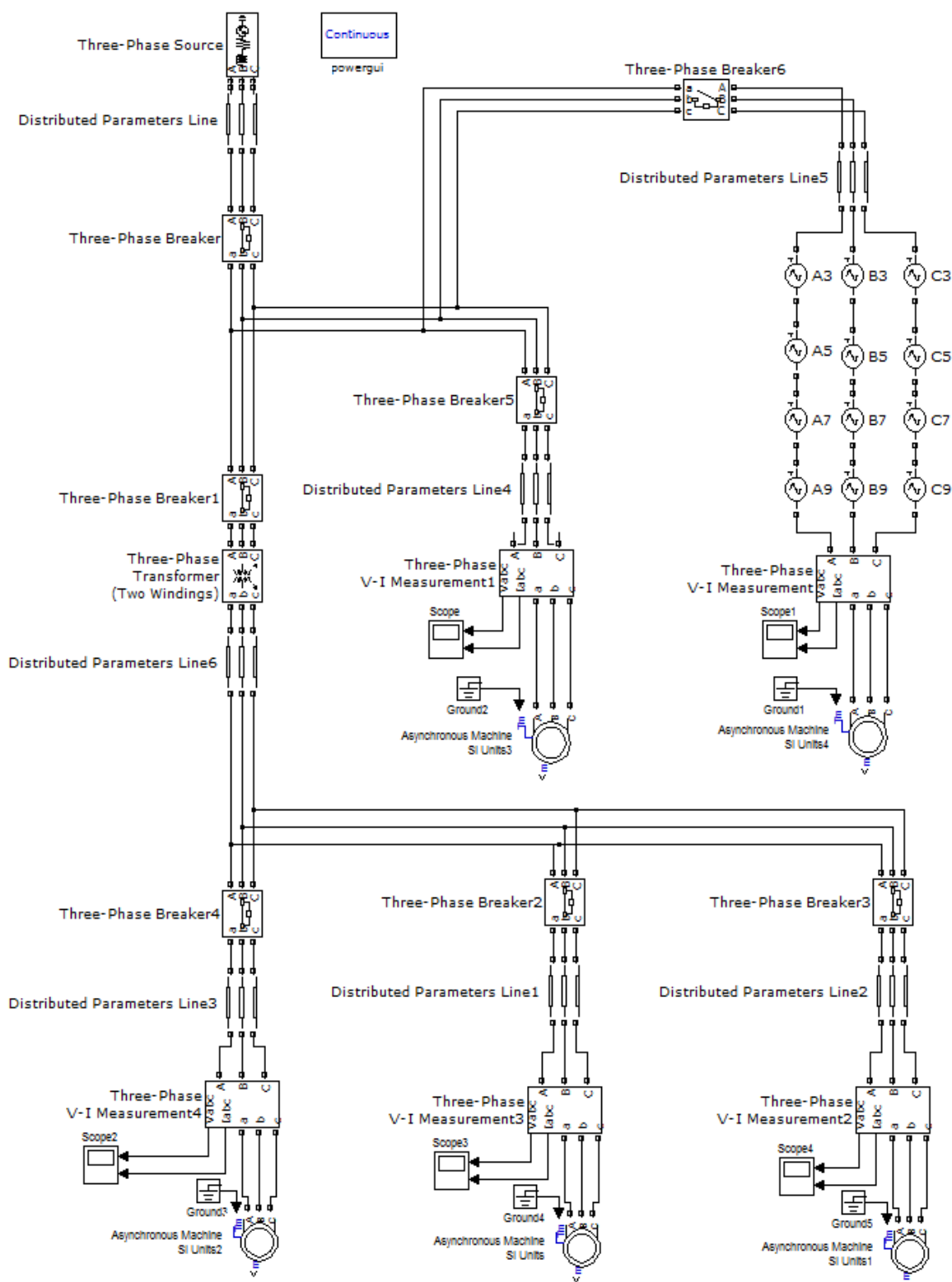


Рис. 3 – Модель системы электроснабжения для исследований режимов работы в приложении Simulink среды MathLab

Рассмотрим влияние пуска высоковольтного электродвигателя на низковольтные электроприемники.

На рисунке 4 приведены осциллограммы: напряжение на зажимах высоковольтного электродвигателя, потребляемые токи всеми электропотребителями, напряжение на зажимах низковольтного электродвигателя, потребляемые токи низковольтного электродвигателя.

Для проведения исследований произвели запуск низковольтной нагрузки, после окончания переходных режимов и работы схемы в установившемся режиме произвели пуск электродвигателя на стороне 6 кВ.

Как видно из осциллограмм, напряжение на зажимах высоковольтного электродвигателя снижается, при этом потребляемые токи на вводе секции 6 кВ возрастают, и по мере разгона электродвигателя снижаются. На стороне 0,4 кВ также наблюдается снижение напряжений и при этом на низковольтном электродвигателе снижаются потребляемые токи.

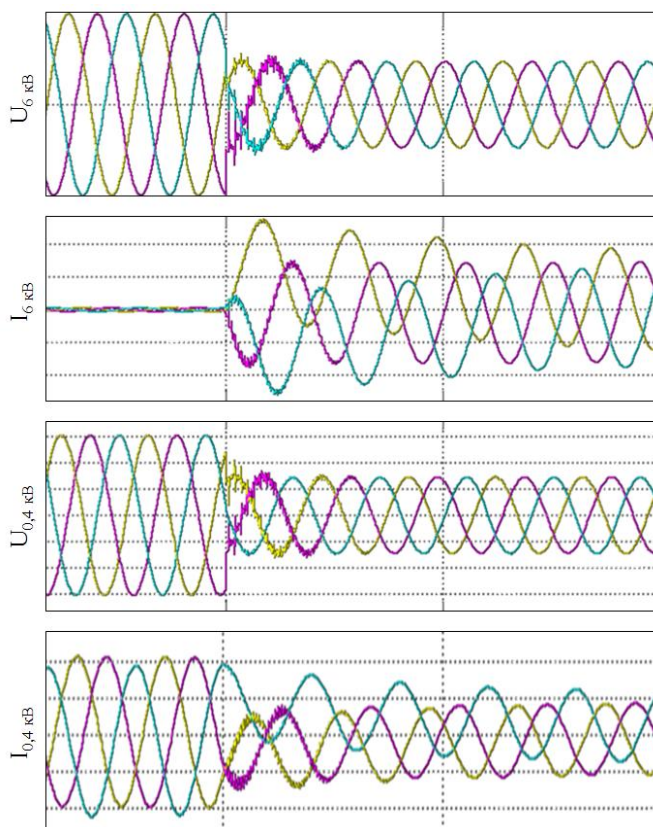


Рис. 4 - Осциллограммы при исследовании влияния пуска высоковольтного электродвигателя на низковольтные электроприемники

Таким образом, из экспериментов видно, что пуск мощного электродвигателя вызывает отрицательное отклонение напряжения электропитания не только на стороне 6 кВ, но и на низковольтных электроприемниках. Согласно расчётам данным также видно, что при запуске мощных электроприемников при ограниченности мощности системы может произойти нарушение показателей качества электроэнергии, в частности превышение предельно допустимых отклонений напряжения электропитания как на стороне 6 кВ, так и на секции 0,4 кВ.

На втором этапе произвели анализ гармонических составляющих на предмет превышения нормированных значений, так значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений увеличенных в 1,5 раза, в течение 100% времени каждого периода в одну неделю установленных в соответствии с ГОСТ 32144-2013

Таблица 1 – Сравнительная таблица значений коэффициентов гармонических составляющих напряжений

Номер гармонической составляющей	0,38 кВ				6 кВ					
	Нормированные значения, %	Нормированное значение увеличенное в 1,5 раза, %	Факт. значение, %	Превышение	Нормированные значения, %	Нормированное значение увеличенное в 1,5 раза, %	Исправный ЭД		Неисправный ЭД	
							Факт. значение, %	Превышение	Факт. значение, %	Превышение
2	2	3	0,51	-	1,5	2,25	0,34	-	0,22	-
3	5	7,5	0,63	-	3	4,5	0,97	-	1,47	-
4	1	1,5	0,18	-	0,7	1,05	0,23	-	0,11	-
5	6	9	1,51	-	4	6	6,51	Да	8,03	Да
6	0,5	0,75	0,16	-	0,3	0,45	0,26	-	0,24	-
7	5	7,5	0,13	-	3	4,5	0,82	-	1,11	-
8	0,5	0,75	0,10	-	0,3	0,45	0,12	-	0,29	-
9	1,5	2,25	0,08	-	1	1,5	0,17	-	0,27	-
Заключение:			В норме		Заклучение:		Превышение		Превышение	

Анализируя полученные данные можно сделать выводы, что вектора гармоник напряжений изменили амплитуды и фазы после прохождения через трансформатор 6/0,4 кВ. Напряжение на стороне 0,4 кВ содержит минимальное количество гармонических составляющих, таким образом можно сделать вывод, что силовые трансформаторы имея гальваническую развязку высокого и низкого напряжения выступают в качестве фильтров высших гармонических составляющих, однако полного исключения влияния гармонических составляющих не произошло. Аналогичную картину можно наблюдать и при прохождении сигнала по кабельной линии, так как кабель, в соответствии со схемой замещения, содержит в себе емкостные и индуктивные составляющие.

Основываясь на произведенные расчеты, делаем вывод, что неисправный электродвигатель, генерируя в сеть гармонический спектр токов и напряжений, оказывает воздействие на показатели качества электроэнергии всей системы электроснабжения и как следствие на потребителей электроэнергии подключенных к данной системе.

Список литературы

1. Прахов И.В., Баширов М.Г., Самородов А.В. Исследование взаимосвязи режимов работы и характерных повреждений насоснокомпрессорного оборудования с параметрами генерируемых двигателем электрического привода высших гармонических составляющих токов и напряжений // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 2. С. 50-54.
2. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru>.
3. Хисматуллин А.С., Прахов И.В., Григорьев Е.С., Шафеев Р.Р. Применение нечеткой логики для компенсации реактивной мощности в электрической сети // Международный технико-экономический журнал. 2018. № 4. С. 13-19.
4. Баширов М.Г., Шикунов В.Н. Диагностика электрических сетей и электрооборудования промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов с грифом УМО – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 220 с.
5. Баширов М.Г., Хисматуллин А.С., Галлямов Р.У. Интегральный критерий оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов // Энергетик. 2016. № 7. С. 24-26.
6. Баширов М.Г., Прахов И.В., Хуснутдинова И.Г. Совершенствование методов оценки технического состояния силовых трансформаторов // Промышленная энергетика. 2018. № 7. С. 2-10.
7. Давлетишин Р.А., Хисматуллин А.С., Ахметов А.Э. Исследование нечеткого регулятора на основе трехфазного сепаратора нефти и газа // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 12 (102). С. 150-154.
8. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация добычи и переработки нефти. - М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2014. - 168 с.
9. Mullakaev M.S. Ultrasonic intensification of the processes of enhanced oil recovery, processing of crude oil and oil sludge, purification of oil-contaminated water. - М.: HELRI, 2018. - 376 p.
10. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация процессов добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и переработки нефтешламов. - М.: НИИ ИЭП, 2019. - 412 с.

05.13.18

¹Ф.А. Галимянов, ²В.Т. Якупова¹Казанский государственный энергетический университет,
кафедра Информатики и информационно управляющих систем,²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
кафедра Информатики и прикладной математики,
Казань, fanisgalimyanov@gmail.com, planeta_1987@mail.ru

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СЕМЕЙСТВА ФУНКЦИЙ КЛАССИФИКАЦИИ, РЕАЛИЗУЕМЫХ ОБУЧАЕМЫМИ МАШИНАМИ

В работе описываются VC-измерения для задач двоичной классификации образов. Для решающего правила VC-измерения определяются основные выражения. Устанавливаются границы VC-измерения для нейронной сети. Показано что VC-измерение сетей, состоящее из двух типов нейронов, пропорционально квадратам весовых коэффициентов.

Ключевые слова: VC-измерение, дихотомия, нейронные сети, мерой емкости, обучаемая машина

Введение. Теория равномерной сходимости функционала эмпирического риска $R_{emp}(w)$ к функционалу фактического риска $R(w)$ включает ограничения на скорость сходимости, которые основаны на важном параметре, получившем название измерения Вапника-Червоненкиса (Vapnik-Chervonenkis dimension) (или просто VC-измерения) в честь ученых, которые в 1971 году ввели это понятие [1]. Измерение Вапника-Червоненкиса является мерой емкости (capacity) или вычислительной мощности семейства функций классификации, реализованных обучаемыми машинами.

Постановка задачи. Для того чтобы описать концепцию VC-измерения в ракурсе изучаемой проблемы, рассмотрим задачу двоичной классификации образов, для которой множество ожидаемых откликов состоит всего из двух значений $d \in \{0,1\}$. Для обозначения правила принятия решения или функции двоичной классификации будем использовать термин дихотомия (dichotomy). Пусть F — множество дихотомий, реализованных обучаемой машиной, т.е.

$$F = \{F(x, w): w \in W, F: \mathbb{R}^m W \rightarrow \{0,1\}\} \quad (1)$$

Пусть L — множество, содержащее N точек m -мерного пространства X входных векторов:

$$L = \{x_i \in X; i = 1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

Дихотомия, реализованная обучаемой машиной, разбивает множество L на два непересекающихся подмножества L_0 и L_1 таких, что

$$F(x, w) = \begin{cases} 0 & \text{для } x \in L_0 \\ 1 & \text{для } x \in L_1 \end{cases} \quad (3)$$

Пусть $\Delta_F(L)$ — количество различных дихотомий, реализованных обучаемой машиной; $\Delta_F(l)$ — максимум $\Delta_F(L)$ на множестве всех L , для которых $|L|=1$, где $|L|$ — количество элементов в L . Говорят, что ансамбль дихотомий F является разбиением множества L , если $\Delta_F(L) = 2^{|L|}$, т.е. если все возможные дихотомии в L могут быть реализованы функциями F . При этом $\Delta_F(l)$ называется функцией роста (growth function).

Первый случай. На рисунке 1 показано двумерное входное пространство X , состоящее из четырех точек x_1, x_2, x_3, x_4 . Показанные на рисунке границы решений функций F_0 и F_1 соответствуют классам (гипотезам). 0 и 1.

