

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№9 2022

Направления:

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

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

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

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

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

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

**Казань
2022**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №9 2022г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2022. – 116 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.ntvprrt.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.Ф. Тарасов – д.ф.-м.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; М.В. Шулаев – д.т.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, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

**1.2.2. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

<i>Р.В. Андронов, Е.Э. Леверенц, В.О. Доманский, Б.П. Елькин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА СТАЦИОНАРНОСТЬ МЕТОДОМ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА	7
<i>М.С. Муравьев, Г.М. Алимурзоев, А.А. Недошивин, А.Д. Недошивина, Д.А. Литовский</i> КОНСТРУИРОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ДЕТЕКТОРА	12
<i>К.А. Насеткин, А.Д. Недошивина, М.С. Муравьев, Г.М. Алимурзоев, Д.А. Литовский, А.А. Недошивин</i> КОМПЛЕКСНЫЙ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ И ФИЗИКО- ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УВЕЛИЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ	15
<i>Р.З. Хайруллин</i> ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	18
<i>А.В. Христофорова, В.С. Попов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТОРЦЕВОГО УПЛОТНЕНИЯ КОЛЬЦЕВОГО КАНАЛА	22
<i>Е.Г. Царькова</i> ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТОЙ ВЕДОМСТВЕННЫХ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ОТ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	25

**2.3.1. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

<i>Ю.Г. Жеглова</i> РОБАСТНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	28
<i>А.В. Запорожцев, В.И. Хазова, В.И. Хазова</i> ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СВЯЗНОСТЬ КАК СРЕДСТВО КОНКРЕТИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ СТЕЙКХОЛДЕРОВ	31
<i>Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев</i> АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА. ЧАСТЬ V. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И АСТРОИЗМЕРЕНИЙ	35
<i>И.М. Кузьмина, М.А. Иванова, Т.И. Васильева, И.В. Гоголева</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	43
<i>Ю.Н. Матвеев, Л.В. Лобачева</i> К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ	47
<i>М.М. Руденко М.Г. Руденко</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ЛАГЕРЕЙ СИЛАМИ РАБОЧИХ БРИГАД	50

**2.3.3. — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

<i>Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский</i> МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ	55
<i>М.Б. Балданов, Н.Н. Алексеева, Н.И. Кондакова</i> ПРОЕКТ ОРОШЕНИЯ ДОЖДЕВАНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ УСТЬ-АЛДАНСКОГО УЛУСА	59

М.Б. Балданов, Н.И. Кондакова ПРОВЕДЕНИЕ ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ЛЕДОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ АВТОВОДОСБРОСА ВОДОЕМА "ИЛИН-УС-КЕЛЬ" С. КУРБУСАХ УСТЬ АЛДАНСКОГО УЛУСА	62
М.Б. Балданов, Н.А. Лукина, С.В. Степанова ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТНЕГО ВОДОПРОВОДА В СЕЛЕ ХАМПА ВИЛЮЙСКОГО УЛУСА РС(Я)	65
Д.А. Башмаков, З.Г. Сайфутдинов, А.Т. Галиакбаров ИССЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	68
Л.Д. Ибрагимов, И.И. Нуреев, Рин.Ш. Мисбахов, В.В. Садчиков, Л.М. Сарварова ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МАКЕТИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КАМЕРЫ БРЭГГОВСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ	71
А.А. Иевская, Н.А. Лукина, С.В. Степанова РЕМОНТ ШЛЮЗ-РЕГУЛЯТОРА №1 ХОРОБУТСКОЙ СЛО»	75
К.И. Калашиников, М.Н. Иванова, С.В. Степанова ОРГАНИЗАЦИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА КУОЛАГЫ С. ЧУРАПЧА	78
Т.М. Коменданова, М.Н. Иванова, С.В. Степанова ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В СХПК "КРЕСТЯХ" СУНТАРСКОГО УЛУСА	81
Е.Э. Куклина, С.В. Степанова ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШЛЮЗ-РЕГУЛЯТОРА № 5 ОРОСУНО-НЕГОДЯЙСКОЙ СИСТЕМЫ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ ВЕРХНЕВИЛЮЙСКОГО УЛУСА РС(Я)	84
Г.Ф. Кыркунова, Ю.А. Шапошников, Л.А. Дарбасова ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТНЕГО ВОДОПРОВОДА С. ЫТЫК-КЮЕЛЬ, ТАТТИНСКОГО УЛУСА РС(Я)	88
А.В. Чупаев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИДЕОФИКСАЦИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	91

2.3.5. — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

М.П. Овчинцев О НЕКОТОРОМ КОНФОРМНОМ ОТОБРАЖЕНИИ В КРУГОВОМ КОЛЬЦЕ	95
В.Д. Петелина КАЧЕСТВЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ	103
АННОТАЦИИ	108

THE RELEASE MAINTENANCE

1.2.2. — TECHNICAL SCIENCES — MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

<i>R.V. Andronov, E.E. Leverents, V.O. Domanskiy, B.P. Elkin</i> RESEARCH OF TRAFFIC FLOWS OF THE STREET NETWORK FOR STATIONARITY BY THE METHOD OF DISPERSION ANALYSIS	7
<i>M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, A.D. Nedoshivina, A.A. Nedoshivin, D.A. Litovsky</i> DESIGN AND MATHEMATICAL MODELING OF A MICROWAVE DETECTOR	12
<i>K.A. Nasetkin, A.D. Nedoshivina, M.S. Muravyev, G.M. Alimirzoev, D.A. Litovsky, A.A. Nedoshivin</i> PHYSICO-TOPOLOGICAL AND CIRCUIT ENGINEERING COMPREHENSIVE APPROACH TO INCREASE RADIATION RESISTANCE	15
<i>R.Z. Khayrullin</i> SEMI-MARKOV MODEL OF TESTING FOR SOME TYPES OF MEASURING EQUIPMENT	18
<i>A.V. Christoforova, V.S. Popov</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE OSCILLATIONS OF THE ANNULAR CHANNEL END SEAL	22
<i>E.G. Tsarkova</i> DYNAMIC MODEL OF OPTIMAL MANAGEMENT OF PROTECTION OF DEPARTMENTAL SITUATIONAL CENTERS FROM DESTRUCTIVE INFLUENCES	25

2.3.1. — TECHNICAL SCIENCES — SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

<i>Yu.G. Zheglova</i> A ROBUST APPROACH FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF CONSTRUCTION OF ENCLOSING STRUCTURES	28
<i>A.V. Zaporozhtsev, V.I. Khazova, V.I. Khazova</i> FUNCTIONAL CONNECTIVITY AS A MEANS OF SPECIFYING STAKEHOLDERS' REQUIREMENTS	31
<i>N.I. Zonov, D.V. Moiseev</i> AUTONOMOUS GEO-SATELLITES NAVIGATION. PART V. COMPARATIVE ANALYSIS OF RESULTS OF SIMULATION MODELING OF GEO-SATELLITE NAVIGATION BY USING SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS AND ASTROOBSERVATION	35
<i>I.M. Kuzmina, M.A. Ivanova, T.I. Vasilyeva, I.V. Gogoleva</i> DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR RECOGNITION OF HUMAN EMOTIONS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS	43
<i>U.N. Matveev, L.V. Lobacheva</i> TO THE QUESTION OF THE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL RISK OF TECHNICAL WASTE UTILIZATION SYSTEMS	47
<i>M.M. Rudenko, M.G. Rudenko</i> MODELING THE MOVEMENT OF TEMPORARY CAMPS BY WORK CREWS	50

2.3.3. — TECHNICAL SCIENCES — AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

<i>N.V. Andrievskaia, O.A. Andrievskii</i> MINIMIZATION OF HARMFUL EMISSIONS IN A LOW-EMISSION COMBUSTION CHAMBER	55
<i>M.B. Baldanov, N.N. Alekseeva, N.I. Kondakova</i> IRRIGATION PROJECT BY SPRINKLING OF AGRICULTURAL LANDS OF UST-ALDAN ULUS	59
<i>M.B. Baldanov, N.I. Kondakova</i> CARRYING OUT PREVENTIVE MEASURES BY INSTALLING AN ICE-PROTECTIVE STRUCTURE OF THE SPILLWAY OF THE ILIN-US-KEL RESERVOIR IN KURBUSAKH VILLAGE OF UST-ALDANSKY ULUS	62
<i>M.B. Baldanov, N.A. Lukina, S.V. Stepanova</i> DESIGN OF SUMMER WATER SUPPLY IN THE VILLAGE OF KHAMPA VILYUYSKY ULUS RS(YA)	65

<i>D.A. Bashmakov, Z.G. Saifutdinov, A.T. Galiakbarov</i> RESEARCH AND MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF HIGH-VOLTAGE MOTORS	68
<i>L.D. Ibragimov, I.I. Nureev, Rin.Sh. Misbakhov, V.V. Sadchikov, L.M. Sarvarova</i> SIMULATION MODELING AND LAYOUT OF A HIGH-VOLTAGE CAMERA OF A BRAGG OPTICAL VOLTAGE MEASURING TRANSFORMER	71
<i>A.A. Ievskaya, N.A. Lukina, S.V. Stepanova</i> REPAIR OF THE GATEWAY REGULATOR №1 OF THE KHOROBUTSKAYA SLO"	75
<i>K.I. Kalashnikov, M.N. Ivanova, S.V. Stepanova</i> ORGANIZATION OF MAJOR REPAIRS OF THE HYDRAULIC STRUCTURE OF THE KUOLAGI RESERVOIR IN CHURAPCHA VILLAGE	78
<i>T.M. Komendanova, M.N. Ivanova, S.V. Stepanova</i> DESIGN OF IRRIGATION SYSTEM IN THE AGRICULTURAL COMPLEX "KRESTY" OF SUNTARSKY ULUS	81
<i>E.E. Kuklina, S.V. Stepanova</i> RESTORATION OF THE GATEWAY REGULATOR № 5 OF THE OROSUNO-SCOUNDREL ESTUARY IRRIGATION SYSTEM OF THE VERKHNEVILYUYSKY ULUS RS(YA)	84
<i>G.F. Kyrkunova, Y.A. Shaposhnikov, L.A. Darbasova</i> DESIGN OF THE SUMMER WATER PIPELINE IN THE VILLAGE OF YTYK-KYUEL, TATTINSKY ULUS RS(YA)	88
<i>A.V. Chupaev, R.R. Galyamov, A.Yu. Sharifullina</i> SYSTEM OF AUTOMATIC VIDEO FIXING OF LONG PROCESSES	91

2.3.5. — PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES — MATHEMATICAL AND SOFTWARE OF COMPUTERS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS

<i>M.P. Ovchintsev</i> ON SOME CONFORMAL MAPPING IN A CIRCULAR RING	95
<i>V.D. Petelina</i> QUALITATIVE BEHAVIOR OF SOLUTIONS TO A NONLINEAR SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH SMALL PARAMETER	103

ABSTRACTS	108
------------------	-----

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ — 1.2.2.**

1.2.2.

**Р.В. Андронов, Е.Э. Леверенц,
В.О. Доманский, Б.П. Елькин канд. техн. наук****Тюменский индустриальный университет (ТИУ),
кафедра автомобильных дорог и аэродромов,
Тюмень, aroma77777@mail.ru****ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ
НА СТАЦИОНАРНОСТЬ МЕТОДОМ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА**

В статье производится проверка транспортных потоков, двигающихся по городским улицам на локальную стационарность, с последующей задачей подбора релевантного закона распределения вероятностей для возможности управления ими с применением адаптивного светофорного регулирования. Ставится гипотеза, что наличие регулируемых пересечений на городской улице делают транспортный поток локально нестационарным по коротким промежуткам времени (5 сек) и требует для описания применения двух и более распределений (смеси распределений).

*Оценивается возможность применения как непараметрических тестов (Манна-Уитни, Уилкоксона), так параметрических методов: дисперсионного анализа и *t*-статистики Стьюдента.*

В заключении статьи делается предварительный вывод о возможности описания транспортного потока бета-распределением при отсутствии значимой нестационарности.

*Ключевые слова: стационарность транспортного потока, городские улицы, адаптивное управление, дисперсионный анализ, *t*-статистика Стьюдента, распределение вероятностей.*

Увеличение количества транспортных средств является главным фактором повышения интенсивности движения в городах, а значит и увеличения задержек на улично-дорожной сети (УДС). В связи с этим повышается необходимость в совершенствовании организации и управления дорожным движением. Это достигается в последние годы применением автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД). Для обоснования их применения требуются точные данные моделирования.

Ключевым узлом моделирования работы АСУДД является моделирование работы регулируемого пересечения, в т.ч. с адаптивным управлением, т.е. адаптирующегося под характеристики транспортного потока [1,2,3,4].

Главную проблему моделирования работы пересечения представляет собой моделирование закономерности движения подходящего потока, т.к. при близко расположенных пересечениях транспортные средства будут двигаться т.н. «пачками» [1].

Для этого в данном исследовании требуется представить транспортный поток, проходящий через сечение городских улиц за короткие промежутки времени (5 сек) как временной ряд и исследовать его на одну из важнейших характеристик – стационарность. Интервал в 5 секунд выбран как наиболее удобный для моделирования работы адаптивного регулируемого пересечения (время поиска детектором наличия транспорта т.н. «разрыва в потоке» - $t_{ед}$) [1,2,3].

Нестационарные потоки не представляется возможным описать с помощью какого-либо одного вероятностного распределения (Пуассона, Вейбулла, нормального, бета-распределения), т.к. в этом случае будет наблюдаться суперпозиция процессов и, при составлении модели работы регулируемого пересечения, это необходимо учитывать.

Вопросами стационарности транспортного потока и ее влияние на способы управления дорожным движением, в т.ч. адаптивным, занимались ряд авторов [5,6].

В эконометрике существуют ряд тестов проверки на стационарность – расширенный тест Дики-Фуллера (ADF-тест) и др. [7]. Но данные методики, по мнению авторов статьи, созданы для тестирования на стационарность временных рядов колебания финансовых рынков, где под нестационарностью в принципе понимается отсутствие математического ожидания (перманентное случайное изменение цен) на какой-либо актив или товар. Это в корне отличается от классического подхода к определению нестационарности как неравности дисперсий и математическом ожидании для двух выборок.

В работе предлагается применять для этого дисперсионный анализ и т-статистику Стьюдента. Данные методы являются параметрическими методами и рекомендуется их применение при нормальном распределении генеральной совокупности.

В теории транспортных потоков предполагается, что движение автомобилей может подчиняться различным типам распределений (Пуассона, Вейбулла, смещенное экспоненциальное и др.) и в большинстве случаев нет основания предполагать его нормальным. Но при значительной выборке (более 100) распределение т-статистики Стьюдента и распределение Фишера асимптотически стремится к нормальному и для принятия решений по статистическим моделям рекомендуется использовать квантили для нормального распределения.

Имеющиеся для этих целей непараметрические методы, такие как, критерий Уилкоксона и критерий Манна-Уитни, которые подходят в случае отсутствия нормального распределения выборок являются ранговыми. Это является препятствием для их применения при большом количестве равных значений по двум сравниваемым выборкам (например, 0 авт/тед) и внесет искажение в итоговый результат.

Далее, в работе было выбрано 22 различных перегона магистральных улиц в г. Тюмени с целью проведения исследований на статистические характеристики транспортного потока. Выборка для проведения исследования составляла 100-180 значений. Сравнивались количество подходящего к регулируемому пересечению автомобилей за $t_{ед}$ по временным интервалам T1 и T2 (рис.1).

Выбор рассматриваемых интервалов обуславливался наличием визуально фиксируемой «пачки», сформированной за разрешающую фазу светофора (интервал T1) и остальным временем светофорного цикла (T2) предыдущего регулируемого пересечения, расположенного по улице.

За нулевую гипотезу (стационарность потока) принято предположение, что дисперсии выборок T1 и T2 по исследуемым перегонкам улиц и их математическое ожидание равны, т.е. $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $\mu_1 = \mu_2$. За уровень значимости был принят уровень 0,05.

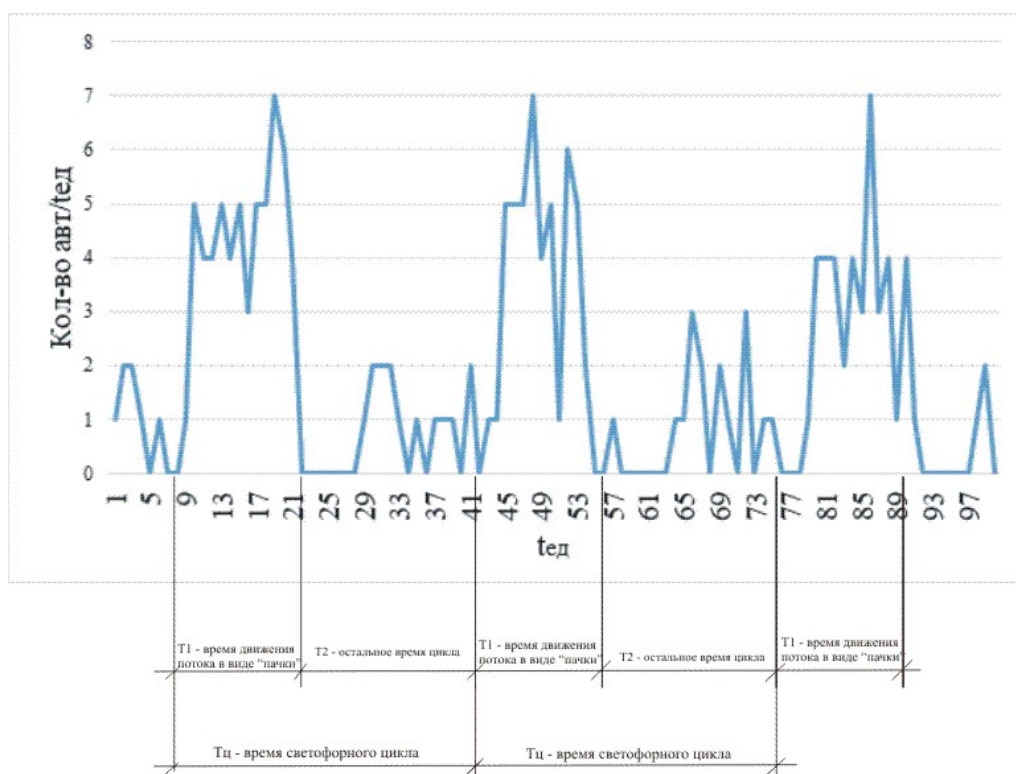


Рис 1 – Типичная картина наличия фактически 2-х распределений

Во втором случае представленные значения *t*-статистики Стьюдента не являлись необходимыми, т.к. была подтверждена гипотеза о разных выборках, а являлись только дополнительным параметром (таблица 1).

Таким образом, как видно из таблицы 1, значительное количество исследуемых перегонов показало нестационарность транспортного потока.

Таблица 1 – Полученные значения критерия Фишера и *t*-статистики Стьюдента

Наименование перегона и направление движения	Кол-во полос движения	Значение критерия Фишера		Значение <i>t</i> -статистики Стьюдента	
		Фактическое	Табличное (0,05)	Фактическое	Табличное (0,05)
1	2	3	4	5	6
Ул. 50 лет Октября (от ул. Профсоюзной до ул. М.Горького)	3	3,2	1,6	3,03	1,96
Ул. Мельникайте (от ул. Республики к п/проводу)	3	4,73	1,61	10,28	1,97
Ул. Профсоюзная (от ул. Ленина до ул. Герцена)	4	3,37	1,7	14,16	1,96
Ул. Усадебная (от ул. Щербакова)	1	1,59	1,65	0,76	1,98
Ул. Усадебная (к ул. Щербакова)	1	1,27	1,65	0,82	1,98
Ул. Щербакова (от Велижанского тр. к ул. Безымянной)	2	1,64	1,65	1,45	1,98
Ул. Щербакова (от ул. Безымянной до Велижанского тр.)	2	1,93	1,61	4,34	1,96
Ул. Велижанский тракт (от ул. Мелиораторов к ул. Щербакова)	2	1,52	1,61	0,36	1,98
Ул. Велижанский тракт (от ул. Щербакова к ул. Мелиораторов)	2	1,58	1,61	0,19	1,98
Ул. Интернациональная (от ул. Восстания к ул. Амурской)	2	1,09	1,61	1,53	1,98

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Ул. Интернациональная (от ул. Амурской к ул. Восстания)	2	1,2	1,61	0,37	1,98
Ул. Магнитогорская (к ул. Московский тракт)	1	1,39	1,7	0,32	1,98
Ул. Московский тракт (от ТЦ «Колумб» к ул. Магнитогорской)	3	1,29	1,7	1,71	1,98
Ул. Герцена (от ул. Челюскинцев)	2	1,53	1,87	0,03	2,0
Ул. Герцена (от ул. Грибоедова)	2	1,05	1,87	0,02	2,0
Ул. Первомайская (от ж/д вокзала)	2	1,28	1,87	0,03	2,0
Ул. Широтная (от ул. Федорова к ул. Пермькова)	3	1,33	1,7	4,66	1,98
Ул. Мельникайте (от ул. Широтной к ул. Гнаровской)	3	1,23	1,7	0,51	1,98
Ул. Западносибирская (от ул. Юбилейной)	2	1,03	1,7	0,18	1,98
Ул. Западносибирская (от р.Тура)	1	1,28	1,7	0,22	1,98

В дальнейшем (рис.2) это необходимо учитывать при моделировании работы регулируемого пересечения [3,4].

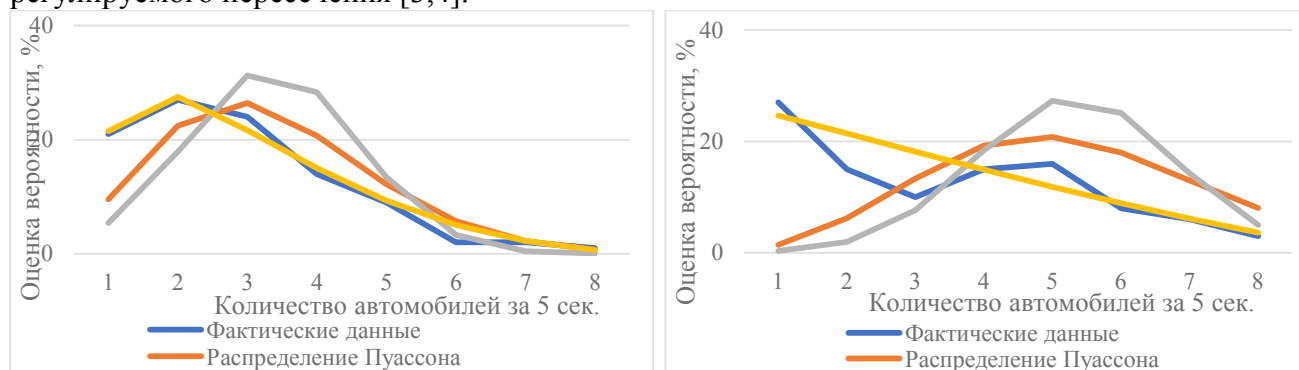


Рис 2 – Пример возможности аппроксимации фактических данных подхода автомобилей вероятностными законами для: а – стационарного потока; б – нестационарного потока (неприменимость аппроксимации одним распределением)

Авторами в дальнейшем для моделирования транспортного потока предлагается использовать бета-распределение, т.к. оно имеет очерченные интервалы применения (интервальная оценка от 0 до максимально возможного количества автомобилей, которое может пройти через сечение проезжей части улицы за $t_{ед}$) и подходит (рис 2а) для описания движения транспортного потока по многополосной проезжей части.

Выводы

1. При моделировании дорожного движения и расчета параметров очередей в процессе работы адаптивного регулируемого пересечения существенную роль оказывает нестационарность процесса подхода автомобилей, вызываемая наличием ранее расположенных по улице регулируемых пересечений.

2. Предложено с помощью применения дисперсионного анализа и т-статистики Стьюдента определить перегоны со значимыми отличиями по дисперсии и математическому ожиданию (нестационарностью).

3. При наличии значимой нестационарности применение какого-либо одного вида вероятного распределения для моделирования, подходящего к адаптивному регулируемому пересечению внесет значительную погрешность в результаты расчета.

4. Подход транспорта к пересечению на перегонах, на которых отсутствует значимая нестационарность, предлагается моделировать бета-распределением.

Список литературы

1. *Петров В.В.* Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / В. В. Петров. – 3-е издание, стереотипное. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – 99 с. – EDN AVPYOK.
2. *Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б.* Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 279 с.
3. *Андронов Р.В.* Моделирование транспортных пересечений городских улиц с адаптивным регулированием дорожного движения / Р. В. Андронов, Е. Э. Леверенц, Т. В. Мальцева // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2022. – Т. 8. – № 1(29). – С. 144-160. – DOI 10.21684/2411-7978-2022-8-1-144-160. – EDN QFAUCI.
4. *Andronov Roman, Evgeny Leverents.* "Calculation of vehicle delay at signal-controlled intersections with adaptive traffic control algorithm." MATEC Web of Conferences. Vol. 143. EDP Sciences, 2018.
5. *Дидковская Л.С.* Обоснование области эффективного функционирования адаптивных методов светофорного регулирования через оценку параметров транспортного потока / Л.С. Дидковская // Научные заметки – 2014. - №46. - С. 137-146.
6. *Петров В.В.* Свойства транспортного потока / В. В. Петров, Г. Г. Божко. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2008. - №3 (19). - С. 22-24.
7. *Вершинина М.С.* Анализ предположений о стационарности некоторых временных рядов //СБОРНИК ТРУДОВ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО МАТЕМАТИКЕ. – 2018. – С. 172.

1.2.2.

**М.С. Муравьев, Г.М. Алимйрзоев,
А.А. Недошивин, А.Д. Недошивина, Д.А. Литовский**

Национальный исследовательский университет имени Н.И. Лобачевского,
Радиофизический факультет,
кафедра квантовой радиофизики и электроники,
m.m.rf@mail.ru

КОНСТРУИРОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ДЕТЕКТОРА

В работе построена модель СВЧ детектора и получены характеристики регулировочных элементов. Оценена возможность расчета радиационной стойкости на этапе проектирования. Проведён синтез конкретного схемотехнического решения в виде волноводной конструкции на основании полученных данных. Экспериментально исследованы изготовленные детекторы, результаты совпадают с теоретическими с достаточной точностью.