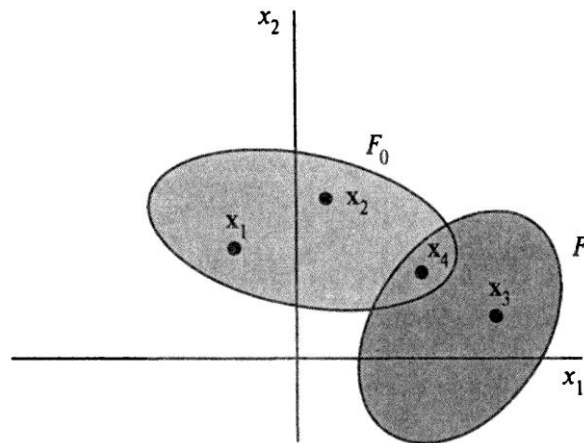


Рис. 1 – Диаграмма первого случая

На рисунке 1 видно, что функция F_0 индуцирует дихотомию

$$D_0 = \{G_0 = \{x_1, x_2, x_4\}, G_1 = \{x_3\}\}.$$

С другой стороны, функция F_1 описывает дихотомию

$$D_1 = \{G_0 = \{x_1, x_2\}, G_1 = \{x_3, x_4\}\}.$$

Так как множество G состоит из четырех точек, мощность $|G| = 4$. Следовательно,

$$\Delta_F(G) = 2^4 = 16.$$

Возвращаясь к общему обсуждению ансамбля дихотомий F , описываемого формулой (1), и соответствующего множества точек L , задаваемого формулой (2), VC-измерение можно определить следующим образом [1], [2], [3], [4].

VC-измерением F называется мощность наибольшего множества L , разбиением которого является F .

Другими словами, VC-измерением F (обозначается $VCdim(F)$) является самое большое значение N , для которого $\Delta_F(N) = 2^N$. В более знакомых терминах это утверждение можно переформулировать следующим образом. VC-измерение множества функций классификации $\{F(x, w): w \in W\}$ — это максимальное число образов, на которых машина может быть обучена без ошибок для всех возможных бинарных маркировок функций классификации.

Второй случай. Рассмотрим простое решающее правило в m -мерном пространстве X входных векторов, описываемое следующим образом:

$$F: y = \varphi(w^T x + b), \quad (4)$$

где x — m -мерный вектор весов; b — порог. Функция активации φ является пороговой, т.е.

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0, \\ 0, & v < 0. \end{cases}$$

VC-измерение решающего правила, определяемого формулой (4), определяется соотношением

$$VCdim(F) = m + 1 \quad (5)$$

Чтобы проиллюстрировать этот результат, рассмотрим двумерное входное пространство (т.е. $m = 2$), изображенное на рисунке 2.

На рисунке 2 а показаны три точки: x_1 , x_2 , и x_3 , а также три возможных варианта разделения этих точек. На рисунке ясно видно, что точки могут быть разделены тремя линиями. На рисунке 2 б изображены четыре точки: x_1 , x_2 , x_3 и x_4 . Точки x_2 и x_3 относятся к классу 0, а точки x_1 и x_4 — к классу 1. На рисунке видно, что точки x_2 и x_3 нельзя отделить от x_1 и x_4 одной линией. Таким образом, VC-измерение решающего правила, описанного формулой (4), при $m = 2$ равно 3, что соответствует формуле (5).

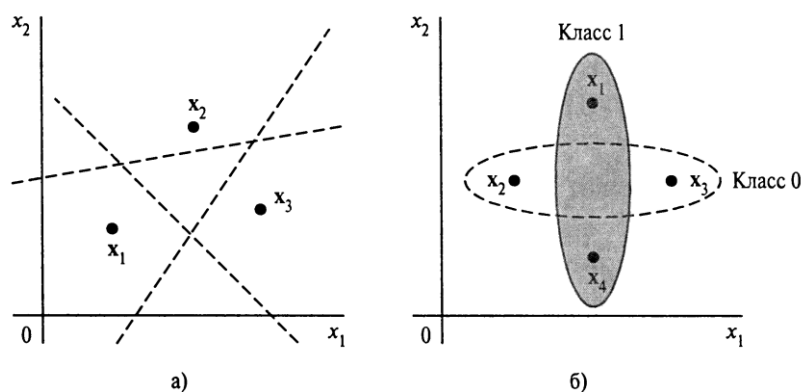


Рис. 2 – Два двумерных распределения для второго случая

Важность VC-измерения и его оценка. VC-измерение является сугубо комбинаторным понятием (combinatorial concept) и никак не связано с геометрическим понятием измерения. VC-измерение важно также и с конструкторской точки зрения. Образно говоря, количество примеров, необходимых для обучения системы данным некоторого класса, строго пропорционально VC-измерению этого класса.

В некоторых случаях VC-измерение определяется свободными параметрами нейронной сети. Однако на практике VC-измерение довольно сложно получить аналитическими методами. Тем не менее границы VC-измерения для нейронной сети часто устанавливаются довольно легко. В этом контексте особый интерес представляют следующие два результата.

1. Пусть N — произвольная нейронная сеть прямого распространения, состоящая из нейронов с пороговой функцией активации (Хэвисайда)

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & v \geq 0, \\ 0, & v < 0. \end{cases}$$

VC-измерение сети N составляет $O(W \log W)$, где W — общее количество свободных параметров сети.

2. Пусть N — произвольная многослойная нейронная сеть прямого распространения, состоящая из нейронов с сигмоидальной функцией активации

$$\varphi = \frac{1}{1 + \exp(-v)}$$

VC-измерение сети N равно $O(W^2)$, W — общее количество свободных параметров сети.

Выводы. Для получения второго результата сначала показали, что VC-измерение сетей, состоящее из двух типов нейронов (с линейной и пороговой функциями активации), пропорционально W^2 . Это довольно неожиданный результат, так как во втором случае было показано, что VC-измерение чисто линейных нейронных сетей пропорционально W , а VC-измерение нейронных сетей с пороговой функцией активации пропорционально $W \lg W$. Результат, относящийся к нейронным сетям с сигмоидальными функциями активации, был получен с помощью двух аппроксимаций. Во-первых, нейроны с пороговой функцией активации можно аппроксимировать узлами с сигмоидальными функциями и большими синаптическими весами. Во-вторых, линейные нейроны можно аппроксимировать нейронами с сигмоидальными функциями и малыми синаптическими весами.

Здесь важно обратить внимание на то, что многослойные сети прямого распространения имеют конечное VC-измерение.

Список литературы

1. Vapnik V.N. and A.Ya. Chervonenkis. On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities // Theoretical Probability and Its Applications. - 1971, vol. 17, p. 264-280.
2. Keams M.J. and U.V Vazirani. An Introduction to Computational Learning Theory // Cambridge. - MA: MIT Press, 1994.
3. Vapnik V.N. Statistical Learning Theory // New York: Wiley. - 1998.
4. Vidyasagar M. A Theory of Learning and Generalization // London: Springer-Verlag, 1997.

05.13.18

¹Е.Б. Думлер канд. техн. наук, ²Р.И. Вахитова канд. техн. наук,
²Д.А. Сарачева канд. техн. наук, ³И.П. Ситдикова канд. техн. наук,
³К.Л. Горшкова канд. техн. наук

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
 кафедра машин и оборудования нефтегазовых промыслов,
 dumler08@mail.ru,
 Альметьевский государственный нефтяной институт,
²энергомеханический факультет,
 кафедра «Электро- и теплоэнергетика»,
³кафедра «Автоматизация и информационные технологии»,
 roza-w@mail.ru, sarachevadiana85@mail.ru, sitdikova_ip@mail.ru, chri_leon@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ С МАЛОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ДЛЯ ГАШЕНИЯ ВИБРАЦИЙ В УСТАНОВКАХ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

В данной статье разработана математическая модель компенсатора для гашения вибраций вызванных колебаниями давления на выкиде насоса в установках погружных электроцентробежных насосов. Экспериментальной верификацией полученных теоретических результатов подтверждена адекватность разработанной математической модели.

Ключевые слова: установка электроцентробежного насоса, вибрация, компенсатор.

Введение. Воздействие вибрации на погружной электроцентробежный насос (ЭЦН) приводит к нарушениям его работы, преждевременному износу, а иногда и разрушению основных элементов, отвороту и «полету» узлов погружной установки [1]. Типичными причинами повышения уровня вибрации насоса, приводящей к преждевременным отказам УЭЦН, являются содержание свободного газа на приеме погружного насоса и мехпримесей [2-4]. Вопросы, связанные с компенсацией низкочастотных перепадов давления жидкости на выкиде ЭЦН, до конца не решены. Требуется разработка математической модели компенсатора для гашения колебаний давления, имеющего силовую характеристику с рабочим участком малой жесткости.

Исследования. Математическая модель компенсатора для УЭЦН описана уравнением [5]:

$$F_{\Sigma} = \frac{p_0 S H}{(H - x)} + 8 \cdot \pi \cdot E \cdot s \cdot \left(\frac{x}{N} \right) \cdot \frac{\left\{ \left(f - \left(\frac{x}{N} \right) \right) \cdot \left(f - \left(\frac{x}{N} \right) / 2 \right) \cdot \left[\frac{(D + d)}{2 \cdot (D - d)} - \frac{1}{\ln(D/d)} \right] + s^2 \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right) / 12 \right\}}{(D - d)^2}, \quad (1)$$

где S - площадь поршня; H - высота пневмопружины; f - высота конуса тарельчатой пружины; N - количество тарельчатых пружин; D - наружный диаметр тарельчатой пружины.

Теоретическая силовая характеристика системы для гашения колебаний с учетом сил сухого трения представлена на рисунке 1. Для попадания на участок (AB) с малой жесткостью систему необходимо нагрузить некоторым весом.

Из-за сил сухого трения силовая характеристика имеет вид петли гистерезиса. Аналитически функция $\hat{F}_{\Sigma}(x)$ получена из формулы (1):

$$\hat{F}_{\Sigma}(x) = F_{\Sigma}[x - x_*] - m'g, \quad (2)$$

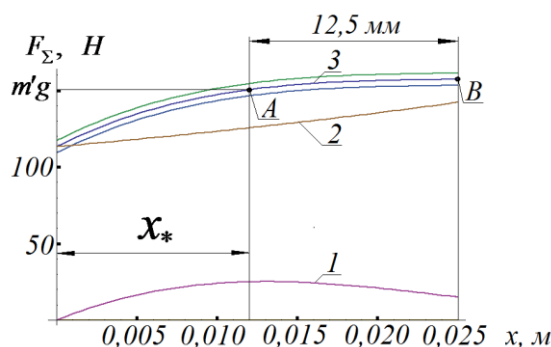


Рис. 1 – Теоретическая силовая характеристика системы:

1 – силовая характеристика пакета пружин; 2 – силовая характеристика пневмопружины;

3 – суммарная силовая характеристика; x_* – координата точки А

Свободные колебания поршня при такой силовой характеристике описываются дифференциальным уравнением, при $\dot{x}_0 = 0, x_0 = 0,0100\text{ м}$:

$$m' \cdot \ddot{x} = -(F_\Sigma[x - x_*] - m'g) - F_{mp.} \cdot \text{sign}[\dot{x}] \quad (3)$$

Результаты. Для экспериментального подтверждения наличия силовой характеристики в лабораторной модели разработанного компенсатора для гашения колебаний давления (вибраций) к набору грузов был присоединен вибратор, состоящий из двигателя постоянного тока со стержнем и эксцентриком, установленными на его валу (рис. 2) [5].

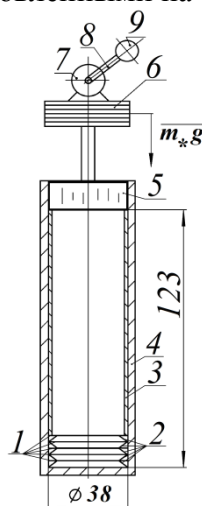


Рис. 2 – Схема лабораторной модели компенсатора:

1 – тарельчатые пружины; 2 – шайбы; 3 – втулка; 4 – цилиндр; 5 – поршень;

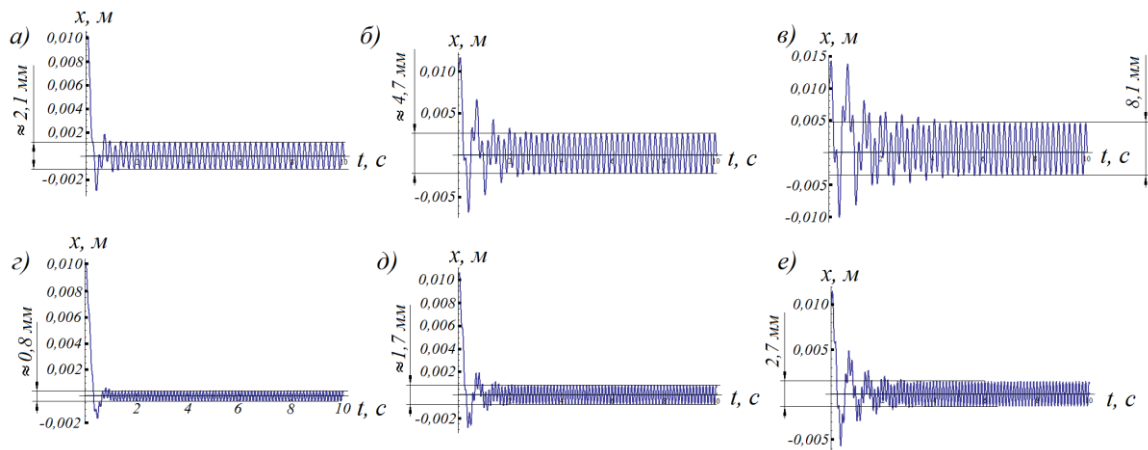
6 – набор грузов; 7 – электродвигатель; 8 – стержень; 9 – эксцентрик

Изменяя частоту вращения, массу эксцентрика и длину стержня, можно задать необходимую восстанавливающую силу, которой будет соответствовать расчетный размах вынужденных колебаний. При совпадении расчетных и экспериментальных значений размаха колебаний можно считать доказанным наличие у лабораторной модели расчетной силовой характеристики с участком малой жесткости.

Вынужденные колебания поршня со штоком опишем дифференциальным уравнением:

$$m' \cdot \ddot{x} = F_0 \cos[\omega \cdot t] - (F_\Sigma[x - x_*] - m'g) - F_{mp.} \cdot \text{sign}[\dot{x}], \quad (4)$$

где F_0 – амплитуда возмущающей силы; ω – частота вынужденных колебаний; e – длина стержня; $F_{\text{од.}}$ – сила сухого трения. Численным решением дифуравнения (4) получены колебания поршня (рис. 3).



а) $F_0 = 15H$, $\omega = 30c^{-1}$; б) $F_0 = 30 H$, $\omega = 30c^{-1}$; в) $F_0 = 50H$, $\omega = 30c^{-1}$;
г) $F_0 = 15H$, $\omega = 50c^{-1}$; д) $F_0 = 30H$, $\omega = 50c^{-1}$; е) $F_0 = 50H$, $\omega = 50c^{-1}$

Рис. 3 – Колебания поршня лабораторной модели при F_0 от 15 до 50 Н

При увеличении амплитуды возмущающей силы F_0 при одной и той же частоте размах колебаний увеличивается. Предполагалось, что если при экспериментальных исследованиях на модели компенсатора, величины замеров размаха колебаний с достаточной точностью совпадут с результатами, полученными теоретическим путем, то можно считать теоретические результаты доказанными. Возмущающая сила в лабораторной модели получена за счет эксцентрика e , вращающегося с постоянной угловой скоростью ω . Амплитуда возмущающей силы F_0 определяется суммой сил инерции Φ_1 и Φ_2 :

$$F_0 = \Phi_1 + \Phi_2 = m_1 \cdot \omega^2 \cdot e + m_2 \cdot \omega^2 \cdot e / 2 = \omega^2 \cdot e(m_1 + m_2 / 2), \quad (5)$$

$\Phi_1 = m_1 \cdot \omega^2 \cdot e$ - сила инерции на эксцентрик; $\Phi_2 = m_2 \cdot \omega^2 \cdot e / 2$ - сила инерции на стержень; m_1 - масса эксцентрика; m_2 - масса стержня; e – длина стержня (эксцентриситет); ω – угловая скорость вращения эксцентрика.