Ключевые слова: *детекторная секция СВЧ, CST Studio, AWR Microwave office, смесительно-детекторный диод, радиационная стойкость.*

Введение

На данный момент одним из важных направлений отечественной электроники является создание радиационно-стойкой электронно-компонентной базы (ЭКБ). Такие изделия востребованы в приборах воздушно-космической тематики и специальных назначений. Так, например, ожидается, что за счет государственных программ к 2026 году электроника, предназначенная для космоса, должна стать полностью отечественной, что приводит к необходимости перевода всех серийных и перспективных изделий на соответствующую ЭКБ. Таким образом, на данный момент, это наиболее актуальная проблема в этом сегменте приборостроения.

Детектор СВЧ – устройство, преобразующее энергию сигнала СВЧ в энергию низкочастотных колебаний тока для извлечения полезной информации. Актуальными задачами конструирования детекторов СВЧ является надежный расчет их характеристик, который позволил бы на этапе проектирования упростить и удешевить их конструкцию, повысить надежность, получить минимальные габаритные размеры и оценить радиационную стойкость.

В рамках данной работы за счет моделирования была усовершенствована детекторная головка из комплекта панорамного измерителя КСВн и ослабления Р2-69.

Построение модели

Классический для таких устройств[1] маршрут проектирования заключается в следующем:

1) Сначала определяются внешние условия, в рамках которых задаются лабораторные или реальные условия использования, это окружение моделируется, результатом становится распределение электромагнитных полей, которые задают входные воздействия. Также на этом этапе происходит оптимизация окружения под необходимые частоты.

2) Затем эти входные воздействия, снятые в виде S-параметров передаются в пакет схемотехнического моделирования, где встраиваются в общую схему устройства. Затем вариационным изменением параметров устройства получают наилучшие характеристики.

3) При необходимости изменяют форму и состав устройства, затем итерационно повторяют процесс сначала, пока не получатся необходимые характеристики.

Моделирование внешних условий. Конструкция представляет собой детекторную головку с корпусом из латуни, с усечённым волноводом, содержащим на конце бронзовую закоротку. Секция, в которую непосредственно монтируется смесительно-детекторный диод с

балочными выводами, представляет собой кварцевую подложку с нанесённой металлизацией. Также волноводная секция содержит чип-конденсатор K26-4. Волновод усечён для согласования импеданса диода с волноводом нормального сечения.

В пакете программ CSTMicrowavestudio была построена модель диодного СВЧ детектора на базе бескорпусного смесительно-детекторного диода с балочными выводами.

Программа CST проводит обработку данных расчета полей, позволяющую вычислить значения добротностей, S-параметров и связанных с ними характеристиками, а также модуль и фазу векторов электромагнитного поля в каждой точке пространства.

Моделирование схмотехники устройства. Результаты расчета программы CST Microwave Studio используются в качестве входных воздействий при расчете режимов работы нелинейных элементов в программе AWR Microwave Office, проект в которой построен в соответствии с электрической схемой проектируемой детекторной секции.

На данном этапе становится возможным оценить радиационную стойкость получаемого изделия. Существует два подхода к моделированию изменения параметров: схмотехнический и физико-топологический подход. Физико-топологический подход основан на самосогласованном решении уравнения Пуассона и кинетического уравнения Больцмана (или уравнения Шредингера в квантоворазмерных структурах) в различных приближениях и численного решения данных систем уравнений[2,3]. На данный момент существует большое количество исследований воздействия проникающих излучений на арсенид галлия [4,5], из которого изготовлен диод, применяемый в данном детекторе. Однако временные и вычислительные ресурсы, необходимые для решения подобных систем исключают возможность использовать их для схмотехнического анализа. Радиотехнический подход основан на замене исследуемого полупроводникового прибора его компактной моделью[6]. Такой подход успешно применяется при разработке интегральных микросхем. При этом из модели экстрагируются параметры, которые вносятся в проект в виде вольтамперных характеристик, которые зависят от радиационного воздействия. На данный момент ведется проработка программных возможностей автоматизации данного процесса для вариационного подбора характеристик изделия.

Была построена модель смесительно-детекторного диода, который по своим параметрам полностью соответствует примененному диоду и обладает соответствующими SPICE модели параметрами. Далее расчет ведется основным математическим методом используемым в программном обеспечении - методом гармонического баланса. Полученные характеристики детекторной секции соответствуют ожидаемым требованиям к изделию, но практический интерес представляет сравнение получившихся детекторных характеристик с реальными характеристиками изготовленных детекторных устройств.

На практике регулировка может осуществляться изменением технологических параметров. Регулировка конструктивных элементов позволяет настраивать ширину полосы принимаемого сигнала и гладкость частотной зависимости выходного напряжения, реализуя и подтверждая на практике полученные в ходе моделирования результаты.

Экспериментальные измерения

На основании данных, полученных в результате расчетов модели детекторной секции, был усовершенствован и смонтирован детекторная головка из комплекта панорамного измерителя КСВн и ослабления Р2-69. Экспериментально были измерены выходные данные детекторной головки при различных значениях входных мощностей и частотах генерации. Было проведено сравнение полученных результатов с результатами моделирования[7], а также измерено значение тангенциальной чувствительности детектора.

Сравнение детекторных характеристик свидетельствует о достаточно хорошем совпадении результатов моделирования с экспериментальными данными. Сравнение с исходным устройством показывает улучшение характеристик тангенциальной чувствительности на ~7 дБм.

Заключение

В результате проведенной работы была построена модель диодного СВЧ детектора на базе бескорпусного смесительно-детекторного диода с балочными выводами. Проведен расчет с целью оптимизации параметров устройства и получены его выходные характеристики. Проведен анализ возможности оценки радиационной стойкости на этапе проектирования. Изготовлены два макета диодных СВЧ детектора. Результаты моделирования хорошо совпадают с экспериментальными данными.

Список литературы

1. Алимурзоев Г.М., Муравьев М.С., и др. Моделирование утроителя частоты на гетеробарьерном варакторе в 3 мм диапазоне длин волн // Научно-технический вестник Поволжья, 2019, №7, С.79-82.
2. Потехин А.А. Забавичев И.Ю. и др. Влияние RLC-параметров межтранзисторных соединений на переходный ионизационный процесс в ячейках быстродействующей статической памяти при воздействии тяжелых заряженных частиц космического пространства. // Научно-технический вестник Поволжья, 2020, №12, С.203-205.
3. Оболенская Е.С., Кудряшова Д.А. и др. Реинжиниринг профиля легирования диодных и транзисторных структур для расчетной оценки их реакции на воздействие ионизирующих излучений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2020, №12, С.200-202.
4. Забавичев И.Ю., Тарасова Е.А. и др. Динамика разогрева и релаксации энергии электронно-дырочной плазмы в треке первичного атома отдачи в GaAs при воздействии нейтронов спектра деления. // Научно-технический вестник Поволжья, 2020, №12, С.209-211.
5. Муравьев М.С., Алимурзоев Г.М., и др. Сравнение характеристик AlGaIn/GaN HEMT и AlGaAs/GaAs HEMT при воздействии проникающих излучений. // Научно-технический вестник Поволжья, 2021, №9, С.68-70.
6. Насеткин К.А., Пузанов А.С. Влияние накопленного заряда на гетерограницах тонкопленочных полупроводниковых структур // В сб.: Высокие технологии атомной отрасли. Молодежь в инновационном процессе. Сборник материалов XIV научно-технической конференции молодых специалистов Росатома. Нижний Новгород, 2019. С. 102-107.
7. Муравьев М.С., Алимурзоев Г.М., и др. Конструирование и расчет СВЧ детектора на базе бескорпусного смесительно-детекторного диода с балочными выводами // Научно-технический вестник Поволжья, 2019, №7, С.123-126.

1.2.2.

**К.А. Насеткин, А.Д. Недошивина, М.С. Муравьев,
Г.М. Алимурзоев, Д.А. Литовский, А.А. Недошивин**

Национальный исследовательский университет имени Н.И. Лобачевского,
Радиофизический факультет,
кафедра квантовой радиофизики и электроники,
zverbeshenka@gmail.com

КОМПЛЕКСНЫЙ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ И ФИЗИКО-ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УВЕЛИЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ

В работе предложен комплексный схмотехнический и физико-топологический подход к увеличению радиационной стойкости интегральных схем и частей радиоэлектронной аппаратуры, основанный на новой компактной математической модели короткоканальных полевых транзисторов, изготовленных по технологии «кремний-на-изоляторе». Данный подход позволяет повысить эффективность прогнозирования и повышения радиационной стойкости цифровых микросхем высокой степени интеграции.

Ключевые слова: «кремний на изоляторе», радиационная стойкость, комплексный подход.

Введение

В настоящее время все более актуальной становится задача создания универсального оборудования с повышенной радиационной стойкостью на отечественной элементной базе. Такие системы востребованы в изделиях как морской, так наземной и воздушно-космической тематики.

Всего при оценке радиационной стойкости аппаратуры можно выделить три общих уровня [1]: физический, схмотехнический и системный. На данный момент подход к проектированию аппаратуры повышенной радиационной стойкости ограничивается системным уровнем. Для создания же максимально надежной аппаратуры необходимо учитывать все уровни, что приводит к необходимости выработки новых подходов.

В данной работе предложен оригинальный комплексный подход, в основе которого лежит применение принципов повышения стойкости на всех уровнях проектирования, от топологии кристалла микросхемы до системного резервирования.

Суть предлагаемого подхода

Физический уровень. Для этого уровня необходима прогнозная оценка реакции полупроводниковых приборов на радиационное воздействие. Для решения данной задачи существует два принципиально различных подхода. При применении физико-топологического моделирования, в котором геометрические размеры, свойства полупроводниковых материалов и профиль легирующей примеси выступают в качестве исходных данных для численной модели, получают точное описание поведения [2, 3]. Подобный подход подходит для всех видов полупроводниковых структур, включая квантово-размерные [4], однако временные и вычислительные ресурсы, необходимые для решения подобных систем исключают возможность использовать их для схмотехнического анализа. Радиотехнический подход основан на замене исследуемого полупроводникового прибора его компактной математической моделью.

Магистральным направлением развития твердотельной электроники является уменьшение размеров полупроводниковых структур. Ранее была предложена модель биполярного транзистора с тонкой базой с учетом радиационного воздействия [5-7]. В данной работе авторами рассмотрена новая компактная модель КНИ транзистора с коротким каналом. За основу модели была взята модель ультраквазигидродинамического электронного транспорта [8]. Основное уравнение модели для тока насыщения имеет вид:

$$I \approx \frac{C(D)\mu(L)}{2} \frac{W}{L} (V_g - V_t(D))^{\frac{3}{2}} \sqrt{35\phi_T}$$

где I – ток насыщения, C – удельная емкость подзатворного диэлектрика, μ – подвижность, W – ширина канала, L – длина канала транзистора, V_g – напряжение на затворе, V_t – пороговое напряжение, ϕ_T – тепловой потенциал.

Авторами был проведен ряд экспериментов [9], который показал достаточную точность теоретических результатов, полученных в результате расчетов на основе предложенной модели, а работа рекомендована к внедрению на базе Филиала ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им Ю.Е. Седатова». Полученную модель можно применять в существующих САПР, что позволяет пользоваться ей как на физическом, так и на более высоких уровнях проектирования.

Схемотехнический уровень. На этом уровне необходима прогнозная оценка радиационной стойкости электрической схемы в целом, причем как отдельной микросхемы, так объединения нескольких микросхем в блок/плату с учетом соединений. Существующие САПР позволяют моделировать изменение параметров микросхемы, в зависимости от изменения параметров транзисторов. Однако на данный момент в них нет возможности внести влияние радиационного воздействия в явном виде. Эту проблему позволяет решить модель, полученная на предыдущем этапе. За счет того, что в качестве радиационно-чувствительного параметра принято пороговое напряжение и емкость подзатворного диэлектрика становится возможным моделировать поведение схемотехники микросхемы, а в последствии и блока при радиационном воздействии. Результатом становится поведенческая модель микросхемы, которая позволяет оценить отказоустойчивость. Также при использовании этих расчетов становится возможным проектирование и оценка эффективности специальных блоков, которые созданы для увеличения радиационной стойкости схемы, таких как схема автокомпенсации подложки [10] и применение токоограничивающих схем [11].

Системный уровень. На этом уровне проводится оценка устойчивости системы в целом. Сюда включается как обобщение результатов с предыдущих уровней, так и оценка применения классических системных способов увеличения отказоустойчивости аппаратуры. Также в зависимости от полученных результатов, необходимости и возможности размещения, добавляют в схемотехнический уровень дополнительные части, которые позволяют программно контролировать блоки увеличения радиационной стойкости и управлять ими.

Обобщение подхода. Таким образом, применение подхода подразумевает 1) разработка топологии микросхемы для конкретного класса задач с применением предложенной модели, радиационно-чувствительные параметры которой экстрагируются в виде поведенческих моделей для схемотехнического анализа; 2) применение специализированных корректирующих схем, как в составе микросхемы, так и вне ее, их моделирование с учетом полученных ранее параметров; 3) применение классических способов повышения радиационной стойкости, применение алгоритмических способов защиты.

Заключение

Результатом работы стала разработка комплексного схемотехнического и физикотопологического подхода к увеличению радиационной стойкости интегральных схем и частей радиоэлектронной аппаратуры, основанного на новой компактной математической модели. Применение способов парирования радиационных эффектов на всех уровнях и их сквозное взаимодействие позволяет повысить стойкость разрабатываемой аппаратуры.

Список литературы

1. Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с.
2. Потехин А.А., Забавичев И.Ю., и др. Применение физико-топологического моделирования для анализа радиационной стойкости серийных полупроводниковых приборов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2018. Вып.4. С.10-17.
3. Забавичев И.Ю., Насеткин К.А., Оболенская Е.С., Пузанов А.С. Моделирование эффектов всплеска скорости в полупроводниковых структурах после радиационного воздействия. // Научно-технический вестник Поволжья, 2020, №12, С.206-208.
4. Недошивина А.Д., Насеткин К.А., и др. Сравнение характеристик AlGaIn/GaN HEMT и AlGaAs/GaAs HEMT при воздействии проникающих излучений // Научно-технический вестник Поволжья, 2021, №9, С.68-70.
5. Пузанов А.С., Оболенский С.В. Аналитическая модель переходных ионизационных процессов в кремниевых биполярных транзисторах с тонкой базой при воздействии импульсного фотонного излучения // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2012. №4. С.5-8.
6. Киселев В.К., Оболенский С.В., Пузанов А.С. Аналитическая модель деградации характеристик кремниевых биполярных транзисторов с тонкой базой при воздействии дефектообразующих излучений // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. №2-1. С.56-59.
7. Пузанов А.С. Аналитическая модель разогрева электронного газа в тонкой базе биполярного транзистора на основе Ge, Si и GaAs при воздействии стационарного потока квантов высоких энергий // Вестник ННГУ. Серия: Физика твердого тела. 2014. №1-2. С.88-93.
8. Гергель В.А., Мокеров В.Г., Тимофеев М.В., Федоров Ю.В. Ультраквазигидродинамический электронный транспорт в субмикронных полевых МДП-транзисторах и гетеротранзисторах // Физика и техника полупроводников, 2000, Т.34, №2, С. 239.
9. Насеткин К.А., Муравьев М.С., и др. Моделирование характеристик субмикронных структур «кремний на изоляторе» с учетом радиационных эффектов // Научно-технический вестник Поволжья, 2019, №7, С.127-130.
10. Лушников А.С., Мещанов В.Д., Рыбалко Е.С., Шепелин Н.А. КМОП КНИ интегральная микросхема с повышенной радиационной стойкостью. Патент РФ 2545325 кл. H01L27/10.
11. Пузанов А.С., Оболенский С.В. Особенности стимулированного излучением пробоя р-п перехода с неоднородным легированием // Микроэлектроника. 2009. Т.38, №1. С.64-74.

1.2.2.

Р.З. Хайруллин

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
Мытищинский филиал, кафедра фундаментального образования,
Главный научный метрологический центр Минобороны России,
Мытищи, zrkzrk@list.ru

**ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Описано применение полумарковской модели к моделированию процесса испытаний измерительной техники с разрушающим контролем в агрессивных средах. Дается методика построения оценок продолжительности испытательного процесса и необходимого числа образцов измерительной техники для проведения испытаний.

Ключевые слова: *испытания, разрушающий контроль, измерительная техника.*

Развитие современной измерительной техники (ИТ) связано с расширением диапазонов измерений, уменьшением погрешности измерений, увеличением стоимости разработки, производства и эксплуатации [1,2]. Ввод в эксплуатацию новых типов образцов ИТ производится по итогам проведения государственных испытаний (ГИ), а ввод в эксплуатацию после восстановительного ремонта - по итогам послеремонтных испытаний (ПИ) [1]. Для некоторых типов ИТ испытания проводятся в экстремальных условиях, в агрессивных, опасных средах и сопровождаются разрушением ИТ. В связи с этим актуальной представляется задача моделирования процесса проведения испытаний и построения оценок технологических параметров испытаний, в том числе продолжительности испытательного процесса и необходимого числа образцов ИТ для проведения испытаний.

В данной статье представлена вероятностная модель испытаний с разрушительным контролем, позволяющая в условиях неопределенности оценить необходимое количество ИТ для проведения испытаний и спрогнозировать продолжительность испытаний.

Будем моделировать испытательный процесс полумарковским случайным процессом [3], заданным на конечномерном фазовом пространстве $E = \{1, 2, \dots, N\}$. Каждое испытание состоит из $(N-1)$ этапов.

Предположим, что время испытания на i -м этапе $i=1, 2, \dots, N-1$ есть случайная величина η_i с функцией распределения $F_i(x)$. Специфика испытаний состоит в том, что при последовательной стратегии испытаний, если на некотором этапе k ($1 \leq k \leq N-1$) время проведения испытаний повышает предельно допустимое значение h_k , то происходит разрушение испытуемого образца ИТ, после чего испытание возобновляется с новым образцом ИТ, начиная с первого этапа.

Предполагается, что:

-в начальный момент времени моделируемая система находится на первом этапе функционирования E_1 в течение некоторого случайного времени η_1 , после чего переходит на второй этап функционирования E_2 , если $\eta_1 < h_k$, или вновь возвращается к первому этапу E_1 , если $\eta_1 \geq h_k$;

-переход системы с этапа k на этап $(k+1)$ либо на первый этап происходит с вероятностями $P_{k,k+1}$ и $P_{k,1}$, причем $\forall k: P_{k,1} + P_{k,k+1} \leq 1$;

-если происходит переход системы с этапа k на этап $(k+1)$, то время перехода - случайная величина η_k с функцией распределения $G_{k,k+1}$.

-равенство $\xi_n = k$ означает факт пребывания системы в момент времени с индексом n на этапе с индексом k .

Таким образом, поведение системы при последовательной стратегии испытаний может быть описано двумя последовательностями $\{\xi_{k,k}\}, \{\eta_{k,k}\}$ или одной двумерной последовательностью $\{\xi_k, \eta_k\}$. Математическая модель функционирования системы в этом случае может быть задана характеристиками двумерного полумарковского процесса [3,4]. Запишем ненулевые вероятности переходов вложенной цепи Маркова:

$$P\{\xi_{n+1} = k+1 | \xi_n = k\} = P\{\eta_k \leq h_k\} = F_k(h_k), \quad P\{\xi_{n+1} = 1 | \xi_n = N\} = 1, \\ P\{\xi_{n+1} = 1 | \xi_n = k\} = P\{\eta_k > h_k\} = 1 - F_k(h_k) = \bar{F}_k(h_k). \quad (1)$$

Запишем времена пребывания в состояниях:

$$\theta_k = \min\{h_k, \eta_k\}, \quad k = 1, \dots, N-1; \quad \theta_N = \infty. \quad (2)$$

При успешном окончании всех этапов испытаний система оказывается в состоянии θ_N и остается там сколь угодно долго.

Введем случайную величину $\rho_{k,r}, k \in E_0^*, r \notin E_0^*$ - время пребывания полумарковского процесса в подмножестве E_0^* с k -м начальным состоянием при условии, что при выходе из E_0^* процесс попадает в r -е состояние, E_0^* - множество всех этапов функционирования системы за исключением последнего

Введем обозначения: $P\{\theta_{k,r} \geq x\} = G_{k,r}(x)$, $t_{k,r} = M\{\rho_{k,r}\}$ и случайные величины: $I_{k,r}(\theta_k)$ - индикаторы условных переходов с этапа k на этап r при условии, что время пребывания на k -ом этапе равно θ_k . Индикаторы принимают значения 1 или 0, причем $\sum_{k \in E} I_{k,r}(\theta_k) \equiv 1$.

Тогда для времени ρ_k пребывания в подмножестве состояний справедливо стохастическое соотношение:

$$\rho_k = \theta_k + \sum_{r \in E_0} I_{k,r}(\theta_k) \rho_r. \quad (3)$$

Равенство (3) следует понимать в смысле совпадения функций распределения случайных величин в правой и левой частях. Аналогичное стохастическое соотношение можно записать для величины $\rho_{k,r}$:

$$\rho_{k,r} = I_{k,r}(\theta_k) \theta_{k,r} + \sum_{m \in E_0} I_{k,m}(\theta) [\theta_{k,m} + \theta_{m,r}]. \quad (4)$$

Переходя в последнем равенстве к математическим ожиданиям, получаем следующую систему уравнений:

$$t_{k,r} = \sum_{m \in E_0} P_{k,m} M_{k,m} + P_{k,r} M_{k,r}, \quad (5)$$

где $t_{k,r} = M\{\rho_{k,r}\}$, $M_{k,r} = M\{\theta_{k,r}\}$, $r = k+1, k = 1, 2, \dots, N-1$, $P_{k,m}$ - переходные вероятности вложенной цепи Маркова; $\theta_{k,r}$ - времена пребывания системы в k -ом состоянии

при условии перехода в состояние r . Эти времена: $\theta_{k,k+1} = \eta_k$; $\theta_{k,1} = h_k$, $k = 1, \dots, N-1$; $\theta_{N,1} = \theta$.

Остальные времена пребывания в состояниях системы на переходах равны нулю. Тогда $M_{k,r} = M\{\eta_k\}$, если $r = k+1$, $k = 1, 2, \dots, N-1$; $M_{k,r} = h_k$ если $r = 1$; $M_{n,k} = 0$.

Основное целевое назначение предлагаемой модели состоит в определении величины $t_{1,N}$ при $E_0 = \{1, 2, \dots, N-1\}$.

На основании уравнения (5) с учетом (3),(4) запишем систему уравнений

$$\begin{cases} t_{1,N} - (P_{1,1}t_{1,N} + P_{1,2}t_{2,N}) = P_{1,1}M_{1,1} + P_{1,2}M_{1,2} + P_{1,N}M_{1,N} \\ \dots \\ t_{i,N} - (P_{i,1}t_{1,N} + P_{i,i+1}t_{i+1,N}) = P_{i,1}M_{i,1} + P_{i,i+1}M_{i,i+1} + P_{i+1,N}M_{i+1,N} \\ \dots \\ t_{N-1,N} - P_{N-1,1}t_{1,N} = P_{N-1,1}M_{N-1,1} + P_{N-1,N}M_{N-1,N} \end{cases} \quad (6)$$

Решая систему (6) с учетом (1),(5), получим оценку математического ожидания продолжительности испытания [4]: $t_{1,N} = \sum_{i=1}^{N-1} t_{1,N}^i$ и его этапов:

$t_{1,N}^i = (h_i - F_i(h_i) \cdot (h_i - M\{\eta_i\})) / \prod_{m=1}^{i-1} F_m(h_m)$. Далее рассчитывается среднее квадратического

отклонения: $\sigma_{1N} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sigma_i^2(\eta_i)}$ и оценка потребного количество образцов ИТ для проведения

испытаний: $N_{\text{треб}} = \prod_{i=1}^{N-1} ([t_{1,N}^i / M(\eta_i)] + 1)$. Квадратные скобки означают целую часть числа.

На рисунке 1а) представлена зависимость продолжительности испытательного процесса при проведении ПИ, включающего 3 этапа, от технологического ограничения h ($h = h_1 = h_2 = h_3$).

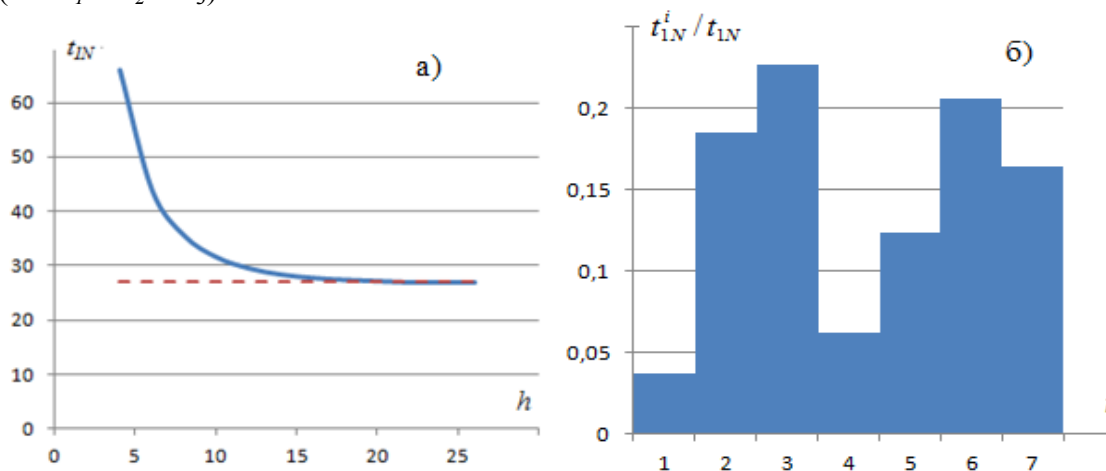


Рис. 1 – Оценка времени испытаний образцов ИТ при ПИ и ГИ

Видно, что с ослаблением ограничения h (увеличением параметра h) время испытания t_{1N} приближается к своему математическому ожиданию $\sum_{i=1}^3 M(\eta_i)$ - среднему суммарному времени испытания, а с усилением ограничения (уменьшением параметра h) - t_{1N} значительно возрастает.