Дифуравнение (3) в этом случае принимает следующий вид:

$$m' \cdot \ddot{x} = \omega^2 \cdot e(m_1 + m_2 / 2) \cdot \cos[\omega \cdot t] - (F_{\Sigma}[x - x_*] - m'g) - F_{mp} \cdot \text{sign}[\dot{x}], \quad (6)$$

Численным решением дифуравнения (6) получены значения эксцентриситетов e для соответствующих значений F_0 и ω , при заданных значениях $(m_1 + m_2 / 2)$, принятые от 0,05 кг до 0,20 кг. Размах колебаний на режимах (рис. 3, а, б, в) при частоте колебаний $\omega = 30 c^{-1}$ был замерен экспериментально с использованием измерительного устройства [5].

Результаты замеров размаха колебаний поршня при трех независимых значениях амплитуд возмущающей силы ($F_0 = 15 H$; $F_0 = 30 H$; $F_0 = 50 H$) на частоте $\omega = 30 c^{-1}$ практически совпадают с теоретически полученными с погрешностью 1 мм, что доказывает правильность полученных теоретических результатов.

Выводы. Экспериментальной верификацией полученных теоретических результатов подтверждена адекватность разработанной математической модели. Разработана математическая модель пневмопружинного компенсатора давления, на основе которой получена силовая характеристика, имеющая рабочий участок квазиулевого жесткости длиной более трех метров, соответствующий заданному перепаду давления на выкиде погружного электроцентробежного насоса.

Список литературы

1. Carrella A. Passive vibration isolators with high-static-low-dynamic-stiffness // Ph. D. Thesis, ISVR, University of Southampton. 2008.
2. Le T.D., Ahn K.K. A vibration isolation system in low frequency excitation region using negative stiffness structure for vehicle seat // Journal of Sound and Vibration. 2011. Vol. 330. No 26, pp. 6311-6335.
3. Valeev A.R., Zotov A.N., Harisov Sh.A. Application of Disk Springs for Manufacturing Vibration Isolators with Quasi-Zero Stiffness // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51. N 3, pp.194-200.
4. Думлер Е.Б., Зотов А.Н., Молчанова В.А., Вахитова Р.И. Исследование эффективности поршневого компенсатора УЭЦН с квазинулевой жесткостью. Часть 1: Механизм виброизоляции УЭЦН пневмопружинным компенсатором // Нефтегазовое дело, 2017. – Т.15. – № 2. – С. 129-133.
5. Зотов А.Н., Думлер Е.Б., Уразаков К.Р. Моделирование работы пневмокомпенсатора с квазинулевой жесткостью в установке электропогружного центробежного насоса // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229 – С. 22-28.

05.13.18

¹Е.Б. Думлер канд. техн. наук, ¹Э.Я. Зинатуллина канд. техн. наук,
²Р.И. Вахитова канд. техн. наук, ³И.П. Ситдикова канд. техн. наук,
⁴И.К. Киямов д-р экон. наук

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра машин и оборудования нефтегазовых промыслов,
dumler08@mail.ru, zinatullina@perfbur.com
Альметьевский государственный нефтяной институт,
²энергомеханический факультет,
кафедра «Электро- и теплоэнергетика»,
³кафедра «Автоматизация и информационные технологии»,
roza-w@mail.ru, sitdikova_ip@mail.ru,
⁴Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Инженерный институт,
кафедра «Биомедицинская инженерия и управление инновациями»,
kiyamov.ilgam@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ПЛАСТОВОЙ СРЕДЫ В ОБРАТНОМ КЛАПАНЕ УЭЦН

В данной статье рассмотрены конструктивные особенности обратного клапанного узла установок электроцентробежных погружных насосов, от надежности которых зависят количество добываемой пластовой жидкости и стабильность работы установки в целом. Статья посвящена исследованию влияния формы тела клапана на гидравлические характеристики потока перекачиваемой среды.

Ключевые слова: УЭЦН, коэффициент гидравлического сопротивления, обратный клапан, программное обеспечение ANSYS

Введение. При эксплуатации скважин, оборудованных УЭЦН, одним из главных показателей, характеризующих процесс эксплуатации, является межремонтный период работы погружного насосного оборудования [1]. Значительная часть отказов связана с негерметичностью резьбовых соединений колонны насосно-компрессорных труб, износом узла обратного клапана, а также нарушением целостности внутренней поверхности НКТ в зоне над обратным клапаном. Это вызвано, в первую очередь, абразивным и агрессивным износом, возникающим в результате воздействия турбулентного течения потока пластовой жидкости, в составе которой находятся: мехпримеси, вода, мелкие пузырьки газа [2-4]. Особая опасность заключается в том, что турбулентный режим течения, связанный с неоднородностью добываемой среды на выкидной линии насоса влечет за собой повышение уровня вибрации, которая в свою очередь, значительно увеличивает число преждевременных внезапных отказов в погружном оборудовании. [5] В настоящее время имеются разработки клапанных узлов, что подтверждает патентная проработка [6,7]. Тем не менее, имеющиеся конструктивные исполнения клапанов не решают проблему в полной мере, так как в них турбулентный режим течения сохраняется. Решить эту проблему возможно путем снижения вихреобразования, сглаживания потока перекачиваемой среды. Для этого рекомендуется использование в УЭЦН обратного клапанного узла, усовершенствованного тарелкой более обтекаемой «каплевидной» формы.

Исследования. Для облегчения запуска погружных установок применяют узел обратного клапана, который устанавливают между верхней насосной секцией и колонной насосно-компрессорных труб, как правило, на третьей трубе, считая от секции или модуля головки насоса. Конструктивной основой клапанного узла является клапан, состоящий из рабочей

пары: посадочный элемент (тело) – седло. Если тело имеет геометрическую форму в виде шара, то клапан называют шариковый или шаровой, а если коническую форму, то тарельчатый. При запуске насоса в работу под воздействием силы напора перекачиваемой жидкости тело клапана тем самым пропускает жидкость в насосно-компрессорные трубы. Важным фактором, влияющим на коэффициент гидравлического сопротивления тела, является форма его профиля. При прохождении через каналы клапанного узла перекачиваемая жидкость изменяет направление при движении, отрываясь от поверхности соприкосновения с телом клапана, что способствует образованию вихревых потоков. Проанализировав спектры потока перекачиваемой жидкости в клапанах с разными геометрическими формами (рис. 1) пришли к выводу, что при более обтекаемой каплевидной форме профиля тела (рис.1, в), характеризующейся плавной закругленной нижней частью и более длинной клинообразной верхней частью, поток максимально сглажен.

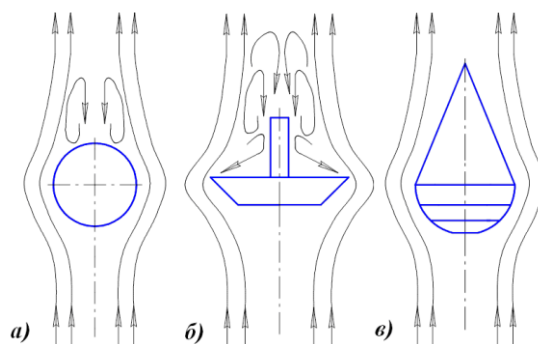


Рис. 1 – Спектры потока в следе

Усовершенствованная конструкция обратного клапанного узла установки электроцентробежного насоса с обтекаемой формой клапана представлена на рисунке 2, а). На рисунке 2, б) показана, полученная при 3D-проектировании модель усовершенствованной конструкции обратного клапанного узла насосной установки.

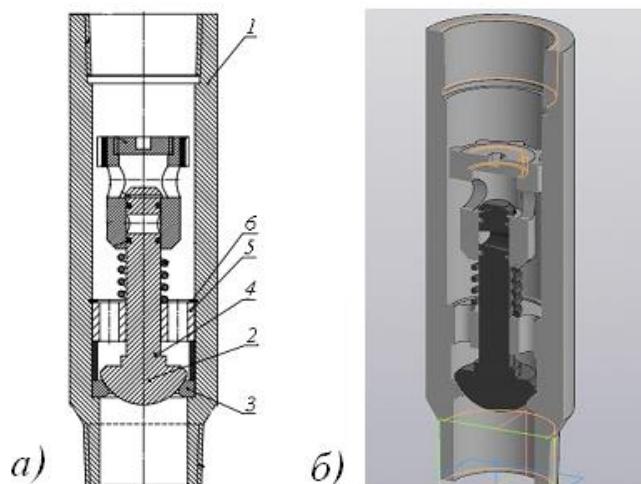


Рис. 2 – Обратный клапанный узел с каплевидной формой тарелки:

- а) клапанный узел с каплевидной формой тарелки: 1 – корпус; 2 – тарелка каплевидной формы; 3 – седло; 4 – шток; 5 – втулка направляющая; 6 – стопорное кольцо;
б) обратный клапанный узел (3D-модель)

Для проведения сравнительного анализа влияния формы тела клапана на вихревые потоки перекачиваемой жидкости в программе Компас 3D смоделированы клапаны (рис.3) с каплевидной и тарельчатой формой тела.

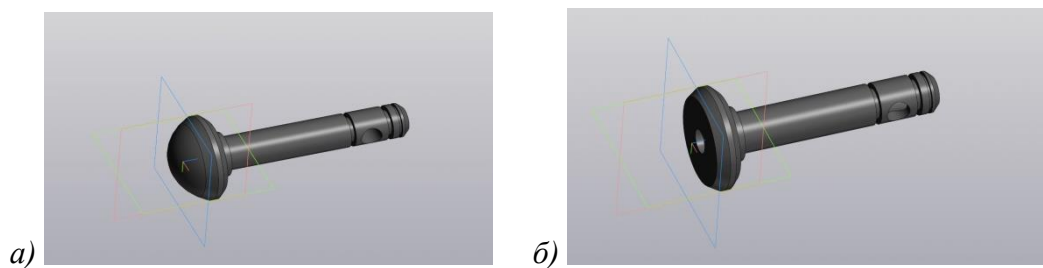


Рис. 3 – 3D-модели клапанов с различной формой тела:

а) 3D-модель тела клапана каплевидной формы;

б) 3D-модель тела клапана тарельчатой формы

Проведена интеграция 3D модели из Компаса в ANSYS, создана модель в ANSYS, которой присвоена геометрия клапану с каплевидной формой тела. Для снижения гидравлических сопротивлений потоку среды подобраны и присвоены материалы для поршня, жидкости, а затем были произведены расчеты потока для клапанов с разными формами тела. С целью определить степень гидравлического сопротивления движения жидкости при различной геометрии формы тела клапана был запущен анализ потока. Затем в ANSYS Fluent произведено компьютерное моделирование вихревых потоков жидкости в обратном клапанном узле с различной формой тела клапана (рис. 4).

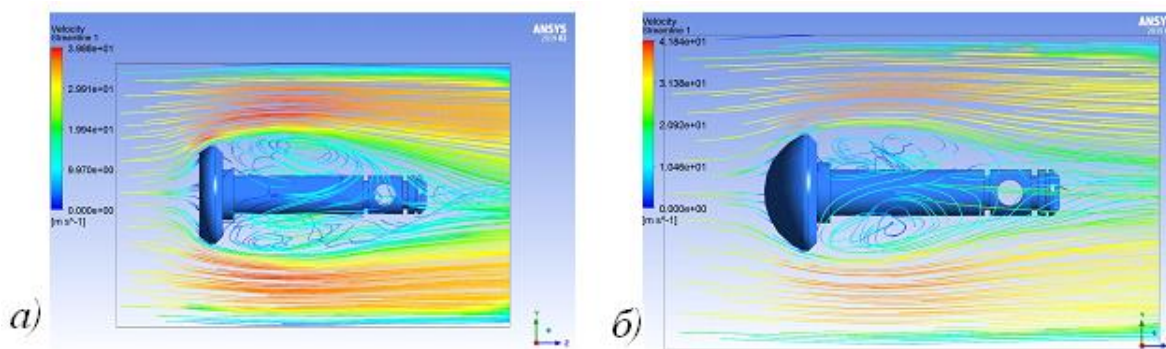


Рис. 4 – Оценка потока вихреобразования в клапане:

а – с тарельчатой формой тела; б – с каплевидной формой тела

Результатом расчета явилась оценка потока вихреобразований. Как видно из расчетов процесс вихреобразования в клапане с каплевидной формой тела значительно меньше, а поток наиболее стабильнее.

Через каплевидную форму тела клапана поток жидкости проходит со скоростью 4,2 м/с, а через тарельчатую – 3,9 м/с.

Выводы. Предложена усовершенствованная конструкция обратного клапана УЭЦН путем изменения формы тела тарелки клапана на более обтекаемую, обеспечивающую минимальные гидравлические сопротивления потоку перекачиваемой жидкости.

Список литературы

1. Думлер Е.Б., Уразаков К.Р., Вахитова Р.И. УЭЦН: погружные установки центробежных насосов: учеб. пособие // Альметьевск: Изд-во АГНИ, 2017. 44 с.
2. Булчаев Н.Д. Разработка и исследование технологий и технических средств для поддержания пластового давления нефтяных месторождений: дисс. канд. техн. наук / Тюменский государственный нефтяной университет. Тюмень, 2013.
3. Вахитова Р.И., Сарачева Д.А., Уразаков К.Р., Думлер Е.Б. Повышение эффективности работы погружных электроцентробежных установок при добыче нефти с высоким газосодержанием: монография / Альметьевск: АГНИ, 2019. 104 с. ISBN 978-5-94454-038-6
4. Сарачева Д.А. Совершенствование электроцентробежных насосных установок для скважин, осложненных высоким газовым фактором: дис. канд. техн. наук / Уфимский государственный технический нефтяной университет. Уфа, 2016. 124 с.
5. Уразаков К.Р., Думлер Е.Б., Топольников А.С., Вахитова Р.И. Диагностирование технического состояния электроцентробежных насосных установок по уровню их вибрации // Нефтегазовое дело: науч. журн. УГНТУ, 2017. Т15. N1. С.103-107.
6. Патент РФ 2544930. Клапан обратный электроцентробежной установки и способ очистки фильтра на приеме насоса / Валеев М.Д., Булчаев Н.Д., Салимгареев С.М., Ведерников В.Я., Гаскаров В.З. Оpubл. 17.09.2013.
7. Азеев А.А., Булчаев Н.Д. Автоматизация процесса очистки внутрискважинного оборудования на основе клапана с аналоговым механизмом // Газовая промышленность, 2016. № 4 (736). С.82-85.