На рисунке 1б) представлены относительные продолжительности каждого из 7 этапов (t_{1N}^i / t_{1N} , $i=1, \dots, 7$) ГИ. Видно, что продолжительности этапов могут заметно отличаться друг от друга. При этом на практике не каждый этап испытания сопровождается разрушением образца ИТ.

Разработанная модель позволяет оценить вклад каждого этапа в общий результат, выявить проблемные вопросы проведения испытаний и разработать меры, направленные на повышение качества сдаваемых в эксплуатацию образцов ИТ.

Разработанная модель входит в состав программного комплекса для моделирования всех этапов жизненного цикла ИТ [2].

Разработанная модель может быть использована для моделирования испытаний специализированного программного обеспечения в случаях, когда в системе из-за ограниченности ресурсов не предусмотрено или нет возможности сохранения промежуточных результатов, получаемых на разных этапах испытаний.

Список литературы

1. Сычев Е.И., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. Основы метрологии военной техники. Москва. Военное издательство. 1993. 400 с.
2. Хайруллин Р.З. Оптимизация процессов эксплуатации и обновления парка измерительной техники. Измерительная техника. №8. 2022. сс. 28-34.
3. Королюк В.С. Стохастические модели систем. Киев. Наукова думка. 1989. 208 с.
4. Скатков А.В. Модели проектирования высокоэффективных систем вычислительной техники и автоматизированного управления. Киев. УМК ВО. 1992. 80 с.

1.2.2.

¹А.В. Христофорова, ²В.С. Попов¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского,
alevtinahristoforova@yandex.ru,²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Институт проблем точной механики и управления РАН,
vic_p@bk.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТОРЦЕВОГО УПЛОТНЕНИЯ КОЛЬЦЕВОГО КАНАЛА

В работе представлены результаты разработки и исследования математической модели колебаний торцевого уплотнения кольцевого канала, заполненного вязкой жидкостью и установленного на вибрирующее основание. Модель исследована методом возмущений в предположении ламинарного движения жидкости в узкой щели. В результате получена амплитудно-частотная характеристика торцевого уплотнения.

Ключевые слова: математическое моделирование, колебания, вязкая жидкость, кольцевой канал, торцевое уплотнение.

Моделирование взаимодействия жидкости с элементами, имеющими упругие связи является актуальной проблемой современной прикладной математики. Это связано с тем, что указанные элементы являются частью датчиков различных гидравлических и гидродинамических систем. В [1,2] исследованы свободные колебания упругой круглой пластины, которая контактирует с идеальной жидкостью. В [3] рассмотрены колебания пластин в идеальной жидкости для случаев их различной формы и вариантов крепления. В [4] была предложена математическая модель взаимодействия вибрирующего штампа, поддерживаемого пружиной, с идеальной жидкостью, имеющей свободную поверхность и расположенной в плоском бесконечно длинном канале малой глубины. В [5] проведены натурные эксперименты по определению частот собственных колебаний прямоугольных пластин с различными торцевыми закреплениями, находящихся на свободной поверхности воды и в воздухе. В [6] смоделирована динамика взаимодействия двух вязких жидкостей с пластиной, которая является частью разделяющей их границы. Исследование колебаний жесткой стенки, имеющей упругую опору для узкого клиновидного канала, заполненного вязкой несжимаемой жидкостью, проведено в [7]. Колебания торцевого уплотнения узкого канала, взаимодействующего с вибрирующей стенкой канала через вязкую жидкость, заполняющую канал, исследовались в [8]. Однако в указанных работах не рассмотрен случай колебаний торцевого уплотнения кольцевого канала, установленного на вибрирующее основание.

Рассмотрим узкий кольцевой канал на рис. 1. Радиус внутреннего сплошного цилиндра R_2 . Внешний цилиндр имеет полость радиуса R_1 . Длина канала составляет 2ℓ . Размер кольцевого зазора $\delta_1 = R_1 - R_2$ и $\delta_1 \ll R_2$. На правом конце канала имеется торцевое уплотнение в виде диска 1 радиуса R_2 . Узкий торцевой зазор δ_2 . Полагаем, что $\delta_1/\delta_2 = O(1)$. Торцевой диск имеет упругий подвес и может колебаться вдоль оси канала. Амплитуда колебаний диска y_m и $y_m \ll \delta_2$. Канал заполнен вязкой несжимаемой жидкостью 2. Левый конец канала примыкает к полости, заполненной той же жидкостью с постоянным давлением, которое далее полагаем равным нулю. Изучаем осесимметричную задачу и вводим цилиндрическую систему координат $Oyr\theta$, начало которой в центре оси симметрии канала. Рассмотрим установившиеся вынужденные колебания торцевой стенки, обусловленные гармоническим законом вибрации основания, на котором установлен канал.

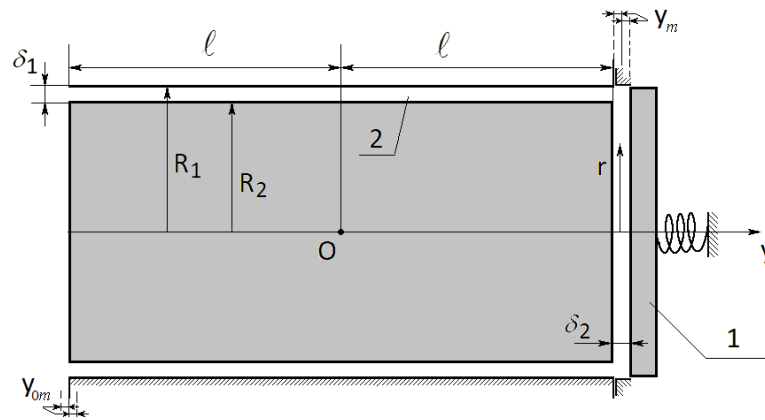


Рис. 1 – Кольцевой канал, имеющий торцевое уплотнение

Для узких зазоров движение вязкой жидкости является ползучим. В этом случае уравнения динамики для вязкой жидкости имеют вид [9]

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial y^2} - \frac{V_r}{r^2} \right), \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0.$$

Здесь V_y , V_r – проекции скорости жидкости на координатные оси, ρ – плотность жидкости, ν – кинематическая вязкость жидкости, p – давление.

Для кольцевой щели уравнения (1) имеют граничные условия

$$V_r = 0, \quad V_y = 0 \quad \text{при} \quad r = R_2, \quad V_r = 0, \quad V_y = 0 \quad \text{при} \quad r = R_1 = R_2 + \delta_1, \quad (2)$$

$$p = -\rho \ddot{y}_0 (y - \delta_2/2) \quad \text{при} \quad y = -\ell, \quad \int_{R_2}^{R_2+\delta_1} \int_0^{2\pi} V_y r d\theta dr = \pi R_2^2 \frac{dy}{dt} \quad \text{при} \quad y = \ell. \quad (3)$$

Здесь $\ddot{y}_0 = -y_{0m} \omega^2 \sin(\omega t) = -kg \sin(\omega t)$ – закон вибрации основания, где t – время, ω – круговая частота, y_{0m} – амплитуда вибраций основания, представленная как $y_{0m} = kg/\omega^2$, k – коэффициент виброперегрузки, g – ускорение свободного падения.

Для торцевого зазора уравнения (1) имеют граничные условия

$$V_r = 0, \quad V_y = 0 \quad \text{при} \quad y = \ell, \quad V_r = 0, \quad V_y = y_m \frac{df_y(\omega t)}{dt} \quad \text{при} \quad y = \ell + \delta_2 + y_m f_y(\omega t), \quad (4)$$

$$p = p^T \quad \text{при} \quad r = R_2, \quad r \frac{\partial p}{\partial r} = 0 \quad \text{при} \quad r = 0. \quad (5)$$

Здесь p^T – давление в сечении при переходе от кольцевого зазора к торцевому, $y_m f_y(\omega t)$ – закон движения торцевого диска.

Уравнение движения торцевого диска имеет вид

$$m \left(\frac{d^2 y}{dt^2} + \ddot{y}_0 \right) + ny = 2\pi \int_0^{R_2} p|_{y=\ell+\delta_2} r dr. \quad (6)$$

Здесь m – масса диска, n – жесткость подвеса диска.

Для кольцевого зазора введем следующие малые параметры и безразмерные переменные

$$\bar{\xi} = (r - R_2)/\delta_1, \quad \bar{\zeta} = y/\ell, \quad \tau = \omega t, \quad \psi_1 = \delta_1/R_2 \ll 1, \quad V_r = y_m \omega \bar{U}_{\bar{\xi}}, \quad \lambda_1 = y_m/\delta_1 \ll 1, \quad (7)$$

$$V_y = \frac{y_m \omega}{\psi_1} \sigma \bar{U}_{\bar{\zeta}}, \quad \sigma = \ell/R_2, \quad p = -\rho \ddot{y}_0 (y - \delta_2/2) + \frac{\rho y_m \omega}{\delta_2 \psi_1^2} \bar{P}.$$

Тогда, как принято в методе возмущений [10], подставляя (7) в (1)-(3) пренебрегая членами порядка ψ_1 , λ_1 , а затем решая линеаризованную задачу находим размерное давление в кольцевом зазоре

$$p = -\rho \ddot{y}_0(y - \delta_2/2) - \frac{\rho \nu y_m}{\delta_2 \psi_1^2} 6\sigma \frac{R_2}{\delta_1} \frac{df_y(\omega t)}{dt} (y/\ell + 1), \quad \sigma = \ell/R_2. \quad (8)$$

Принимая во внимание (8), для торцевого зазора вводим малые параметры и безразмерные переменные

$$\xi = r/R_2, \quad \zeta = (y - \ell)/\delta_2, \quad \tau = \omega t, \quad \lambda_2 = y_m/\delta_2 \ll 1, \quad \psi_2 = \delta_2/R_2 \ll 1, \quad V_y = y_m \omega U_\xi, \quad (9)$$

$$V_r = \frac{y_m \omega}{\psi_2} U_\xi, \quad p = -\rho \ddot{y}_0(y - \delta_2/2) - 12 \frac{\rho \nu y_m \omega}{\delta_1 \psi_1^2} \frac{\ell}{\delta_1} \frac{df_y(\tau)}{d\tau} + \frac{\rho \nu y_m \omega}{\delta_2 \psi_2^2} P.$$

Подставляя (9) в (1), (4)-(5) пренебрегая членами порядка ψ_2 , λ_2 , и решая линеаризованную задачу находим размерное давление в торцевом зазоре

$$p = -\rho \ddot{y}_0(y - \delta_2/2) - 12 \rho \nu y_m \left[\frac{1}{\delta_1 \psi_1^2} \frac{\ell}{\delta_1} \frac{df_y(\omega t)}{dt} + \frac{1}{\delta_2 \psi_2^2} \frac{df_y(\omega t)}{\partial t} \frac{1 - (r/R_2)^2}{4} \right]. \quad (10)$$

Учитывая (10) в (6), а затем решая его находим

$$y = \frac{kg(m^* + m) \sin(\omega t + \varphi(\omega))}{\sqrt{(n - m\omega^2)^2 + K^2 \omega^2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi(\omega) = \frac{K\omega}{m\omega^2 - n}, \quad m^* = \pi R_2^2 \rho (\ell + \delta_2/2), \quad (11)$$

$$K = \pi R_2^4 \rho \nu 12 \frac{\ell}{\delta_1} \frac{1}{\delta_1^3} + \pi R_2^2 \rho \nu \frac{12}{8} \frac{1}{\delta_2^3}.$$

Решение (11) определяет гидроупругую реакцию торцевого диска канала или его безразмерную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ)

$$A(\eta) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + D\eta^2}}, \quad (12)$$

$$\text{где } \eta = \omega/\sqrt{n/m}, \quad D = \pi R_2^4 \rho \nu 12 \left[\frac{\ell}{\delta_1} \frac{1}{\delta_1^3} + \frac{1}{8} \frac{1}{\delta_2^3} \right]^2 / mn.$$

Представленная выше математическая модель и построенная АЧХ, позволяют исследовать колебания торцевого уплотнения кольцевого канала и, в частности, определять его резонансные частоты колебаний и соответствующие им амплитуды колебаний торцевого уплотнения.