05.13.18

Ф.М. Кадыров

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, farhad1987@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛОГО ШАРА И НЕОГРАНИЧЕННОГО ПОЛОГО ЦИЛИНДРА

Рассматривается процесс фильтрационной консолидации пористых насыщенных жидкостью упругих полых тел – шара и неограниченного цилиндра, находящихся под действием нормальных внешней и внутренней нагрузок одинаковой величины. Математическая модель включает условия совместности деформаций. Предполагается, что сжимаемостью скелета и жидкости можно пренебречь и что объемные деформации скелета связаны с переупаковкой зерен. Получены аналитические представления для суммы нормальных эффективных напряжений и давления жидкости.

Ключевые слова: консолидация, упругое тело, нагрузка, давление.

Введение

Становление и развитие теории фильтрационной консолидации связано с работами К. Терцаги, Н.М. Герсегова, В.А. Флорина, М.А. Био, В.Н. Николаевского и других. Обширная библиография по исследуемой тематике представлена в работах [1-3]. Исследованию процесса фильтрационной консолидации упругих тел посвящены работы [4-6].

В данной статье на основании математической модели с привлечением уравнения совместности деформаций [6] получены решения для суммы нормальных эффективных напряжений и давления жидкости при консолидации насыщенных упругих полых тел – шара и неограниченного цилиндра.

1. Математическая модель фильтрационной консолидации

Математическая модель консолидации, подробно представленная в [6], включает в себя полное уравнение движения (квазиравновесия) фаз, уравнения неразрывности (баланса масс), закон фильтрации, реологические соотношения для пористого скелета, уравнения совместности деформаций, начальные и граничные условия.

Уравнения совместности деформаций приводят к равенству [7]:

$$\Delta p = \frac{1-\nu}{1+\nu} \Delta J^f, \quad (1)$$

где p – давление жидкости, $J^f = \sigma_{11}^f + \sigma_{22}^f + \sigma_{33}^f$, $\sigma_{11}^f, \sigma_{22}^f, \sigma_{33}^f$ – компоненты нормальных эффективных напряжений, ν – коэффициент Пуассона.

Тогда уравнение для J^f примет вид

$$\frac{\partial J^f}{\partial t} = \kappa \Delta J^f, \quad (2)$$

где t – время, $\kappa = kE(1-\nu)/[\mu_0(1-\nu-2\nu^2)]$, k – проницаемость скелета, E – модуль Юнга, μ_0 – вязкость жидкости.

Вводится вспомогательная функция [8]

$$F = p - \frac{1-\nu}{1+\nu} J^f, \quad (3)$$

в соответствии с (1) удовлетворяющая уравнению

$$\Delta F = 0. \quad (4)$$

При известном граничном условии для функции J^f и граничном условии для давления жидкости граничное условие для функции F с учетом формулы (3) также оказывается известным.

Начальные условия. На границе нагрузка воспринимается жидкостью. Начальное давление жидкости удовлетворяет уравнению Лапласа [9]:

$$\Delta p = 0. \quad (5)$$

В начальный момент времени на границе Γ эффективные напряжения равны нулю. Начальное условие для J^f имеет вид [8]

$$J^f = 0. \quad (6)$$

Граничные условия. Для давления жидкости принимается условие «высокопроницаемый поршень» [1]

$$p(\Gamma, t) = 0. \quad (7)$$

На границе выполняется условие [8]

$$J^f = J, \quad (8)$$

то есть граничное условие для функции J^f совпадает с граничным условием для функции J , где $J = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}$, σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} – компоненты нормальных суммарных напряжений.

2. Консолидация полого шара

Рассматривается задача консолидации пористого насыщенного упругого полого шара с внешним радиусом r_1 и внутренним радиусом r_2 . К внешней и внутренней границе прикладываются нормальные мгновенные нагрузки одинаковой величины $\Pi_0 = \text{const}$ (см. рис. 1).

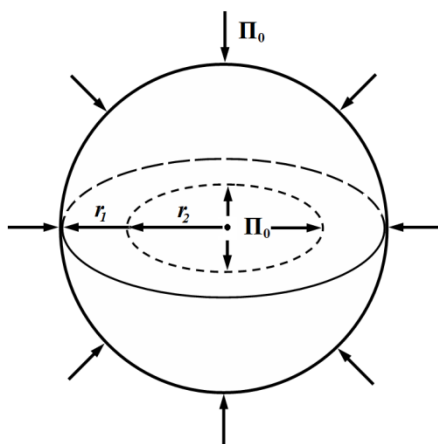


Рис. 1. Консолидация полого шара

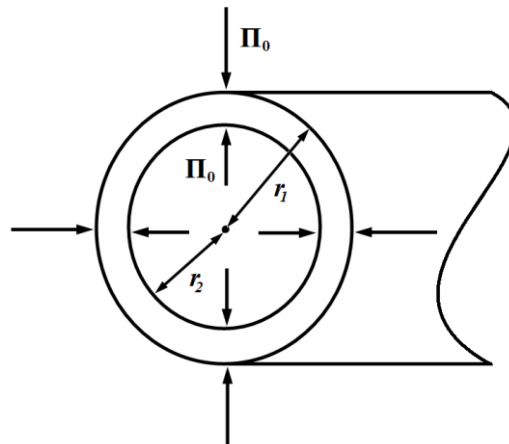


Рис. 2. Поперечный срез неограниченного полого цилиндра

Введем сферические координаты r , φ , θ . Нормальные суммарные напряжения соответствуют выражениям

$$\sigma_r = \sigma_r^f - p, \quad \sigma_\varphi = \sigma_\varphi^f - p, \quad \sigma_\theta = \sigma_\theta^f - p.$$

В центре шара $r = 0$. Пусть деформации не зависят от φ и θ .

Граничные условия для J^f получим из (8) [10]

$$J^f(r_1, t) = J^f(r_2, t) = -3\Pi_0. \quad (9)$$

Начально-краевая задача (2), (6), (9) имеет следующее решение [11]:

$$J^f(r, t) = -3\Pi_0 \left(1 + \frac{2}{r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n r_1 - r_2}{\pi n} \sin \left[\frac{\pi n (r - r_2)}{r_1 - r_2} \right] \exp \left[-\frac{\pi^2 n^2 \kappa t}{(r_1 - r_2)^2} \right] \right). \quad (10)$$

Далее определим граничные условия для функции $F(r)$, удовлетворяющей уравнению (4). В соответствии с (3), (7), (9) они имеют вид

$$F(r_1) = F(r_2) = \frac{3\Pi_0(1-\nu)}{1+\nu}. \quad (11)$$

Краевая задача (4), (11) для $F(r)$ имеет тривиальное решение

$$F(r) = \frac{3\Pi_0(1-\nu)}{1+\nu}. \quad (12)$$

Тогда в соответствии с (3), (10), (12) получим решение для давления жидкости

$$p(r,t) = \frac{3\Pi_0(1-\nu)}{1+\nu} + \frac{1-\nu}{1+\nu} J^f(r,t).$$

Начальное давление жидкости соответствует нагрузке Π_0 .

3. Консолидация неограниченного полого цилиндра

Рассматривается задача консолидации пористого насыщенного упругого полого неограниченного цилиндра с внешним радиусом r_1 и внутренним радиусом r_2 . К внешней и внутренней границе прикладываются нормальные мгновенные нагрузки одинаковой величины $\Pi_0 = \text{const}$ (см. рис. 2).

Введем цилиндрические координаты r, θ, z . Нормальные суммарные напряжения соответствуют выражениям

$$\sigma_r = \sigma_r^f - p, \quad \sigma_\theta = \sigma_\theta^f - p, \quad \sigma_z = \sigma_z^f - p.$$

В центре цилиндра $r=0$. Пусть деформации не зависят от θ и z .

Условия задачи соответствуют плоскодеформированному состоянию, поэтому компонента эффективных напряжений σ_z^f определяется соотношением [10]

$$\sigma_z^f = \nu(\sigma_r^f + \sigma_\theta^f).$$

Граничные условия для J^f примут вид

$$J^f(r_1, t) = J^f(r_2, t) = -2\Pi_0(1+\nu). \quad (13)$$

Краевая задача (2), (6), (13) имеет следующее решение [12]:

$$J^f(r,t) = -2\Pi_0(1+\nu) \left[1 - \pi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\mu_n)}{J_0(\mu_n) + J_0(s\mu_n)} \exp\left(-\frac{\kappa\mu_n^2 t}{r_2^2}\right) \psi_n(r) \right], \quad (14)$$

где

$$\psi_n(r) = Y_0(s\mu_n) J_0\left(\mu_n \frac{r}{r_2}\right) - J_0(s\mu_n) Y_0\left(\mu_n \frac{r}{r_2}\right), \quad s = \frac{r_1}{r_2},$$

$J_0(z), Y_0(z)$ – функции Бесселя, μ_n – корни характеристического уравнения:

$$J_0(\mu)Y_0(s\mu) - J_0(s\mu)Y_0(\mu) = 0.$$

Граничные условия для функции $F(r)$, в соответствии с (3), (7), (13), запишутся так:

$$F(r_1) = F(r_2) = 2\Pi_0(1-\nu). \quad (15)$$

Краевая задача (4), (15) имеет решение

$$F(r) = 2\Pi_0(1-\nu). \quad (16)$$

Согласно (3), (14), (16) получим следующее решение для давления жидкости:

$$p(r,t) = 2\Pi_0(1-\nu) + \frac{1-\nu}{1+\nu} J^f(r,t).$$

Начальное давление жидкости соответствует величине нагрузки Π_0 .

Заключение

На основании математической модели, включающей условие совместности деформаций, получены аналитические решения для суммы нормальных эффективных напряжений и давления жидкости при консолидации упругого полого шара и упругого полого неограниченного цилиндра.

Список литературы

1. Николаевский В.Н., Басниев К.С., Горбунов А.Т. Механика насыщенных пористых сред. – М.: Недра, 1970.
2. Shiffman R.L. A bibliography of consolidation // Bear J., Corapcioglu M.Y. Fundamentals of transport phenomena in porous media. – Dordrecht: Martinus Nijhoff Publ., 1984. – P. 617-669.
3. Selvadurai A.P.S. The analytical method in geomechanics // Appl. Mech. Rev. – 2007. – V. 60. – P. 87-106.
4. Rendulic L. Der hydrodynamische Spannungsausgleich in zentral entwässerten Tonzylindern // Wasserwirtsch. Tech. – 1935. – Bd. 2. – S. 250-253, S. 269-273.
5. Cryer C.W. A comparison of the three-dimensional consolidation theories of Biot and Terzaghi // Quart. Journ. Mech. and Applied Math. – 1963. – V. 16, Pt. 4. – P. 401-412.
6. Кадыров Ф.М., Костерин А.В., Скворцов Э.В. Фильтрационная консолидация при деформации упругого тела под нормальной нагрузкой // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 1. – С. 66-74.
7. Detornay E., Cheng A.H.-D. Fundamentals of poroelasticity. In: Hudson J.A. *Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects*. Vol. 2. Oxford, Pergamon Press, 1993, pp. 113-171.
8. Костерин А.В., Скворцов Э.В. Фильтрационная консолидация при плоской деформации упругого полупространства // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2018. – №2. – С. 99-104.
9. Герсеванов Н.М. Основы динамики грунтовой массы. – М.; Л.: Госстройиздат, 1937.
10. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979.
11. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М.: Физматлит, 2001.
12. Полянин А.Д. Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса / А.Д. Полянин, А.В. Вязьмин, А.И. Журов, Д.А. Казенин. М.: Факториал, 1998.

05.13.18

С.А. Кузнецов канд. физ.-мат. наук

Казанский федеральный университет,
институт математики и механики им. Н. И. Лобачевского,
кафедра теоретической механики,
Казань, skuznets@kpfu.ru

УЧЕТ ПОПЕРЕЧНЫХ СДВИГОВ В КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ПЛАСТИНЫ, СВОБОДНО ЛЕЖАЩЕЙ НА ВИНКЛЕРОВОМ ОСНОВАНИИ

В работе представлены результаты изучения влияния учёта поперечных сдвигов на распределение контактных напряжений между пластиной средней толщины и штампом. Пластина свободно лежит на упругом винклеровом основании. В области контакта пластины и штампа учитывается локальное изменение толщины пластины.

Ключевые слова: *пластина, контактная задача, поперечный сдвиг.*

Пластина на упругом основании – широко распространенная модель конструктивных элементов в промышленном и гражданском строительстве, и в различных отраслях машиностроения. Одно из центральных мест в механике деформируемого твердого тела занимают контактные задачи – задачи определения областей контакта и напряжений, возникающих при взаимодействии между отдельными элементами конструкций. Знание распределения контактного давления позволяет затем решать задачи прочности, устойчивости, износостойкости и разрушения.

Известно [1, 2], что решение контактных задач для тонкостенных элементов конструкций по теории Кирхгофа-Лява приводит к физически противоречивым результатам. Устранить эти противоречия удаётся путём учёта местного изменения толщины взаимодействующих тел в области контакта. Для пластин и оболочек средней толщины корректная постановка должна учитывать также и деформации поперечного сдвига. Это и сделано в настоящей работе применительно к задаче цилиндрического изгиба пластины, свободно лежащей на упругом основании.

Согласно математически корректной постановке контактных задач для тонкостенных элементов конструкций на основе уточнённой теории оболочек с учётом поперечного сдвига и учетом местного обжатия, условия контакта поверхности тела и пластины записываются [3] в виде интегрального уравнения Фредгольма второго рода

$$k_0 \sigma(x) + \int_{-a}^a G(x, \xi) \sigma(\xi) d\xi = \alpha - f(x), \quad -a \leq x \leq a \quad (1)$$

где $k_0 = h(1+\nu)(1-2\nu)/(2E(1-\nu))$ – коэффициент обжатия, $\sigma(x)$ – неизвестное контактное давление, $f(x)$ – функция формы подошвы штампа, α – жесткое смещение штампа (штамп движется поступательно, без поворота). Функция влияния $G(x, \xi)$, являющаяся прогибом пластинки под действием сосредоточенной силы, приложенной в произвольной точке $-L < \xi < L$, L – полуширина пластины, должна быть найдена из уравнения

$$G^{IV}(x, \xi) + 4\lambda^4 G(x, \xi) = \delta(x - \xi)/D - \delta''(x - \xi)/K \quad (2)$$

при соответствующих граничных условиях. Здесь $\delta(x - \xi)$ – δ -функция Дирака, D – цилиндрическая жёсткость пластины, $K = 5Gh/6$ – жёсткость на сдвиг, $4\lambda^4 = k_0/D$.

Условие статического равновесия штампа даёт связь между прижимающей штамп силой его жёстким смещением

$$P = \int_{-a}^a \sigma(x) dx \quad (3)$$

Решение уравнения (2) при граничных условиях свободных краёв: $G''_{xx}(\pm L, \xi) = G'''_{xxx}(\pm L, \xi) = 0$ имеет вид

$$G(x, \xi) = \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^4 C_{ki} Y_i(\lambda \xi) Y_k(\lambda x) + \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^4 B_{ki} Y_i(\lambda \xi) Y_k(\lambda x) H(x - \xi),$$

где $H(x - \xi)$ – единичная функция Хэвисайда, $Y_k(x)$ – балочные функции Крылова:

$Y_1(x) = \operatorname{ch} x \cos x$, $Y_2(x) = \operatorname{sh} x \sin x$, $Y_3(x) = \operatorname{sh} x \cos x$, $Y_4(x) = \operatorname{ch} x \sin x$, конкретный вид C_{ki} и B_{ki} здесь не приводится ввиду их громоздкости.