Список литературы

1. Lamb H. On the vibrations of an elastic plate in contact with water // Proc. Roy. Soc. A.-1921.-Vol. 98.-Pp.:205–216.
2. Amabili M., Kwak M.K. Free vibrations of circular plates coupled with liquids: revising the Lamb problem // Journal of Fluids and Structures.-1996.-Vol.10.-No 7.-Pp.743–761.
3. Morozov D., Indeitsev D., Michailov A. Added mass study of plane structures at their various motions // Materials Physics and Mechanics.-2019.-Vol. 41. No 1.-Pp.116–124.
4. Indeitsev D.A., Osipova E.V. Nonlinear effects in trapped modes of standing waves on the surface of shallow water // Technical Physics.- 2000.-Vol. 45. -No 12. Pp. 1513–1517.
5. Bochkarev S.A., Kamenskikh A.O., Lekomtsev S.V. Experimental investigation of natural and harmonic vibrations of plates interacting with air and fluid // Ocean Engineering. -2020. -Vol. 206. -10734.
6. Velmisov P.A., Ankilov A.V. Dynamic stability of plate interacting with viscous fluid // Cybernetics and Physics.- 2017. -Vol. 6.- No 4.- Pp. 262–270.
7. Могилевич Л.И., Попов В.С., Попова А.А. Продольные и поперечные колебания упругозакрепленной стенки клиновидного канала, установленного на вибрирующем основании // Проблемы машиностроения и надежности машин. -2018. -№ 3. -С. 28-36.
8. Попов В.С., Попова А.А. Моделирование взаимодействия стенки канала с упругозакрепленным торцевым уплотнением // Компьютерные исследования и моделирование. -2020. -Т. 12. -№ 2. -С. 387-400.
9. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. -М.: Дрофа, 2003.
10. Van Dyke M. Perturbation methods in fluid mechanics. -Stanford: Parabolic Press, 1975

1.2.2.

Е.Г. Царькова

Тверской государственный университет, математический факультет,
Тверь, university69@mail.ru,
Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт
Федеральной службы исполнения наказаний», НИЦ-1,
Москва

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТОЙ ВЕДОМСТВЕННЫХ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ОТ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Целью исследования является решение актуальной задачи построения оптимальной стратегии управления системой защиты от распространения компьютерных эпидемий в системах ситуационного управления интегрированными системами безопасности охраняемых объектов. В статье предложен аппарат математического моделирования для создания адаптивной системы сетевой защиты от кибератак с использованием гибридного подхода, использующего как классическое управление, так и нейроуправление на основе искусственной нейронной сети.

Ключевые слова: комплексная безопасность, ситуационное управление, интегрированная система безопасности, IP-видеонаблюдение, компьютерный вирус, оптимальное управление.

Для обеспечения комплексной защиты охраняемых объектов уголовно-исполнительной системы Российской Федерации (далее – УИС), предусматривается использование интегрированных систем безопасности (далее – ИСБ). Объединение подсистем ИСБ крупных объектов охраны регионального и федерального уровня обеспечивает возможность построения общей системы ситуационного управления ИСБ (далее – СУ ИСБ) для осуществления мероприятий по противодействию угрозам безопасности [1]. Несмотря на то, что целью автоматизированной системы ситуационного управления ИСБ является обеспечение безопасности охраняемых объектов, сама система подвержена различным угрозам, в том числе киберугрозам, реализация которых может привести к тому, что в любой непредсказуемый момент система СУ ИСБ не будет выполнять возложенные на нее задачи [2]. Отдельную группу деструктивных воздействий на системы специального назначения образуют заражения компьютерными вирусами. Разработка моделей распространения вирусов в системах СУ ИСБ и ее отдельных подсистемах является важным направлением и необходимым условием построения надежных систем безопасности. В данной работе исследуются математические модели распространения вирусов в системах СУ ИСБ, формулируется задача оптимального управления кибербезопасностью системы, в том числе для дальнейшего построения адаптивного управления на основе нейронной сети. При исследовании вопросов безопасности систем СУ ИСБ эффективным инструментом изучения является аналитическое моделирование вирусных эпидемий в компьютерных сетях [3]. Электронно-вычислительные средства, используемые в распределенных системах СУ ИСБ, представляют собой набор физических и виртуальных устройств, подключенных к единой информационно-телекоммуникационной сети передачи данных. Для описания динамики распространения компьютерных червей в такой системе используем детерминированную модель распространения эпидемии модели SIR [4].

В рассматриваемой модели различные сетевые узлы могут находиться в одном из трех состояний: чувствительный (s), зараженный (i), невосприимчивый (r); при этом $s+i+r=N$, где N – постоянное количество сетевых узлов. Полагаем, что сетевые узлы становятся невосприимчивыми только в том случае, если инфекция полностью излечена. Средством

предотвращения распространения эпидемии служит процесс «иммунизации» системы. Обозначим постоянную среднюю скорость «иммунизации», выполняемой в единицу времени, через γ , и введем обозначения: $I = \frac{i}{N}$, $R = \frac{r}{N}$, $S = \frac{s}{N}$.

Тогда процесс распространения эпидемии описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t), \quad \frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)S(t) - \gamma I(t), \quad \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t). \quad (1)$$

Значение γ является характеристикой задержки реакции специалиста по информационной безопасности на инцидент, β служит показателем улучшения технических характеристик сети и возможностей злоумышленника. Предполагая, что средняя частота иммунизации примерно одинакова, получаем: $\frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)(1 - R(t) - I(t)) - \gamma I(t)$, $\frac{dR(t)}{dt} = \gamma(1 - R(t))$.

Пусть α – скорость роста новых уязвимых узлов в системе СУ ИСБ. Тогда динамика поведения системы с переменным числом узлов описывается системой дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t) - (\gamma + \alpha)S(t) + \alpha, & S(0) = S_0, \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)S(t) - (\gamma + \alpha)I(t), & I(0) = I_0, \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma(1 - R(t)) - \alpha R(t), & R(0) = R_0, t \in [0, T]. \end{cases} \quad (2)$$

Условие развития эпидемии имеет вид: $S(t) > \frac{\gamma + \alpha}{\beta}$. Для построения системы защиты от деструктивных воздействий введем в рассмотрение управляющее воздействие, равное коэффициенту $\gamma(t)$, рассматривая его как кусочно-непрерывную функцию управления, при этом удовлетворяющую ограничению: $0 \leq \gamma(t) \leq Y_{\max}$, где $Y_{\max}$ – максимальная величина управляющего воздействия, характеризующая технические и экономические возможности компании по организации защиты информации системы СУ ИСБ. Целью управления в рассматриваемой задаче является минимизация функционала, выражающего количество узлов системы, невосприимчивых к инфекции в конечный момент времени T .

Полагая в качестве необходимого условие того, что большинство узлов системы (например, более 85%) в конечный момент времени устойчивы к заражению, мы получаем следующую задачу оптимального управления процессом защиты системы СУ ИСБ от вирусов следующего вида: требуется минимизировать функционал $J(\gamma) = A \max\{(0.85N(T) - R(T)), 0\}^2 \rightarrow \min$, где $N(T) = S(T) + I(T) + R(T)$ – количество хостов в системе СУ ИСБ на момент окончания рассматриваемого периода, $A > 0$ – коэффициент штрафа [5].

Для учета случайных явлений в модели и их компенсации вводим в рассмотрение управление системой с помощью искусственной нейронной сети [6]. Особенностью новой модели является то, что в ней рассматривается адаптивная система управления, в которой, помимо классического управления, используется нейроуправление, позволяющее корректировать стратегию управления при наличии дополнительных неучтенных случайных факторов, влияющих на построение оптимальной стратегии защиты системы от распространения деструктивных воздействий.

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} S(t) &= x_1(t), I(t) = x_2(t), R(t) = x_3(t), & S(0) &= x_1^0, I(0) = x_2^0, R(0) = x_3^0, \\ \beta_1(t, \gamma(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t)) &= -\beta x_2(t) - (\gamma(t) + \alpha)x_1(t) + \alpha, \\ \beta_2(t, \gamma(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t)) &= \beta x_2(t)x_1(t) - (\gamma(t) + \alpha)x_2(t), \\ \beta_3(t, \gamma(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t)) &= \gamma(t)(1 - x_3(t)) - \alpha x_3(t), t \in [0, T]. \end{aligned} \quad (3)$$

С учетом ввода в процесс искусственной нейронной сети (многослойного персептрона) динамика рассматриваемого объекта управления может быть описана системой дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) = & \beta_i(t, \gamma(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t)) + F_i \left(\sum_{j=1}^3 w_{ij}(t) x_j(t - h_j) - Q_i \right) + \\ & + G_i \left(\sum_{j=1}^3 w_{ij}(t) x_j(t) - \psi_i \right) + \sum_{j=1}^3 b_{ij}(t) u_j(t), \end{aligned} \quad (4)$$

где $i=1, \dots, 3$, $t \in [0, T]$, $w_{ij}(t)$ – веса искусственной нейронной сети (ИНС), $\sum_{j=1}^3 w_{ij}(t) x_j(t - h_j)$ – общее воздействие нейронной сети на нейрон с индексом i ; Q_i , ψ_i – заданные величины, в общем случае зависящие от времени. В предлагаемой постановке задачи $\beta_i(t, x_i(t))$ описывает динамику неконтролируемого процесса, $\sum_{j=1}^3 b_{ij}(t) u_j(t)$ является классическим управляющим воздействием, слагаемое $F_i \left(\sum_{j=1}^3 w_{ij}(t) x_j(t - h_j) - Q_i \right)$ вводит управление динамической системой посредством ИНС с запаздыванием, Q_i представляет собой сдвиг аргумента, а функция F_i является дифференцируемой функцией активации. При отсутствии запаздывания в управлении системой с помощью нейронной сети, используется функция активации $G_i \left(\sum_{j=1}^3 w_{ij}(t) x_j(t) - \psi_i \right)$, где ψ_i – значение сдвига аргумента.

Использование предложенного подхода позволяет построить модель управления кибербезопасностью для системы СУ ИСБ на основе машинного обучения с целью создания среды поддержки принятия решений для предотвращения и устранения киберугроз, что позволяет создать адаптивную систему защиты для обнаружения и подавления сетевых эпидемий на ранней стадии, обеспечивая возможность повышения надежности функционирования ведомственных систем СУ ИСБ.

Список литературы

1. Свистунов И. Ситуационный подход к управлению безопасностью объектов // Технологии защиты. 2015. №5.
2. Омельченко В.В. Информационное обеспечение системы государственного управления национальными ресурсами: риск-ориентированный подход // Правовая информатика, 2019, № 1. С. 4-17.
3. Churakov D., Tsarkova E., Vorotnikova T., Belyaev A. Optimal management of website under adverse impacts conditions. В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. 2020. С. 012113.
4. Семькина Н.А., Шавыкина И.В. Математическая модель защиты компьютерной сети от вирусов // Программные продукты и системы. 2016. № 4 (116).
5. Царькова Е.Г. Методы автоматизированного построения решения задачи оптимального управления ресурсом при обеспечении безопасности объектов // Научно-технический вестник Поволжья, 2022, № 3. С. 67-69.
6. Андреева Е.А., Цирулева В.М. Вариационное исчисление и методы оптимизации. М.: Высшая школа, 2006. 584 с.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ — 2.3.1.**

2.3.1.

Ю.Г. Жеглова

Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
институт цифровых технологий и моделирования в строительстве,
кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве,
Москва, uliagermanovna@yandex.ru

**РОБАСТНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Работа посвящена описанию робастного подхода и его применению для оценки эффективности возведения ограждающих конструкций нулевого цикла строительства. Робастные процедуры могут быть положены в основу системы поддержки принятия решений по выбору технического решения ограждающей конструкции нулевого цикла строительства. Применение данного подхода позволит упростить выбор организации для выполнения строительно-монтажных работ, сократить время на обоснование экономической эффективности возведения технического решения ограждающей конструкции и снизить трудоемкость проработки вариантов.

Ключевые слова: *ограждающие конструкции, нулевой цикл строительства, робастный подход, оценка эффективности возведения.*

В работе [1] разработана система поддержки принятия решений при выборе технических решений ограждающих конструкций нулевого цикла строительства. В рамках описанной в [1] системы на этапе реализации механизма «затраты-эффект» производится нахождение коэффициента экономической эффективности рассматриваемого технического решения. Формула для расчета данного коэффициента приводится в работе [2].

В рамках данной работы было принято решение применить робастный подход для оценки эффективности возведения ограждающей конструкции. Для того, чтобы определить затраты на возведение ограждающей конструкции нулевого цикла строительства C_i [2], была проведена оценка организаций, выполняющих строительно-монтажные работы по возведению ограждающих конструкций котлованов с применением робастных процедур.

Для обеспечения высокого качества обработки информации наблюдаемые данные необходимо обрабатывать по-разному в зависимости от способа их получения.

Эффективный алгоритм обработки данных зависит от того, что мы знаем о распределении вероятностей. Робастные статистические процедуры «близки» к оптимальным параметрическим процедурам, когда реальное распределение совпадает с известным и устойчиво сохраняет свои качества, пока истинное распределение находится в его окрестности.

Так же, как и качественный, количественный подход к определению робастности процедур основан на требовании, чтобы сколь угодно малые изменения в распределении наблюдений вызывали лишь достаточно малые изменения характеристик качества процедур. Для уточнения этого требования необходимо уточнить критерий качества процедуры и наложить определенные ограничения на ее поведение в рамках принятой супермодели, описывающей возможные изменения в распределении наблюдений.

Различные определения робастности связаны с определенными требованиями к ее поведению в рамках принятой супермодели [3].