Для решения уравнения (1) применим разработанный ранее в Казанском университете Ю.П. Артюхиным [4] и распространённый впоследствии автором [5] на двумерные и многосвязные задачи метод сведения интегрального уравнения контактных задач к краевой задаче для вспомогательной функции, связанной с искомым контактным давлением простым дифференциальным соотношением.

Суть метода заключается в следующем. Пусть функция влияния удовлетворяет некоторому уравнению $LG(x, \xi) = L_1 \delta(x - \xi)$, вид дифференциальных в общем случае операторов определяется теорией оболочек, используемой в каждом конкретном случае.

Поддействуем оператором L на уравнение (1)

$$k_0 L \sigma(x) + \int_{-a}^a LG(x, \xi) \sigma(\xi) d\xi = L(\alpha - f(x)) \quad (4)$$

Используя фильтрующие свойства δ -функции приведём (4) к виду

$$k_0 L \sigma(x) + L_1 \sigma(x) = L(\alpha - f(x)) \quad (5)$$

Введём новую неизвестную функцию

$$L_1 U(x) = \alpha - f(x) - k_0 \sigma(x) \quad (6)$$

Тогда $L_1 \sigma(x) = LL_1 U(x)$. Отсюда

$$\sigma(x) = LU(x). \quad (7)$$

Подставим полученное соотношение в уравнение (5)

$$k_0 LLU(x) + L_1 LU(x) = L(\alpha - f(x))$$

И, окончательно, получим дифференциальное уравнение для $U(x)$

$$(k_0 L + L_1)U(x) = \alpha - f(x) \quad (8)$$

Подставляя (7) и (6) в (1), имеем

$$\int_{-a}^a G(x, \xi) LU(\xi) d\xi = L_1 U(x)$$

Здесь оператор L берётся по переменной интегрирования ξ . Применяя обобщенное интегрирование по частям, получим

$$\int_{-a}^a LG(x, \xi) U(\xi) d\xi + \Psi(G, U) \Big|_{\xi=-a}^{\xi=a} = L_1 U(x)$$

где $\Psi(G, U)$ – дифференциальное выражение, конкретный вид которого определяется оператором L .

Функция влияния в контактных задачах симметрична по переменным x и ξ . Поэтому интеграл в левой части тождественно равен $L_1 U(x)$ и у нас остаётся краевое условие для $U(x)$

$$\Psi(G, U) \Big|_{\xi=-a}^{\xi=a} = 0 \quad (9)$$

Таким образом, проблема решения интегрального уравнения (1) сведена к решению краевой задачи (8), (9).

В нашем случае, т.е. при $L = d^4 / dx^4 + 4\lambda^4$

$$\Psi(G, U) = G(x, \xi) U'''(\xi) - G'_\xi(x, \xi) U''(\xi) + G''_{\xi\xi}(x, \xi) U'(\xi) - G'''_{\xi\xi\xi}(x, \xi) U(\xi)$$

В случае плоского штампа $f(x) = 0$ и общее решение уравнения (8) имеет вид

$$U(x) = \sum_{k=1}^4 A_k V_k(x) + \alpha / k_0,$$

$$V_1(x) = \operatorname{ch} a_1 x \cos a_2 x, \quad V_2(x) = \operatorname{sh} a_1 x \sin a_2 x, \quad V_3(x) = \operatorname{sh} a_1 x \cos a_2 x, \quad V_4(x) = \operatorname{ch} a_1 x \sin a_2 x$$

a_1, a_2 – действительная и мнимая части корней характеристического уравнения, соответствующего уравнению (8).

Подставляя $U(\xi)$ и $G(x, \xi)$ в условие (9), приведём его к виду

$$\sum_{k=1}^4 F_k(A_1, A_2, A_3, A_4, a) Y_k(x) = 0.$$

Так как это соотношение должно выполняться при любом $x \in (-a, a)$, то коэффициенты при $Y_k(x)$ должны равняться нулю. Таким образом, произвольные постоянные $A_1, \dots, A_4$ есть решение системы линейных алгебраических уравнений

$$F_k(A_1, A_2, A_3, A_4, a) = 0, \quad k = \overline{1, 4}$$

и получено в замкнутом виде. Конкретные выражения здесь не приводятся ввиду их громоздкости.

Далее представлены некоторые результаты расчётов относительного контактного давления $\sigma_0(x) = \sigma(x)/P$ в зависимости от x/L для пластины $L=1$ различной толщины h при различных размерах штампа. В силу симметрии задачи графики построены только для правой половины штампа $0 \leq x \leq a$. Числами отмечены результаты, соответствующие различным относительным размерам штампа: $a/L = 0.1; 0.25; 0.5; 0.75; 0.9$. На рис. 1 показано распределение относительного контактного давления для тонких пластин $h = 0.1L$, на рис. 2 – для пластин средней толщины $h = 0.5L$.

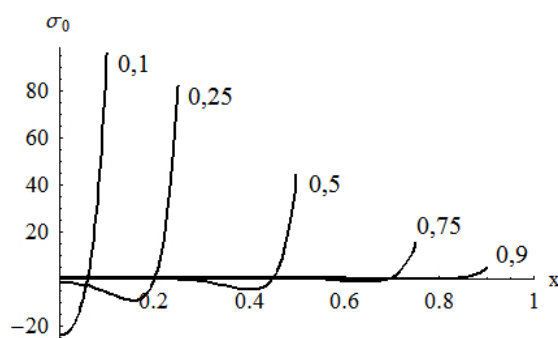


Рис. 1 – $\sigma_0(x)$ при $h = 0.1L$

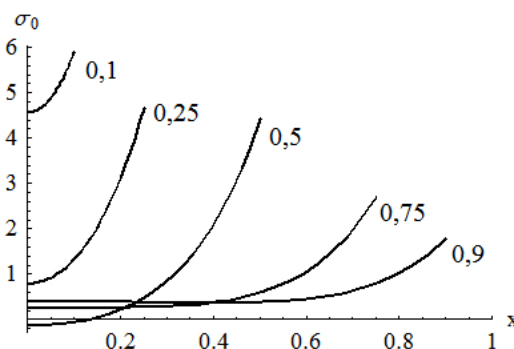


Рис. 2 – $\sigma_0(x)$ при $h = 0.5L$

Список литературы

1. Григолюк Э.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. – М.: Машиностроение, 1980. – 411 с.
2. Карасев С.Н., Артюхин Ю.П. Влияние поперечного сдвига и обжатия на распределение контактных напряжений // Исследования по теории пластин и оболочек. № 12. – Казань: Изд-во КГУ, 1976. – С. 68–76.
3. Кузнецов С.А. Неосесимметричная контактная задача для тонкой пластины, лежащей на упругом основании, при наличии износа // Исследования по теории пластин и оболочек. № 17, Ч. II. – Казань: Изд-во КГУ, 1984. – С. 96–103.
4. Артюхин Ю.П. Одномерные контактные задачи для тонкостенных трансверсально-изотропных элементов // Исследования по теории пластин и оболочек. № 13. – Казань: Изд-во КГУ, 1978. – С. 62–82.
5. Кузнецов С.А. Об одном методе решения многосвязных контактных задач теории пластин и оболочек // Научные исследования: от теории к практике : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 12 февр. 2015 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – ISBN 978-5-906626-61-5. <https://interactive-plus.ru/e-articles/collections-20150212/collections-20150212-6757.pdf>

05.13.18

**С.В. Якубовская д-р техн. наук, В.Н. Красовский канд. техн. наук,
Н.Ю. Сильницкая канд. техн. наук, Н.И. Красовская канд. техн. наук**

Тюменский индустриальный университет,
Институт транспорта,
Строительный институт,
Тюмень, sv5508@mail.ru, krass200552@mail.ru, 89292650015@yandex, krass51@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ КОМПЕНСАЦИОННО- ВИБРАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В работе рассмотрен вопрос снижения процесса вибрации насосного оборудования перекачивающих систем путем внедрения комплексной компенсационно-вибрационной защиты и моделирование этого процесса на базе разработанной компьютерной программы. Представлены результаты расстановки виброизоляторов для снижения вибрации насосных агрегатов для нефтегазодобывающих компаний Западной Сибири.

Ключевые слова: *моделирование процесса вибрации, насосные агрегаты, вибрация, виброизоляторы.*

Повышение надежности работы насосных станций нефтегазового комплекса в России является в настоящее время актуальной. В связи с тем, что перекачивающие системы эксплуатируются в сложных природно-климатических и геологических условиях, а также в неоптимальных режимах эксплуатации увеличиваются динамические перегрузки узлов и деталей роторных систем, резко повышается вибрация и уровень шумов, что приводит к отказам агрегатов.

Проведенные обследования насосных агрегатов показали, что нагрузки, передающиеся на насосы, при воздействии эксплуатационных факторов, превышают допустимые в десятки раз. Особенно большие нагрузки возникают при пусковых и переходных режимах, что является причиной повышенной вибрации агрегатов, преждевременного выхода из строя подшипниковых узлов [1,2,3,4,5,6].

В работе рассмотрен вопрос снижения процесса вибрации насосного оборудования перекачивающих систем путем внедрения комплексной компенсационно-вибрационной защиты и моделирование этого процесса на базе разработанной компьютерной программы. Комплекс предназначен для модернизации насосно-компрессорного оборудования: снижения динамических нагрузок на свайное основание и фундаментные конструкции; компенсации эксплуатационных, температурных и монтажных перемещений оборудования и трубопроводной обвязки; снижения уровней вибрации и шумов электронасосного агрегата.

На рисунке 1 представлена схема насосного агрегата с элементами комплекса вибрационной защиты: муфта блочно-модульная высокоэластичная, виброизоляторы пневматические, патрубки безраспорные компенсационные [7].

Муфты блочно-модульные высокоэластичные (БМВ) предназначены для передачи вращения и заданной величины крутящего момента с одного вала на другой в механизмах, подверженных действию значительных динамических и ударных нагрузок. Патрубки компенсационные безраспорные (П 125-23.0-1300) предназначены для снижения уровней вибрации и шумов, компенсации эксплуатационных, климатических перемещений оборудования, трубопроводной обвязки. Виброизоляторы (амортизаторы) (ВИР) предназначены для: снижения уровней вибрации технологического оборудования, уменьшения динамических нагрузок на основания и фундаментные конструкции, компенсации перемещений оборудования и обвязки [7].

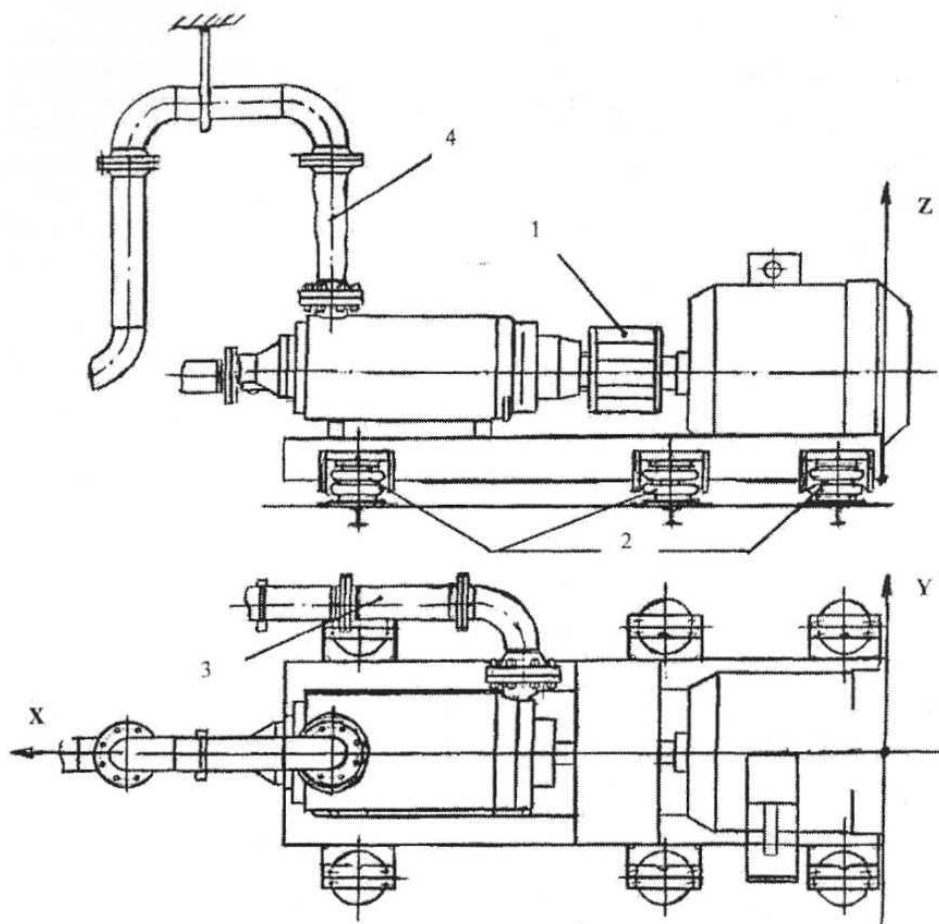


Рис. 1 - Схема насосного агрегата
1-муфта; 2-виброизоляторы; 3,4 – патрубки

Одним из вышеперечисленных элементов защиты, снижающих уровень вибрации, являются виброизоляторы (амортизаторы). Условие снижения вибрационных нагрузок - это совпадение центра масс установки с центром жесткости виброизоляторов.

В среде визуального программирования Delphi была составлена компьютерная программа по разработанной методике для определения оптимальной расстановки виброизоляторов в системе насосного агрегата.

На рисунке 2 представлен интерфейс программы. В левом верхнем углу интерфейса находятся поля ввода исходных данных: предполагаемые координаты установки виброизоляторов; жесткость виброизоляторов по трем направлениям.

Рис. 2 - Интерфейс программы расчета

В правом нижнем углу – поля ввода характеристик насосного агрегата: массы и координат центров тяжести его элементов.

Вывод результатов расчета производится в том же окне в левом верхнем углу. Результатом расчета являются координаты по трем направлениям центра жесткости виброизоляторов и центра масс насосной установки.

Для нахождения оптимального положения виброизоляторов необходимо «перемещать» их, изменяя координаты и нахождения такого варианта расстановки, при котором соблюдается условие оптимальности.

В соответствии с выбранной системой координат центр жесткости виброизоляторов определялся по соотношению:

$$x_{цв} = \frac{\sum_{i=1}^k E_{xв}^i \cdot x_{в}^i}{\sum_{i=1}^k E_{xв}^i}; y_{цв} = \frac{\sum_{i=1}^k E_{yв}^i \cdot y_{в}^i}{\sum_{i=1}^k E_{yв}^i}; z_{цв} = \frac{\sum_{i=1}^k E_{zв}^i \cdot z_{в}^i}{\sum_{i=1}^k E_{zв}^i}, \quad (1)$$

где $x_{цв}, y_{цв}, z_{цв}$ - координаты центра жесткости виброизоляторов; $E_{xв}^i, E_{yв}^i, E_{zв}^i$ -

жесткость виброизоляторов по осям X, Y и Z соответственно; $x_{в}^i, y_{в}^i, z_{в}^i$ координаты виброизоляторов; k-количество виброизоляторов.

Центр масс установки насосного агрегата определяем по формуле

$$x_{um} = \frac{\sum_{i=1}^n M^i \cdot x_m^i}{\sum_{i=1}^n M^i}; \quad y_{um} = \frac{\sum_{i=1}^n M^i \cdot y_m^i}{\sum_{i=1}^n M^i}; \quad z_{um} = \frac{\sum_{i=1}^n M^i \cdot z_m^i}{\sum_{i=1}^n M^i}, \quad (2)$$

где x_{um}, y_{um}, z_{um} - координаты центра масс установки; M^i - масса i -го элемента установки; x_m^i, y_m^i, z_m^i - координаты центров масс элементов.

На базе представленной программы выполнялись расчеты для снижения вибрации насосных агрегатов типа Д, ЦНС и насосов ППД для нефтегазодобывающих компаний Западной Сибири.

Результаты расстановки виброизоляторов представлены в таблице ниже.

Представленные результаты расчетов оптимальной расстановки виброизоляторов соответствуют условию совпадения центра масс установки с центром жесткости виброизоляторов.

Таблица - Результаты расстановки виброизоляторов

Тип насоса Координаты виброизолятора	ЦНС38- 44	1Д160- 112	1Д630- 125	ЦНС180- 340	АНМ360- 460
Виброизолятор №1 по оси x (мм) по оси y (мм)	160 -348	160 -500	160 -818	160 -610	183 -840
Виброизолятор №2 по оси x (мм) по оси y (мм)	856 -348	1257 -500	2224 -818	1300 -610	1760 -840
Виброизолятор №3 по оси x (мм) по оси y (мм)	160 394	160 420	160 605	2384 -610	3585 -840
Виброизолятор №4 по оси x (мм) по оси y (мм)	856 394	1257 420	2224 605	160 613	183 940
Виброизолятор №5 по оси x (мм) по оси y (мм)	- -	- -	- -	1300 613	1760 940
Виброизолятор №6 по оси x (мм) по оси y (мм)	- -	- -	- -	2384 613	3585 940

Выводы. Моделирование процесса вибрации насосного оборудования перекачивающих систем путем внедрения комплексной компенсационно-вибрационной защиты на базе разработанной компьютерной программы позволило определить оптимальную расстановку виброизоляторов насосных агрегатов различного типа.

Список литературы

1. Аксенов К.А. Диагностика неисправностей насосного оборудования по общему уровню вибрации. // Вибрация и вибродиагностика. – М.: Диамех 2000, 2005. - № 1. – С. 20-29.
2. Богатенков Ю.В., Корчагин П.И., Акбердин А.М. Насосные агрегаты с упругими пластинчатыми муфтами и виброизолирующими рукавами. // Приложение к журналу «Трубопроводный транспорт нефти». – 2001. № 6. С. 11-12.
3. Грешняев В.А., Воробьев Д.Ю. О вибрации насосных агрегатов. // Приложение к журналу «Трубопроводный транспорт нефти». – 2002. № 12. С. 8-10.
4. Гумеров А.Г. О внедрении виброизолирующих компенсирующих систем. // Приложение к журналу «Трубопроводный транспорт нефти». – 2006. № 10. С. 12-14.
5. Бурков В.В. Повышение эксплуатационной надежности насосных агрегатов // Технологии ТЭК -2006, - № 4, С. 40-42.
6. Якубовская С.В., Зыкова В.К. Оценка уровня надежности насосных агрегатов нефтеперекачивающих систем // Известия вузов. Нефть и газ. 2014. №1. С.112-117.
7. Пат.221 КЗ, МПК 7F16L 51/00. Нефтеперекачивающая система с комплексной вибрационно-компенсационной защитой / В.В.Бурков (Россия). - № 2004/027.2 Заявлено 29.06.2004; Оpubл. 15.05.2006, Бюл.№5.

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

05.13.19

А.С. Исаев канд. техн. наук, О.И. Луценко, А.А. Симанович

Санкт–Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики,
мегафакультет компьютерных технологий и управления,
факультет безопасности информационных технологий,
Санкт–Петербург, a.s.isaev@yandex.ru

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАЗРАБОТКИ
БЕЗОПАСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Уязвимости программного обеспечения являются одной из главных причин успешной реализации компьютерных атак. На сегодняшний день в области разработки ПО известен ряд международных и отраслевых стандартов, методологий, рассматривающих вопросы разработки безопасного программного обеспечения. В данной работе проведен сравнительный анализ существующих методологий и стандартов по разработке безопасного программного обеспечения.

Ключевые слова: защита информации, безопасное программное обеспечение, разработка безопасного программного обеспечения.

Предотвращение компьютерных атак является одной из самых приоритетных задач в области информационной безопасности. Во многих случаях основной причиной успешной реализации компьютерной атаки являются уязвимости используемого программного обеспечения. Одним из направлений повышения исходного уровня защищенности разрабатываемого ПО является внедрение в рамках его жизненного цикла различных мер и процедур, направленных на сокращение числа уязвимостей и ошибок. На сегодняшний день в области разработки ПО известен ряд международных и отраслевых стандартов и методологий, содержащих описание совокупности мер и подходов, применяемых на различных стадиях жизненного цикла программного обеспечения, целью которых является обеспечение безопасности разрабатываемого программного обеспечения. В данной работе проведен сравнительный анализ существующих методологий и стандартов по разработке безопасного ПО, рассмотрены применяемые меры защиты.

В настоящее время при разработке программного обеспечения широко используются такие методики комплексного подхода к обеспечению безопасности разрабатываемого ПО как: Microsoft Security Development Lifecycle, Cisco Security Development Lifecycle, SAMM, BSIMM. Стандарты, регламентирующие вопросы применения средств защиты и мер, направленных на безопасную разработку программного обеспечения: ISO/IEC 15408 The Common Criteria for Information Technology Security Evaluation («Общие критерии оценки безопасности информационных технологий»), ISO/IEC 27034–1 Information technology. Security techniques. Application security. Part 1: Overview and concepts («Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Безопасность приложений. Часть 1. Обзор и общие понятия»). Отечественный стандарт, регламентирующий вопросы разработки безопасного программного обеспечения: ГОСТ Р 56939–2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования». Microsoft Security Development Lifecycle (цикл разработки безопасного программного обеспечения) представляет собой набор мер, охватывающих этапы жизненного цикла разработки: формирование и анализ требований, проектирование, реализация, тестирование и отладка, внедрение и сопровождение. На рисунке 1 представлены основные этапы внедрения SDL:



Рис. 1– Жизненный цикл безопасной разработки Microsoft

Cisco Security Development Lifecycle разработан компанией Cisco для повышения отказоустойчивости и надежности разрабатываемых компанией продуктов. Жизненный цикл безопасной разработки Cisco состоит из следующих основных компонентов: требования к безопасности продукта; безопасность сторонних решений; безопасное проектирование; безопасное кодирование; безопасный анализ; тестирование на уязвимости. На рисунке 2 представлены основные этапы Cisco SDL.



Рис. 2 – Жизненный цикл безопасной разработки Cisco

Цикл разработки безопасного программного обеспечения Cisco и Microsoft во многом схожи, но каждый из них разрабатывался с учетом специфики процесса разработки в каждой компании. Оба подхода представляют собой набор действий, инструментов и процессов, охватывающих этапы жизненного цикла разработки ПО.

SAMM (Software Assurance Maturity Model) – фреймворк для построения, внедрения и оценки эффективности цикла разработки безопасных приложений, разработанный сообществом OWASP. На момент написания работы последняя версия фреймворка 2.0. OWASP SAMM v2.0 основан на наборе из 15 практик обеспечения безопасности, сгруппированных в пять бизнес-функций, которые представляют собой категорию действий, связанных с основными моментами разработки. Выделяются следующие функции: управление (Governance), проектирование (Design), реализация (Implementation), проверка (Verification), функционирование (Operations). Для каждой бизнес-функции определены 3 практики обеспечения безопасности. Каждая практика содержит два потока, которые представляют собой набор действий, структурированных по трем уровням зрелости. Целью применения данного подхода является повышение уровня зрелости путем внедрения мер, предусмотренных потоками.

В основе подхода BSIMM (Building Security In Maturity Model) лежит разделение процесса обеспечения безопасности ПО на четыре домена: управление (Governance), интеллект (Intelligence), точки взаимодействия безопасного жизненного цикла разработки программного обеспечения (Secure software development lifecycle (SSDL) touchpoints), развертывание (Deployment). В каждом домене 12 практик, которые представлены в виде 119 активностей. У каждой из 119 активностей есть 3 уровня зрелости: начальный, средний и продвинутый. На момент написания работы последняя версия BSIMM – 10.

Не сложно заметить, что подход BSIMM и SAMM имеют много общего. Ключевое отличие этих фреймворков, помимо конкретных мер то, что BSIMM – это описательная модель, она документирует опыт реализации мер, направленных на обеспечение безопасности ПО, компаний–участниц сообщества. Модель SAMM разработана группой экспертов и имеет предписывающий характер, также, в отличие от BSIMM она подразумевает определение целей для дальнейшего развития для каждого уровня зрелости.

Международный стандарт ISO 15408 широко используется для задания требований по безопасности информации к ИТ–продуктам и проведения их оценки соответствия. Данный стандарт содержат два основных вида требований безопасности: функциональные (предъявляемые к функциям безопасности и реализующим их механизмам) и требования доверия (предъявляемые к технологии и процессу разработки и эксплуатации). Стоит отметить, что использование только этого документа при разработке и последующей оценке соответствия безопасного ПО не является достаточным по ряду причин: во–первых, стандарт применим только для ПО с функциями безопасности; во–вторых, предлагаемый стандартом перечень мер разработки ПО не является полным: например, в нем отсутствуют меры, связанные с проведением статического и динамического анализа, обучением сотрудников [3].

Целью стандарта ISO/IEC 27034 является содействие организациям в планомерной интеграции безопасности на протяжении жизненного цикла приложений. Это достигается такими средствами, как систематизирование представления об общих понятиях, принципах, структурах, компонентах и процессах, обеспечение механизмов по установлению требований, оценке рисков, выборе мер защиты и верификации, а также поддержанием в организации общей концепции стандартов ISO/IEC серии 27000. [5]

Стандарт ГОСТ Р 56939–2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования». регламентирует подход к выполнению работ, связанных с разработкой безопасного ПО, применяемый на протяжении всего жизненного цикла. Данный стандарт устанавливает базовый набор мер по разработке безопасного ПО. В стандарте описано 23 меры, реализуемые на разных этапах разработки: при анализе требований, проектировании архитектуры программы, конструировании и комплексировании ПО, квалификационном тестировании, установке программы и поддержке приемки программного обеспечения, решении проблем в программном обеспечении в процессе эксплуатации, в процессе менеджмента документацией и конфигурацией программы, в процессе менеджмента инфраструктурой среды разработки и менеджмента людскими ресурсами.

Анализируя приведенные выше методики и стандарты можно выделить базовый список мер безопасности, при разработке ПО: определение требований безопасности, моделирование угроз, обеспечение безопасности инфраструктуры, управление конфигурацией, проведение различных видов тестирования кода и анализа уязвимостей, обеспечение безопасности поставки ПО пользователю; устранение выявленных уязвимостей; обучение сотрудников. Стоит отметить, что ни один из подходов не даёт исчерпывающие рекомендации по реализации стратегии безопасной разработки, каждая методика имеет свои преимущества и недостатки, перечень применяемых мер должен определяться разработчиком, исходя из специфики продукта и текущего состояния процессов разработки.

Список литературы

1. Microsoft Security Development Lifecycle. SDL Process Guidance. Version 5.2
2. Cisco Secure Development Lifecycle – [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/doing_business/trust-center/docs/cisco-secureddevelopment-lifecycle.pdf?dtid=ossdc000283 (дата обращения: 21.03.2020).
3. OWASP SAMM v2.0 – Core Model Document – [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://owasp samm.org/model/> (дата обращения 01.04.2020).
4. BUILDING SECURITY IN MATURITY MODEL (BSIMM) – VERSION 10 – [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.bsimm.com/download.html> (дата обращения 03.04.2020).
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27034–1–2014 «Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Безопасность приложений. Часть 1. Обзор и общие понятия».

АННОТАЦИИ
ABSTRACTSИ.А. Бухалов, Г.Н. Власичев
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОНОНИТРИДА И
МОНОКАРБИДА УРАНА НА ТЕПЛО- И НЕЙТРОННО-
ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДО-ВОДЯНЫХ
РЕАКТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Ключевые слова: керамический уран, мононитрид, монокарбид, диоксид, реакторная установка малой мощности, топливная кампания.

В качестве прототипа была выбрана ядерная энергетическая установка ВБЭР-300. Проведен сбор информации, а также анализ возможности и перспектив от использования керамического урана в составе топлива для реакторов на тепловых нейтронах. Тепловой расчёт производился для наиболее теплонпряженного канала, расположенного на оси активной зоны. Нейтронно-физический расчёт с использованием диоксида, монокарбида и мононитрида урана в качестве топлива проводился в программе Winfrith Improved Multigroup Scheme, версия D4 (WIMS-D4). Сформулированы выводы и рекомендации по использованию полученных результатов.

А.Н. Васильчук
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РЕАЛИЗАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СЕТИ
АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ. ЧАСТЬ 1.
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЗОР БАЗОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Ключевые слова: система нефтепродуктообеспечения, процесс сбыта, прогноз, временной ряд, модель прогнозирования.

В статье рассмотрена важность и необходимость создания единой информационно-аналитической системы прогнозирования реализации нефтепродуктов в сети автозаправочных станций. Приведены основные теоретические понятия. Дан обзор базовых моделей прогнозирования временных рядов.

Е.А. Гурьева, Т.Р. Сметанин, В.В. Андреев
ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ
СЕМЯН ГОРОХА

Ключевые слова: предпосевное облучение, нейтроны, эквивалентная доза, энергия прорастания, всхожесть.

В работе исследовано влияние нейтронного излучения различной мощности на процесс прорастания и всхожесть семян гороха в сравнении с контрольными образцами. Для оценки влияния излучения был произведен расчет энергии прорастания и всхожести семян до и после облучения их потоком нейтронов от Pu-Be источника в диапазоне доз ионизирующего излучения от 4 мкЗв до 0,8 Зв. Показано, что при малых дозах нейтронного облучения (до 96 мЗв) происходит незначительное увеличение энергии прорастания и всхожести семян гороха, а также увеличение суммарной длины корней и ростков на последующих стадиях роста.