Пусть интересующий нас параметр θ задан с помощью некоторого функционала $T(F)$, заданного на множестве $\mathfrak{F}$, т. е. $\theta = T(F)$, $F \in \mathfrak{F}$. Для данного параметра θ обозначим через $\mathfrak{N}$ множество допустимых функционалов. Далее, пусть определена идеальная модель F_0 и задана некоторая супермодель $\mathfrak{F}_\varepsilon(F_0) = \{F \in \mathfrak{F} : d_L(F, F_0) < \varepsilon\}$ и для любого $F \in \mathfrak{F}$ функционала $T(F) \in \mathfrak{N}$ рассмотрим последовательность оценок $\{T_n\}$ вида $T_n = T(F_n)$, $F_n \in \mathfrak{F}_\varepsilon$.

Мы предполагаем, что оценки T_n непротиворечивы ($T(F_n)$ сходится по вероятности к $T(F)$ когда $n \rightarrow \infty$) и асимптотически нормальны.

Формально условие $L\{\sqrt{n}[T_n - T(F)]/\sigma_F(T_n)\} = N(0, 1)$ выполняется при $n \rightarrow \infty$, где $\sigma_F^2(T_n)$ – асимптотическая дисперсия $\sqrt{n}T_n$ – оценки.

При этих предположениях определение робастности оценок T_n в рамках супермодели может осуществляться по таким количественным характеристикам, как асимптотическое смещение $T(F) - T(F_0)$ и асимптотическая дисперсия $D_F(T_n) = \sigma_F^2(T_n)/n$.

Зависимость между одними показателями $z_1, \dots, z_n$ и связанным с ними другим показателем x может быть выполнена в виде уравнения линейной регрессии

$$x = \theta_1 z_1 + \dots + \theta_n z_n + \xi \quad (1)$$

Оценки параметров $\theta_1, \dots, \theta_n$ обычно получают методом наименьших квадратов, заключающимся в решении задачи минимизации

$$\sum_{i=1}^N (x_i - \theta_1 z_{1i} - \dots - \theta_n z_{ni})^2 = \min_{\theta_1, \dots, \theta_n}, \quad (2)$$

то есть в выборе такого $\theta_1, \dots, \theta_n$, чтобы N наблюдаемых наборов $(x, z_1, \dots, z_n)$ обеспечивали наименьшее отклонение.

Решение задачи эквивалентно решению системы n линейных уравнений

$$\sum_{i=1}^N (x_i - \theta_1 z_{1i} - \dots - \theta_n z_{ni}) z_{ji} = 0 \quad (j = 1, \dots, n). \quad (3)$$

Предположим, что случайная величина ξ имеет распределение $P_\varepsilon(y) = (1 - \varepsilon)P(y) + \varepsilon H(y)$, в котором теоретическое и «загрязняющее» распределения $P(y)$ и $H(y)$ симметричны, т.е. $P(y) = 1 - P(-y)$, $H(y) = 1 - H(-y)$. Объединим все такие функции распределения P_ε в один класс K_ε . Если $P(y)$ – нормальная функция распределения, то модель грубых ошибок показывает ситуацию, когда приблизительно $(1 - \varepsilon)N$ отклонения ξ_i описываются нормальным законом, как и в классическом случае, и некоторые εN из них являются грубыми ошибками. Значение ε (интенсивность «загрязнения» или вероятность появления грубых ошибок) будем считать известным числом.

Возможным способом получения оценок, устойчивых к грубым ошибкам, является замена квадратичной функции, менее чувствительной к большим отклонениям ξ_i .

Для такого случая Хубер [3] предложил использовать разработанный им общий подход к оценке параметра местоположения для получения устойчивых оценок $\theta_1, \dots, \theta_n$ и решения задачи.

$$\sum_{i=1}^N F(x_i - \theta_1 z_{1i} - \dots - \theta_n z_{ni}) = \min_{\theta_1, \dots, \theta_n}, \quad (4)$$

с некоторой правильно выбранной функцией F . Эта задача сводится к решению системы уравнений (как правило, уже нелинейных)

$$\sum_{i=1}^N f(x_i - \theta_1 z_{1i} - \dots - \theta_n z_{ni}) z_{ji} = 0 \quad (j = 1, \dots, n), \quad (5)$$

где $f(u) = F'(u)$.

Подход Хубера носит оптимизационный минимаксный характер. Функция F определяется решением специальной экстремальной задачи – минимизации высшей асимптотической дисперсии в классе симметричных «загрязняющих» распределений.

В рамках рассматриваемого объекта были отобраны различные коммерческие предложения по возведению ограждающих конструкций (10 предложений для каждого типа конструкции). После применения робастного подхода и процедуры Хубера эти варианты оценивались, оценка проводилась с учетом предложенных технических решений выбранных ограждающих конструкций, а также количества ресурсов, необходимых для их реализации, продолжительности и трудозатрат на их возведение, а наиболее нерациональные варианты «отбрасывались». Далее из оставшихся вариантов было решено оставить один или два. Для этих вариантов затраты на возведение каждого технического решения ограждающей конструкции путем введения шкалы пересчета [2] были переведены в балльные оценки.

Для пересчета стоимости строительно-монтажных работ использовалась 10-балльная шкала. В таблице приведены минимальные затраты на возведение технических решений ограждающей конструкции рассматриваемого объекта в баллах:

Таблица – Затраты на реализацию технических решений по ограждающим конструкциям нулевого цикла строительства

	Стена в грунте	Ограждение из свай	Шпунтовое ограждение	Ограждение из свай с деревянной забиркой
Затраты на возведение (C_i)	6	7	8	4

Любое техническое решение ограждающей конструкции нулевого цикла строительства характеризуется как техническими характеристиками [4], так и стоимостью его возведения. Метод определения экономической эффективности строительно-монтажных работ основан на использовании робастных методик. При последовательном описании процесса оценки технического решения можно выделить два этапа - механизм активной экспертизы [5, 1] и механизм «затраты-эффект» [1]. Определение экономической эффективности проводят с учетом предложенных технических решений выбранных ограждающих конструкций, а также количества ресурсов, необходимых для их реализации, продолжительности и трудозатрат на их возведение. Применение робастных процедур к оценке эффективности возведения ограждающих конструкций нулевого цикла строительства позволит снизить трудоемкость проведения сметных работ, упростить выбор организации для проведения строительно-монтажных работ и сократить время на обоснование экономической эффективности проекта.

Список литературы

1. Жеглова Ю.Г. Система поддержки принятия решений по выбору ограждающих конструкций нулевого цикла строительства / Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – №1. – с. 23-25.
2. Жеглова Ю.Г. Методика расчета эффективности возведения ограждающих конструкций нулевого цикла строительства / Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – №9. – с. 21-23.
3. Смоляк С.А., Титаренко Б.П. Робастные методы оценивания // Статистика. – М., 1980. – 210 с.
4. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
5. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем // Наука. – М., 1977. – 255 с.

2.3.1.

**А.В. Запорожцев канд. техн. наук,
В.И. Хазова канд. техн. наук, В.И. Хазова канд. техн. наук**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
кафедра «Теоретическая и прикладная механика»,
wing10@yandex.ru, viverha@gmail.com, diplomla@mail.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СВЯЗНОСТЬ КАК СРЕДСТВО КОНКРЕТИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ СТЕЙКХОЛДЕРОВ

В статье рассматривается вопрос согласования требований различных стейкхолдеров к системе. Этот процесс осложняется тем, что формулировки требований, предъявляемых стейкхолдерами, очень часто обобщенны, не конкретны, в них отсутствует объект, воздействуя на который можно достичь желаемого результата. Для исключения этой особенности предлагается использовать функциональную связность деятельности различных стейкхолдеров, которая может быть выявлена в процессе анализа модели системы.

Ключевые слова: *стейкхолдер, требование, формулировка требований, улучшение процесса, модернизация, целевая система.*

Одной из основных задач управления процессами предприятия является их постоянное улучшение, вызванное необходимостью постоянного поддержания конкурентоспособности и повышения удовлетворенности клиентов и конечных потребителей. Существует несколько подходов к улучшению процессов: BPR, TOC, Lean и др. Каждый из них имеет свои особенности, преимущества и недостатки.

Для улучшения процессов можно применять системный подход. Принципиальным отличием системного подхода к улучшению производственных процессов является использование понятия «требования стейкхолдеров» [1] как основы разработки проекта модернизации процесса. В данном подходе упор делается на рассмотрение взаимосвязанной совокупности функций, связанных с проблемой, по которой инициирован проект модернизации (рис. 1).

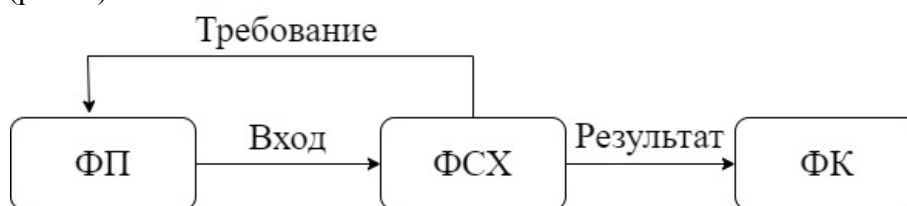


Рис. 1 – Модель контекста требования стейкхолдера: ФП – функция-поставщик; СХ – функция-стейкхолдер; ФК – функция-клиент

Однако возникает вопрос: как выявлять стейкхолдеров и их требования, если каждый стейкхолдер воспринимает систему субъективно, и объединить эти субъективные требования в общее представление (архитектуру) системы довольно проблематично?

Согласно [2] требования стейкхолдеров должны формулироваться исключительно по согласованной модели существующей системы в виде утверждений, основанных на функциях модели. Развивая этот вывод, предлагается выделять в модели деятельности взаимосвязанную последовательность функций, относящихся к той проблеме, устранение признаков которой (нежелательных явлений – НЖЯ) является целью проекта улучшений.

Первоначально необходимо выделить в деятельности использующую систему (ИС) – совокупность процессов, включающую тот процесс, который рассматривается как основной источник НЖЯ. Процесс-источник НЖЯ при этом – целевая система (ЦС), которую требуется модернизировать. Принципиально важно не сосредотачивать внимание

исключительно на целевой системе (ЦС), так как это может привести к локальным улучшениям, которые не решат проблему. Только рассматривая всю взаимосвязанную совокупность процессов, можно наиболее полно определить требования к ЦС (рис. 2).



Рис. 2 – Связи в системном окружении целевой системы

Для анализа всей совокупности функций ИС необходимо построить ее функциональную модель «как есть» в стандарте IDEF0 (SADT) [3], анализ которой позволит выявить взаимосвязь функций.

На диаграмме A0 (рис. 3) должно быть представлено системное окружение ЦС. Проблему и построенную модель системного окружения необходимо проверить на соответствие – все ли процессы включены в модель, нет ли процессов, которые не соответствуют проблеме.

Чаще всего, проблемы возникают на стыке между функциями, когда результат деятельности одной функции не удовлетворяют стейкхолдера другой функции. Для выявления этих функций необходимо провести анализ функциональной модели «как есть» с точки зрения установления взаимосвязи между функциями.

Как уже было сказано ранее, для выявления стейкхолдеров и их требований важным аспектом является функциональная связанность между процессами целевой системе (ЦС) и системах в операционном окружении (СОО) (рис. 4). Однако эти связи проходят через границы систем и в обычном функциональном подходе в явном виде не показываются, что создает иллюзию относительной независимости систем/подсистем друг от друга.