Е.С. Еранцева, Р.О. Мишанов, А.А. Денисюк, М.Н. Пиганов
ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ
РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И
НАДЕЖНОСТИ МИКРОСХЕМ

Ключевые слова: Информативный параметр, прогнозируемый параметр, микросхема, обучающий эксперимент, прогнозная модель, корреляция.

В данной статье проведен выбор информативных параметров для построения прогнозной математической модели показателей качества и надежности микросхем серии 564. Для этого были использованы методы корреляционного и регрессионного анализа. В качестве прогнозируемого параметра был принят дрейф тока утечки. Приведены результаты обучающего эксперимента. Определены коэффициенты корреляции между прогнозируемым и информативными параметрами.

I.A. Bukhalov, G.N. Vlasichev
STUDY OF THE INFLUENCE OF URANIUM
MONONITRIDE AND MONOCARBIDE ON THE HEAT-
AND NEUTRON-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF
WATER-WATER REACTORS OF SMALL POWER

Keywords: ceramic uranium, mononitride, monocarbide, dioxide, low power reactor, fuel campaign.

The nuclear power plant VBER-300 was chosen as a prototype. Collection of information, as well as analysis of the possibilities and prospects of using ceramic fuel in thermal neutrons. Thermal calculation was carried out for the most heat-stressed channel. Neutron-physical calculations using dioxide, monocarbide and mononitride as fuel, carried out in the program Improved multi-group scheme Winfrith, version D4 (WIMS-D4). The conclusions and recommendations on the use of the results are formulated.

A.N. Vasilchuk
DEVELOPMENT OF A FORECASTING SYSTEM FOR THE
SALES OF OIL PRODUCTS IN A NETWORK OF A PETROL
STATION. PART 1. FORMULATION OF THE PROBLEM
AND OVERVIEW OF BASIC MODELS.

Keywords: petroleum product supply system, sales process, forecast, time series, forecasting model.

The article discusses the importance and necessity of developing a unified information-analytical system for forecasting the sale of petroleum products in a network of petrol stations. The basic theoretical concepts are presented. A review of the main models of forecasting time series is presented.

E.A. Gureva, T.R. Smetanin, V.V. Andreev
EFFECTS OF NEUTRON RADIATION ON PEA SEEDS
DEVELOPMENT

Keywords: pre-sowing irradiation, neutrons, equivalent dose, germination energy, germination.

The present study examined the effect of neutron radiation of different power on the germination process of pea seeds compared to control samples. In order to evaluate radiation effect, germination energy and germination of pea seeds were calculated before and after their irradiation with neutron flux from Pu-Be source in the range of ionizing radiation doses from 4 mSv to 0.8 Sv. It is shown that at low doses of neutron irradiation (up to 96 mSv) there is a slight increase in germination energy and germination of pea seeds, as well as an increase in the total length of roots and seedlings at late stages of growth.

E.S. Erantseva, R.O. Mishanov, A.A. Denisyuk, M.N. Piganov
SELECTION OF THE INFORMATIVE PARAMETERS FOR
THE DEVELOPMENT OF FORECAST MODELS OF
ELECTRONIC CHIPS QUALITY AND RELIABILITY

Keywords: informative parameter, forecasting parameter, electronic chip, training experiment, forecast model, correlation. In this article the selection of informative parameters for the development of the forecast mathematical model of quality and reliability indicators of electronic chips 564 series was made. Correlation method and method of regression analysis were used. The leakage current drift was accepted as a forecasting parameter. The results of the training experiment are presented. The correlation coefficients between the forecasting and informative parameters were estimated.

М.А. Салихова, О.А. Степушенко, Р.А. Эшпай, О.Г. Морозов
СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ О ПОЛОЖЕНИИ
ПАЦИЕНТА В ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКЕ НА ОСНОВЕ
ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ
БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ФАЗОВЫМ π -СДВИГОМ

Ключевые слова: линейно-чирпированная волоконная брэгговская решетка; пролежни; инвалидная коляска; датчики давления; система опроса датчиков, система контроля состояния пациента.

В работе представлены результаты проектирования системы сбора информации, предназначенной на предотвращение пролежней у пациента, большую часть времени, находящегося в инвалидной коляске. В основе сенсорной части системы используются датчики давления на основе линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток с фазовым π -сдвигом. Применение таких решеток позволит как увеличить точность контроля положения пациента по изменению давления, оказываемого им на определенные контрольные точки коляски, так и снизить стоимость системы опроса датчиков, которая ограничивает применение аналогичных волоконно-оптических систем в медицинской практике.

М.А. Салихова, О.А. Степушенко, Р.А. Эшпай,
О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов, И.И. Нуреев

РАДИОФОТОННАЯ СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ
О ПОЛОЖЕНИИ ПАЦИЕНТА В ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКЕ
НА ОСНОВЕ АДРЕСНЫХ ЛИНЕЙНО-ЧИРПИРОВАННЫХ
ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК
С ДВУМЯ ФАЗОВЫМИ π -СДВИГАМИ

Ключевые слова: линейно-чирпированная волоконная брэгговская решетка; фазовый сдвиг; адресность; пролежни; инвалидная коляска; датчик давления; компенсация температуры, система опроса датчиков.

В основе сенсорной части представленной в данной статье системы сбора информации, предназначенной для предотвращения пролежней у неподвижных пациентов, находящихся в инвалидной коляске, впервые используются датчики давления на основе адресных линейно-чирпированных волоконных брэгговских решеток с двумя фазовыми π -сдвигами. Применение таких систем позволит решить проблемы адресности получаемой информации от конкретных датчиков коляски и компенсации в ней составляющей, определяемой температурными изменениями в процессе мониторинга.

А.П. Быков, С.В. Андросов, М.Н. Пиганов
ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Ключевые слова: механические испытания, автоматизация, технология, модуль сопряжения, радиоэлектронный прибор. В данной статье предложена программа и технология автоматизированных механических испытаний бортовых радиоэлектронных приборов. Приведены результаты испытаний прибора на обнаружение резонанса конструктивных элементов, на прочность при воздействии транспортировочных нагрузок, на устойчивость к действию широкополосной вибрации, на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов, на прочность при воздействии линейного ускорения. Разработан модуль сопряжения аппаратуры и испытательного оборудования с автоматизированным испытательным комплексом.

Л.А. Галиуллин, Е.В. Зубков, А.Х. Тазмеев, Э.Л. Хазиев,
Л.Б. Хузятова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОСТУПА К ПРОМЫШЛЕННЫМ
УСТРОЙСТВАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ OPC UA
ТЕХНОЛОГИИ

Ключевые слова: автоматизация, информация, технология, веб.

М.А. Salikhova, O.A. Stepushenko, R.A. Eshpay, O.G. Morozov
INFORMATION GATHERING SYSTEM ON THE POSITION
OF A PATIENT IN A WHEELCHAIR BASED ON LINEAR-
CHIRPED FIBER BRAGG GRATINGS
WITH PHASE π -SHIFT

Keywords: linear-chirped fiber Bragg grating; pressure sores; wheelchair; pressure sensors; sensor interrogation system, patient monitoring system.

This paper presents the results of designing a data collection system designed to prevent pressure sores in a patient, most of the time takes place in a wheelchair. The sensor part of the system is based on pressure sensors based on linearly-chirped fiber Bragg gratings with a phase π -shift. The use of such arrays will make it possible to increase the accuracy of monitoring the position of the patient by changing the pressure exerted by him on certain control points of the wheelchair, as well as the decrease cost of the sensor interrogation system, which limits the use of similar fiber-optic systems in medical practice.

М.А. Salikhova, O.A. Stepushenko, R.A. Eshpay,
O.G. Morozov, A.Zh. Sakhabuydinov, I.I. Nureev

MICROWAVE PHOTONIC INFORMATION SYSTEM
FOR POSITION OF A PATIENT IN A WHEELCHAIR
MONITORING BASED ON ADDRESS LINEAR-CHIRPED
FIBER BRAGG GRATING WITH TWO PHASE π -SHIFTS

Keywords: linear-chirped fiber Bragg grating; phase shift; address; pressure sores; wheelchair; pressure sensor; temperature compensation, sensor interrogation system.

The sensor part of the information system presented in this article, designed to prevent pressure sores in immobile patients in a wheelchair, is based on the first use of pressure sensors based on addressable linearly-chirped fiber Bragg gratings with two phase π -shifts. The use of such systems will solve the problems of address interrogation of the information received from specific sensors of the wheelchair and compensating the component, determined by temperature changes in the monitoring process of pressure.

А.П. Bykov, S.V. Androsov, M.N. Piganov
TECHNOLOGY OF AUTOMATED MECHANICAL TESTING
OF ON-BOARD RADIO-ELECTRONIC DEVICES

Keywords: mechanical testing, automation, technology, interface module, radio-electronic device.

This article offers a program and technology for automated mechanical testing of on-board electronic devices. The results of tests of the device for detecting the resonance of structural elements, for strength under the influence of transport loads, for resistance to broadband vibration, for strength and stability under the influence of mechanical shocks, for strength under the influence of linear acceleration are presented. A module for interfacing equipment and test equipment with an automated test facility has been developed.

Л.А. Galiullin, E.V. Zubkov, A.H. Tazmееv, E.L. Khaziev,
L.B. Khuzyatova

AUTOMATION OF ACCESS TO INDUSTRIAL DEVICES
USING OPC UA TECHNOLOGIES

Keywords: automation, information, technology, web. In this paper, we study the features and advantages of the OPC UA industrial data exchange standard. OPC UA uses powerful

В данной работе проведено исследование особенностей и преимуществ стандарта промышленного обмена данными OPC UA. OPC UA использует мощную и стандартизированную технологию для такого рода коммуникации. Стандарт основан на модели связи клиент/сервер, которая требует установленного соединения.

Э.Л. Греков, Е.С. Шелихов
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИНЕМАТИКИ
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГЕКСАПОДА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: гексапод, кинематика, сервопривод, координаты точек, алгоритм передвижения.

В работе представлено математическое описание кинематики передвижения и разворотов робота гексапода в плоскости. Рассмотрено его устройство и особенности перемещения. Приводится расчёт координат точек касания ног относительно центра робота, и определение углов поворота сервоприводов. Обозначены основные направления применения представленных формул.

А.Н. Илюхин, Е.В. Зубков, Э.Л. Хазиев, Л.Б. Хузытова
МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ
НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ
ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ WTA

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, дизель, математическая модель, весовые коэффициенты.

Настоящая статья посвящена модернизации методики кластеризации неисправностей дизелей на основе искусственной нейронной сети WTA. Предложенная модернизация заключается в назначении начальных весов равным входным значениям, в отличие от классического метода, назначения начальных весов случайным способом. Полученная методика позволяет существенно снизить количество циклов обучения.

Л.Р. Кашапова, Д.Л. Панкратов, Л.А. Симонова
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ НА ОСНОВЕ
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Ключевые слова: автоматизированная система, листовая штамповка, надежность, технологический процесс.

В статье представлены основные этапы работы автоматизированной системы технологической подготовки производства процесса листовой штамповки и реализация на примере детали лонжерон автомобиля КАМАЗ. Система, основанная на формализованных знаниях экспертов в области обработки металлов давлением, позволяет получать высококачественные изделия с учетом технико-экономических показателей предприятия.

В.Н. Красовский, Н.И. Красовская, А.В. Сычева,
С.В. Якубовская

МЕТОДИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ
КОГНИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИАГНОСТИКЕ
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ключевые слова: техническое диагностирование, когнитивные технологии, «имитация» мыслительной деятельности человека, искусственные нейронные сети.

В работе представлены результаты формирования методики совершенствования системы технического диагностирования автотранспортных сервисных служб с применением когнитивных технологий. На основе теоретико-экспериментальных исследований сделаны выводы о возможности обучения правильно спроектированного многослойного перцептрона надежной постановки диагноза неисправности диагностируемых сложных технических систем. Причем, из всего множества параметров мониторинга ценность для обучения нейронной сети имеют параметры именно первой и последней диагностических процедур.

and standardized technology for this kind of communication. The standard is based on a client / server communication model that requires an established connection.

E.L. Grekov, E.S. Shelikhov
MATHEMATICAL MODEL OF HEXAPOD KINEMATICS
DISPLACEMENT FOR CONTROL SYSTEM
DEVELOPMENT

Keywords: hexapode, kinematics, servomotor, coordinates, movement algorithm.

The work presents a mathematical description of the kinematics movements and turns of the robot hexapod in the plane. Its arrangement and peculiarities of movement are considered. The coordinates of the foot touch points relative to the center of the robot are calculated and the rotation angles of the servomotors are determined. The main directions of application of the presented formulas are indicated.

A.N. Iliukhin, E.V. Zubkov, E.L. Khaziev, L.B. Huzytova
MODERNIZATION OF THE CLUSTERING METHOD OF
MALFUNCTIONS OF DIESELS BASED ON AN ARTIFICIAL
NEURAL NETWORK WTA

Keywords: artificial neural network, diesel, mathematical model, weight coefficients.

This article is devoted to the modernization of the methodology for clustering diesel malfunctions based on the WTA artificial neural network. The proposed modernization consists in assigning the initial weights to equal input values, in contrast to the classical method, assigning the initial weights in a random way. The resulting technique can significantly reduce the number of training cycles.

L.R. Kashapova, D.L. Pankratov, L.A. Simonova
AUTOMATED SYSTEM FOR INCREASING THE
EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PREPARATION FOR
SHEET STAMPING

Keywords: automated system, stamping, reliability, control, industrial process

Such work presented automated system functioning based on statistic knowledge of engineer and control algorithms. This automated system allows operating cold sheet-metal forming processes. Thus automated control system allows getting high quality products by cold sheet-metal forming.

V.N. Krasovsky, N.I. Krasovskaya, A.V. Sycheva,
S.V. Yakubovskaya
METHOD SAPUT INGTO SINE SAEAIN IN THE DIAGNOSIS
OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Keywords: technical diagnosis, cognitive technologies, "simulation" of human thought activity, artificial neural networks.

This paper presents the results of the formation of a method of improving the system of technical diagnosis of motor service vehicles using cognitive technologies. On the basis of theoretical-experimental studies, conclusions are drawn about the possibility of training a properly designed multi-layered perceptron to reliably diagnose the malfunction of diagnosed complex technical systems. Moreover, of all the many parameters of monitoring, the value for learning the neural network have the parameters of the first and last diagnostic procedures.

И.И. Миннигалиева, Г.А. Гареева, Д.Р. Григорьева,
Р.Р. Басыров, С.И. Жук

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЁТА ДОБЫЧИ НЕФТИ

Ключевые слова: экономическая эффективность, добыча нефти, анализ.

Нефтегазодобывающая промышленность как основа топливно-энергетического комплекса занимает важное место в развитии страны и региона. Организации ведут оперативный учет добытой нефти по скважинам на основании данных о нефтегазодобывающей смеси.

В.А. Митин, Д.Ю. Соколов, А.В. Савчиц
ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ДВУХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ
СТЕНДОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ОБУЧЕНИЯ РАБОТЫ С
ПЛК, КАК ДВУХ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ (МЕТОДОВ)
ОБУЧЕНИЯ

Ключевые слова: информационные технологии, лабораторный практикум, учебный лабораторный стенд, преимущества и недостатки виртуальных и реальных лабораторных работ. Данная статья посвящена проведению сравнительного анализа двух лабораторных стендов, виртуального и физического, направленных на приобретение студентами навыков работы с ПЛК. Посредством работы на стенде, реализующим виртуальный объект, можно обеспечить восприятия реального эксперимента, проводимого на физической лабораторной установке, только на экране монитора. Но можно ли дать однозначный ответ, что лучше наблюдать и работать с реальной лабораторной установкой, или же с экранной моделью? Сомнительно. У любого метода и технологии проведения лабораторных работ есть как достоинства, так и недостатки.

Ш.Ш. Хузятов, Р.А. Валиев, Е.В. Зубков, Э.Л. Хазиев,
Л.Б. Хузятова
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ
ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Ключевые слова: автоматизация, система управления, паттерн проектирование, программное обеспечение, газотурбинная установка.

Предложена методика паттерн проектирования программного обеспечения для распределенной системы управления утилизацией попутного нефтяного газа в газотурбинной установке. В шаблонных проектах программного обеспечения контроллера и системы диспетчерского управления созданы паттерны для однотипных датчиков исполнительных устройств, а также для микротурбин и их станций. Использование этих шаблонных проектов значительно сокращает время разработки и внедрения проектов АСУ ТП.

Т.А. Деменкова, Е.В. Шпиева
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ
СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ
ОБРАЗОВ

Ключевые слова: модели, сверточная нейронная сеть, распознавание образов, точность прогнозирования модели. В работе рассматриваются методы моделирования сверточных нейронных сетей применительно к задаче распознавания изображений. Проведен анализ существующих моделей нейронных сетей, создана модель нейронной сети для распознавания изображений и проведена оценка точности обучения и прогнозирования модели. Предложено программное обеспечение и методика выполнения с его помощью исследований при выполнении проектов на основе нейронных сетей. Показаны возможные области применения полученных в работе результатов.

I.I. Minnigalieva, G.A. Gareeva, D.R. Grigoreva,
R.R. Basyrov, S.I. Zhuk

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF OIL PRODUCTION ACCOUNTING

Keywords: economic efficiency, oil production, analysis.

The oil and gas industry as the basis of the fuel and energy complex occupies an important place in the development of the country and the region. Organizations maintain operational records of oil produced by wells based on data on the oil and gas mixture.

V.A. Mitin, D.Y. Sokolov, A.V. Savchic
REVIEW AND COMPARISON OF TWO STANDS UNDER
DEVELOPMENT IN THE FIELD OF TRAINING IN
WORKING WITH PLC, AS TWO DIFFERENT TRAINING
APPROACHES (METHODS)

Keywords: information technology, laboratory workshop, training laboratory stand, the advantages and disadvantages of virtual and real laboratory works.

This article is devoted to a comparative analysis of two laboratory stands, virtual and physical, aimed at teaching students how to work with programmable logic controllers. Through virtual laboratory work, it is possible to provide perceptions of a real experiment conducted on a physical laboratory setup but on a monitor screen. But is it possible to give a definite answer that it is better to observe and work with a real laboratory setup, or with a screen model? It is doubtful. Any method and technology for conducting laboratory work has both advantages and disadvantages.

Sh.Sh. Khuziyatov, R.A. Valiev, E.V. Zubkov, E.L. Khaziev,
L.B. Khuziyatova

DESIGN OF SOFTWARE FOR AN AUTOMATED ASSOCIATED PETROLEUM GAS UTILIZATION SYSTEM

Keywords: automation, control system, pattern engineering, software, gas turbine.

The software template engineering methodology for a distributed control system of the utilization system of associated petroleum gas in a gas turbine plant is proposed. In the template projects of the controller and supervisory system software, patterns for microturbines and their stations are being designed. Using template projects significantly reduces the development and implementation time of the automated control system project.

T.A. Demenkova, E.V. Shpieva
CONSTRUCTION OF CONVOLUTIONAL NEURAL
NETWORK MODELS FOR SOLVING IMAGE
RECOGNITION PROBLEMS

Keywords: models, convolutional neural network, pattern recognition, single bucket mining excavator.

The paper considers modeling methods for convolutional neural networks as applied to the image recognition problem. The analysis of existing models of neural networks is carried out, a neural network model for image recognition is created, and the accuracy of training and model prediction is evaluated. The software and methodology for performing research with it when performing projects based on neural networks are proposed. Possible applications of the results obtained in the work are shown.

Р.А. Бикметов, Р.Ш. Ишмуратов, А.С. Хисматуллин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ НАСОСОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ
НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Ключевые слова: электропривод, потенциал насос, асинхронный двигатель.

В работе проведен анализ отказов электрооборудования и повышение надежности электроснабжения в электродвигателях, влияния технического состояния электродвигателей насосной станции на надежность системы электроснабжения.

Разработана модель в программе Matlab Simulink, повышающая надежность системы электроснабжения, основанная на определении влияния технического состояния насосов с электрическим приводом на надежность системы электроснабжения промышленных предприятий.

Разработанные математические модели реализованы в среде MATLAB, обеспечивающей переход к микропроцессорным реализациям алгоритмов управления. Их использование позволяет проводить исследования работы электродвигателя при различных способах регулирования и разнообразных функциях нагружения асинхронного электропривода насосных агрегатов.

Ф.А. Галимянов, В.Т. Якупова
ИЗМЕРЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ
СЕМЕЙСТВА ФУНКЦИЙ КЛАССИФИКАЦИИ,
РЕАЛИЗУЕМЫХ ОБУЧАЕМЫМИ МАШИНАМИ

Ключевые слова: VC-измерение, дихотомия, нейронные сети, мерой емкости, обучаемая машина.

В работе описываются VC-измерения для задач двоичной классификации образов. Для решающего правила VC-измерения определяются основные выражения. Устанавливаются границы VC-измерения для нейронной сети. Показано что VC-измерение сетей, состоящее из двух типов нейронов, пропорционально квадратам весовых коэффициентов.

Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, Д.А. Сарачева, И.П. Ситдикова,
К.Л. Горшкова
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ С МАЛОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ДЛЯ
ГАШЕНИЯ ВИБРАЦИЙ В УСТАНОВКАХ
ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Ключевые слова: установка электроцентробежного насоса, вибрация, компенсатор.

В данной статье разработана математическая модель компенсатора для гашения вибраций вызванных колебаниями давления на выкиде насоса в установках погружных электроцентробежных насосов. Экспериментальной верификацией полученных теоретических результатов подтверждена адекватность разработанной математической модели.

Е.Б. Думлер, Э.Я. Зинатуллина, Р.И. Вахитова,
И.П. Ситдикова, И.К. Киямов
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ПЛАСТОВОЙ СРЕДЫ В
ОБРАТНОМ КЛАПАНЕ УЭЦН

Ключевые слова: УЭЦН, коэффициент гидравлического сопротивления, обратный клапан, программное обеспечение ANSYS.

В данной статье рассмотрены конструктивные особенности обратного клапанного узла установок электроцентробежных погружных насосов, от надежности которых зависят количество добываемой пластовой жидкости и стабильность работы установки в целом. Статья посвящена исследованию влияния формы тела клапана на гидравлические характеристики потока перекачиваемой среды.

R.A. Bikmetov, R.Sh. Ishmuratov, A.S. Khismatullin
MODELING THE INFLUENCE OF THE TECHNICAL
CONDITION OF PUMPS WITH ELECTRIC DRIVE ON THE
RELIABILITY OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM

Keywords: electric drive, potential pump, induction motor.

The paper analyzes the failures of electrical equipment and increases the reliability of power supply in electric motors, the impact of the technical condition of the electric motors of the pumping station on the reliability of the power supply system.

A model has been developed in the Matlab Simulink program, which increases the reliability of the power supply system, based on determining the influence of the technical condition of pumps with electric drive on the reliability of the power supply system of industrial enterprises.

The developed mathematical models are implemented in the MATLAB environment, which provides a transition to microprocessor-based implementations of control algorithms. Their use allows us to conduct research on the operation of the electric motor with various control methods and various loading functions of the asynchronous electric drive of pumping units.

F.A. Galimyanov, V.T. Yakupova
MEASURING THE COMPUTER POWER OF THE FAMILY
OF CLASSIFICATION FUNCTIONS REALIZED BY
TRAINED MACHINES

Keywords: VC-measurement, dichotomy, neural networks, measure of capacity, learning machine.

This paper describes VC measurements for binary image classification problems. For the decision rule of VC-measurement, the basic expressions are defined. The boundaries of the VC-measurement for the neural network are set. It is shown that the VC-measurement of networks, consisting of two types of neurons, is proportional to the squares of the weight coefficients.

E.B. Dumler, R.I. Vakhitova, D.A. Saracheva, I.P. Sitdikova,
K.L. Gorshkova
RESEARCH OF SYSTEMS WITH LOW RIGIDITY FOR
DAMPING VIBRATIONS IN INSTALLATIONS OF
ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMPS

Keywords: installation of an electric centrifugal pump, vibration, compensator.

This article has developed a mathematical model of a compensator for damping vibrations caused by pressure fluctuations on the pump discharge in submersible electric centrifugal pump installations.

Experimental verification of the theoretical results obtained confirms the adequacy of the developed mathematical model.

E.B. Dumler, E.Ya. Zinatullina, R.I. Vakhitova,
I.P. Sitdikova, I.K. Kiyamov
MODELING THE FLOW OF THE RESERVOIR MEDIUM IN
THE CHECK VALVE OF THE ESP

Keywords: ESP, hydraulic resistance coefficient, check valve, ANSYS software.

This article discusses the design features of the check valve assembly of electric submersible pumps, the reliability of which depends on the amount of produced formation fluid and the stability of the installation as a whole. The article is devoted to the study of the influence of the valve body shape on the hydraulic characteristics of the fluid flow.

Ф.М. Кадыров

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ ПРИ
ДЕФОРМАЦИИ ПОЛОГО ШАРА И НЕОГРАНИЧЕННОГО
ПОЛОГО ЦИЛИНДРА***Ключевые слова: консолидация, упругое тело, нагрузка,
давление.*

Рассматривается процесс фильтрационной консолидации пористых насыщенных жидкостью упругих полых тел – шара и неограниченного цилиндра, находящихся под действием нормальных внешней и внутренней нагрузок одинаковой величины. Математическая модель включает условия совместности деформаций. Предполагается, что сжимаемостью скелета и жидкости можно пренебречь и что объемные деформации скелета связаны с переупаковкой зерен. Получены аналитические представления для суммы нормальных эффективных напряжений и давления жидкости.

С.А. Кузнецов

**УЧЕТ ПОПЕРЕЧНЫХ СДВИГОВ В КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧЕ
ДЛЯ ПЛАСТИНЫ, СВОБОДНО ЛЕЖАЩЕЙ НА
ВИНКЛЕРОВОМ ОСНОВАНИИ***Ключевые слова: пластина, контактная задача, поперечный
сдвиг.*

В работе представлены результаты изучения влияния учёта поперечных сдвигов на распределение контактных напряжений между пластиной средней толщины и штампом. Пластина свободно лежит на упругом винклеровом основании. В области контакта пластины и штампа учитывается локальное изменение толщины пластины.

С.В. Якубовская, В.Н. Красовский, Н.Ю. Сильницкая,
Н.И. Красовская**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИИ НАСОСНЫХ
АГРЕГАТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ
КОМПЛЕКСНОЙ КОМПЕНСАЦИОННО-ВИБРАЦИОННОЙ
ЗАЩИТЫ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ***Ключевые слова: моделирование процесса вибрации, насосные
агрегаты, вибрация, виброизоляторы.*

В работе рассмотрен вопрос снижения процесса вибрации насосного оборудования перекачивающих систем путем внедрения комплексной компенсационно-вибрационной защиты и моделирование этого процесса на базе разработанной компьютерной программы. Представлены результаты расстановки виброизоляторов для снижения вибрации насосных агрегатов для нефтегазодобывающих компаний Западной Сибири.

**А.С. Исаев, О.И. Луценко, А.А. Симанович
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ
МЕТОДИК РАЗРАБОТКИ БЕЗОПАСНОГО
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ***Ключевые слова: защита информации, безопасное
программное обеспечение, разработка безопасного
программного обеспечения.*

Уязвимости программного обеспечения являются одной из главных причин успешной реализации компьютерных атак. На сегодняшний день в области разработки ПО известен ряд международных и отраслевых стандартов, методологий, рассматривающих вопросы разработки безопасного программного обеспечения. В данной работе проведен сравнительный анализ существующих методологий и стандартов по разработке безопасного программного обеспечения.

F.M. Kadyrov

**MATHEMATICAL MODELING OF SEEPAGE
CONSOLIDATION DURING HOLLOW SPHERE AND
INFINITE HOLLOW CYLINDER DEFORMATION***Keywords: consolidation, elastic body, load, pressure.*

This paper presents the results of the study of seepage consolidation of an elastic saturated hollow sphere and infinite hollow cylinder under the equal normal external and internal loads. The mathematical model includes conditions for compatibility of deformations. The fluid and the skeleton grains are assumed to be incompressible and the volume skeleton strains are related to grain repacking. The analytical forms for the sum of normal effective stresses and pressure of the fluid are obtained.

S.A. Kuznetsov

**ACCOUNT FOR TRANSVERSE SHIFTS IN THE CONTACT
PROBLEM FOR A PLATE LYING FREELY ON A WINKLER
BASE***Keywords: plate, contact problem, transverse shift.*

This paper presents the results of the study of the influence of transverse shear accounting on the distribution of contact stresses between a medium thickness plate and a stamp. The plate lies freely on an elastic Winkler base. In the area of contact between the plate and the stamp, local changes in the thickness of the plate are taken into account.

S.V. Yakubovskaya, V.N. Krasovsky, N.Y. Silnitskaya,
N.I. Krasovskaya**MODEL PROCESS VIBRATIONS OF PUMPING
AGGREGATES AS A RESULT OF THE INTRODUCTION OF
COMPLEX COMPENSATORY-VIBRATION PROTECTION
OF PUMPING EQUIPMENT***Keywords: simulation of the vibration process, pumping units,
vibration, vibrators.*

The paper considers the issue of reducing the process of vibration of pumping equipment pumping systems by introducing comprehensive compensatory and vibration protection and modeling this process on the basis of the developed computer program. The results of the placement of vibrators to reduce the vibration of pumping units for oil and gas companies of Western Siberia are presented.

**A.S. Isaev, O.I. Lutzenko, A.A. Simanovich
COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING SECURE
SOFTWARE DEVELOPMENT TECHNIQUES***Keywords: information protection, secure software, secure
software development.*

Software vulnerabilities are one of the main reason for successful implementation of computer attacks. Nowadays a number of international and industry standards and methodologies considering the issues of developing secure software are known in software development. This article provides a comparative analysis of existing methodologies and standards for developing secure software.

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**

№5 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 22.05.2020 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 22.05.2020
6,9 усл.печ.л. 7,8 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 2710.

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»