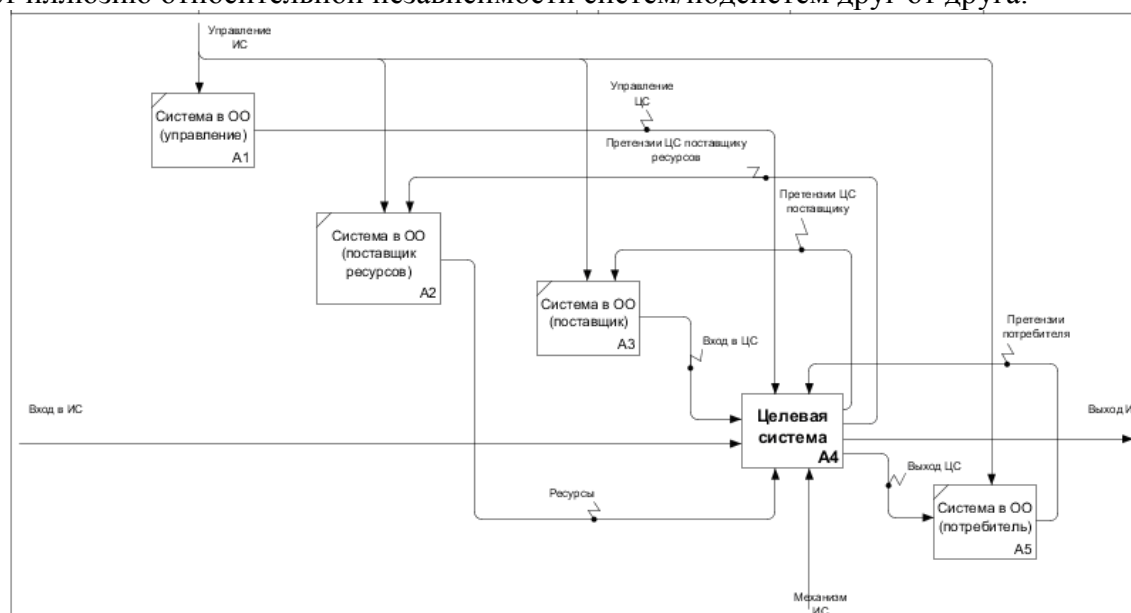


Рис. 3 – Модель системного окружения целевой системы (использующая система)

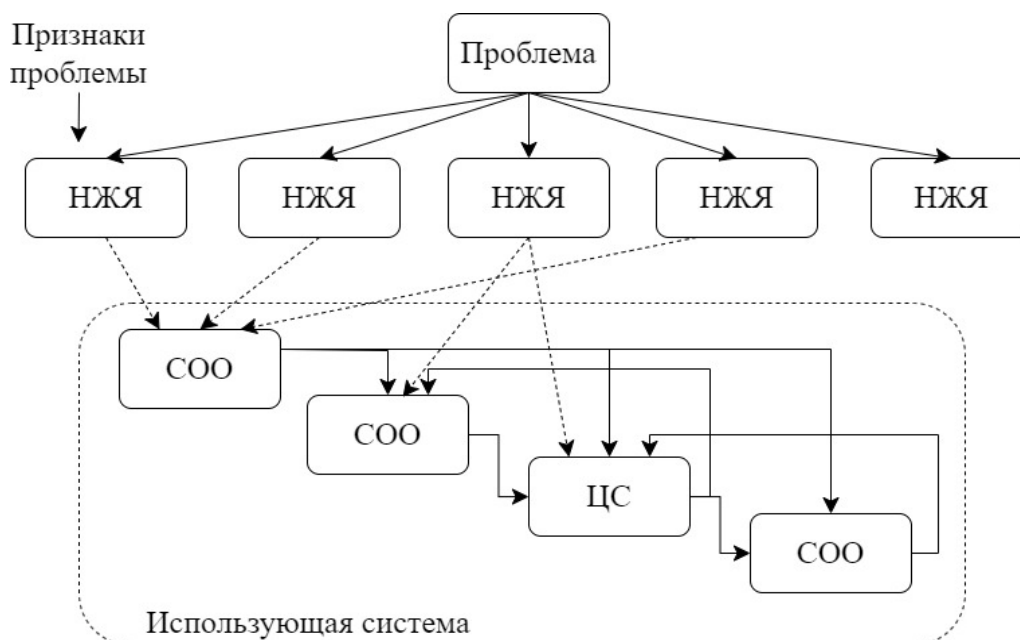


Рис. 4 – Связь проблемы с системным окружением целевой системы СОО

Это затрудняет выявление требований стейкхолдеров, провоцируя формулировки требований в обобщенном виде. Наглядное отображение взаимосвязи функций в разных системах/подсистемах позволяет конкретизировать требования стейкхолдеров.

Для реализации принципа взаимосвязанности процессов в разработки требований, рекомендуется такую взаимосвязь показывать в виде таблицы (табл.1).

Таблица 1 – Таблица связей функций с проблемой

Номер ФП	ФП	Связь	Номер ФСХ	ФСХ	Результат	СХ	НЖЯ
1	2	3	4	5	6	7	8
A111			A112				
A112			A113				
Annn							

В этой таблице необходимо указать все функции модели в порядке их нумерации. Функции A0, A1 – An указывать в таблице не нужно, так как эти функции соответствуют процессу, а задачей является выявление требования стейкхолдеров, выполняющих отдельные функции.

В таблице приняты следующие обозначения:

- Номер ФП – номер функции-поставщика (блок, из которого выходит стрелка (связь));
- ФП – название функции-поставщика;
- Связь – объект связи (название стрелки);
- Номер ФСХ – номер функции-стейкхолдера (блок, в который входит стрелка (связь));
- ФСХ - название функции-стейкхолдера;
- Результат – результат выполнения функции-стейкхолдера;
- СХ – роль в деятельности (стейкхолдер);
- НЖЯ (признак проблемы) – описание нежелательного явления как признака проблемы.

Каждая строка таблицы соответствует отдельной связи между двумя функциями модели деятельности. Та функция, которая поставяет результат своей деятельности другой функции, называется функцией-поставщиком, а та функция, которая получает это результат – функцией-стейкхолдером. Это позволит в дальнейшем формулировать требования стейкхолдера к функции-поставщику.

После заполнения всех строк таблицы функциями из функциональной модели «как есть» можно приступить к анализу этой таблицы с целью выявления таких функций, выполнение которых создает ту проблему, которая решается в ходе модернизации ЦС. Анализ таблицы необходимо проводить с учетом дерева проблем и выявлять те строки таблицы, в которых выполнение функций связано с НЖЯ. После заполнения столбца НЖЯ необходимо проверить, для всех ли НЖЯ найдены функции, которые с ними связаны. Если таких функций не найдено, то необходимо вернуться к разработке модели и выявить такие функции. Для выявления функций необходимо проанализировать формулировку НЖЯ и выявить в ней объекты и действия. В ходе анализа таблицы могут быть выявлены и дополнительные НЖЯ.

После построения табл. 1 необходимо перейти к разработке требований стейкхолдеров и предложений по модернизации целевой системы. Для этого в табл.1 необходимо добавить столбцы «Требование» и «Предложение», в котором описывается суть предложения по модернизации данной функциональной связи.

Таблица 2 – Требования и предложения

Номер ФП	ФП	Связь	Номер ФСХ	ФСХ	СХ	НЖЯ	Требование	Предложение

Анализируя каждое отдельное требование необходимо решить, как это требование может быть выполнено. Если есть несколько вариантов предложения, необходимо зафиксировать их все. Решение может касаться изменения как самой функции-поставщика, так и используемой практики и уточнения содержания связи. Например, если от функции-поставщика передается некий «документ», то предложение может формулироваться так: «Добавить в документ следующую информацию...». Предложение может касаться не только функции-поставщика, но и модели в целом в случае введения или исключения одной или нескольких функций.

После окончания работы с предложениями необходимо перейти к построению новой функциональной модели «как должно быть». При построении новой функциональной модели необходимо учитывать те предложения, которые были определены в табл.2. Разработка новой функциональной модели может выявить необходимость откорректировать предложения. После согласования новой модели с табл.2 составляется описание всех изменений в функциональной модели.

Список литературы

1. *Левенчук А.* Системное мышление: Учебник / А. Левенчук. – Бостон-Ульдинген-Киев: Проект «Баловство», Толиман, 2019. – 534 с.
2. *Запорожцев А.В.* Использование модели системы в работе с требованиями // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020 – №3. – С. 36-41.
3. *Марка Д.А.* Методология структурного анализа и проектирования: [Пер. с англ.] / Дэвид А. Марка, Клемент Л. МакГоуэн; Предисл. Д. Т. Росса. - М.: Фирма «Мета Технология», 1993. - 240 с.

2.3.1.

Н.И. Зонов канд. техн. наук, Д.В. Моисеев канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
кафедра 604 «Системный анализ и управление»,
navicontr@mail.ru, moiseev801@mail.ru

**АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ V. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И АСТРОИЗМЕРЕНИЙ**

Приведён сравнительный анализ результатов имитационного моделирования процессов навигации геостационарного КА (ГКА) с использованием спутниковых навигационных систем (СНС) и астроизмерений. Проведённый анализ может быть полезен разработчикам программно-математического обеспечения (ПМО) для выбора конкретной конфигурации системы автономной навигации (САН) ГКА.

Ключевые слова: спутниковые навигационные системы, численное имитационное моделирование, случайные и неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентные алгоритмы оценивания.

Введение

Данная статья подводит итог серии из четырёх статей, посвященных проблемам автономной навигации ГКА [1 – 4]. В работах [1, 3] рассмотрены математическая модель эволюции вектора состояния ГКА и математическая модель автономных наблюдений. Эти модели предназначены для решения задач автономной навигации ГКА с использованием СНС [1] и с использованием астроизмерений [3]. На основе указанных моделей проведено численное имитационное моделирование (ЧИМ) процессов навигации ГКА. Полученные результаты ЧИМ с использованием СНС и астроизмерений приведены соответственно в работах [2, 4].

В данной работе приведён сравнительный анализ результатов моделирования процессов автономной навигации ГКА и структура рекуррентного алгоритма оценивания, адаптивного к разнородным (случайным и неопределённым) неконтролируемым факторам.

1. Сравнение предельных ошибок оценок положения и скорости по результатам численного имитационного моделирования процессов навигации ГКА

Сравним результаты ЧИМ процессов навигации ГКА с использованием СНС и астроизмерений с точки зрения точности оценок вектора состояния ГКА. Для этого рассмотрим графики утроенных значений средних квадратических отклонений ошибок оценок положения Δr (рис. 1) и скорости Δv (рис. 2) центра масс ГКА [2, 4]

$$\Delta r = |x^{[1:3]} - \hat{x}^{[1:3]}|; \quad \Delta v = |x^{[4:6]} - \hat{x}^{[4:6]}|. \quad (1)$$

В соотношениях (1) $x, \hat{x} \in \mathbb{R}^6$ – вектор состояния и его оценка; запись $q^{[\alpha:\beta]}$ обозначает сечение вектора $q \in \mathbb{R}^n$

$$q^{[\alpha:\beta]} = \|q_k (k = \overline{\alpha, \beta})\| \quad (\alpha \leq \beta \leq n; \quad q^{[\alpha:\beta]} \in \mathbb{R}^{\beta-\alpha+1}). \quad (2)$$

ЧИМ процессов навигации с использованием СНС и астроизмерений проводилось по схемам, приведенным в работах [2, 4]. При использовании СНС за измерения принимались дальности между ГКА и навигационными КА, в зону радиоизлучения которых попадал ГКА [1, 2]. В качестве астроизмерений были выбраны угол «Солнце – ГКА – Земля» и углы «Звезда – ГКА – Земля», включающие «Полярную звезду», «Сириус», «Канопус» [3, 4].

Измерения дальностей (СНС) и углов (астроизмерения) при моделировании процессов навигации загроулялись (искажались) по каждой компоненте неопределёнными погрешностями, в виде гармоник со случайными значениями периодов колебаний и

начальных фаз, а также случайными погрешностями (шумами) в виде центрированных, независимых по времени векторов с заданными СКО. Амплитуды колебаний для неопределённых погрешностей принимались равными соответственно 90 м (СНС) и 30 угловым секундам (астроизмерения), а значения СКО шумовых составляющих погрешностей равными соответственно 1.5 м и 10 угловым секундам. Дискретность моделирования Δt равнялась 60 с.

Для более детального сопоставления результатов ЧИМ с использованием СНС и астроизмерений в таблицах 1, 2 приведены численные значения утроенных СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА, взятые в начале, и середине и в конце отрезка моделирования.

Таблица 1 – Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА

Время t , с	0.0	43 200.0	86 400.0
СНС, $3\sigma_{\Delta r}$, м	150 000.0	82.4	36.7
Астроизмерения, $3\sigma_{\Delta r}$, м	150 000.0	7570.0	1671.5

Таблица 2 – Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА

Время t , с	0.0	43 200.0	86 400.0
СНС, $3\sigma_{\Delta v}$, м/с	150.0	0.0066	0.0027
Астроизмерения, $3\sigma_{\Delta v}$, м/с	150.0	0.084	0.058

Графики зависимости от времени численных значений утроенных СКО ошибок оценок положения и скорости ГКА приведены на рис. 1 и рис. 2, соответственно.

Приведённые результаты демонстрируют, что в принятых условиях проведения численного имитационного моделирования процессов автономной навигации ГКА проявляется неоспоримое преимущество радионавигационной САН над СНС, использующей астроизмерения, если исходить из точности решения задачи навигации.

Такой вывод, сделанный на основании результатов, полученных по одной реализации ЧИМ, мог бы показаться сомнительным. Поэтому авторы не стали повторять здесь результаты работ [2, 4], полученные по одной реализации ЧИМ, а обновили их, усреднив 100 различных реализаций ЧИМ процесса автономной навигации ГКА.

С другой стороны, в работах [1 – 4] рассмотрены далеко не все методы и алгоритмы астроизмерений, используемые для автономной навигации космических аппаратов. Из последних публикаций, по данной тематике, большой интерес представляют работы учёных ВКА им. А.Ф. Можайского (г. Санкт–Петербург) [5 – 9]. Как отмечено в работе [9], актуальность разработки САН с использованием астроизмерений обосновывается «...повышенной надёжностью, помехозащищённостью, живучестью, скрытностью и малыми весогабаритными характеристиками требуемых измерителей», что стимулирует дальнейшее развитие астроизмерительной навигации. Результаты моделирования процессов навигации, полученные на основе «Метода виртуальных измерений зенитных расстояний звёзд» (ВИЗРЗ) [9], не только не уступают, но и превосходят по точности результаты решения задачи автономной навигации ГКА с использованием СНС. Обработка астроизмерений при этом проводилась, в отличие от работ [1 – 4], по полной выборке методом наименьших квадратов.

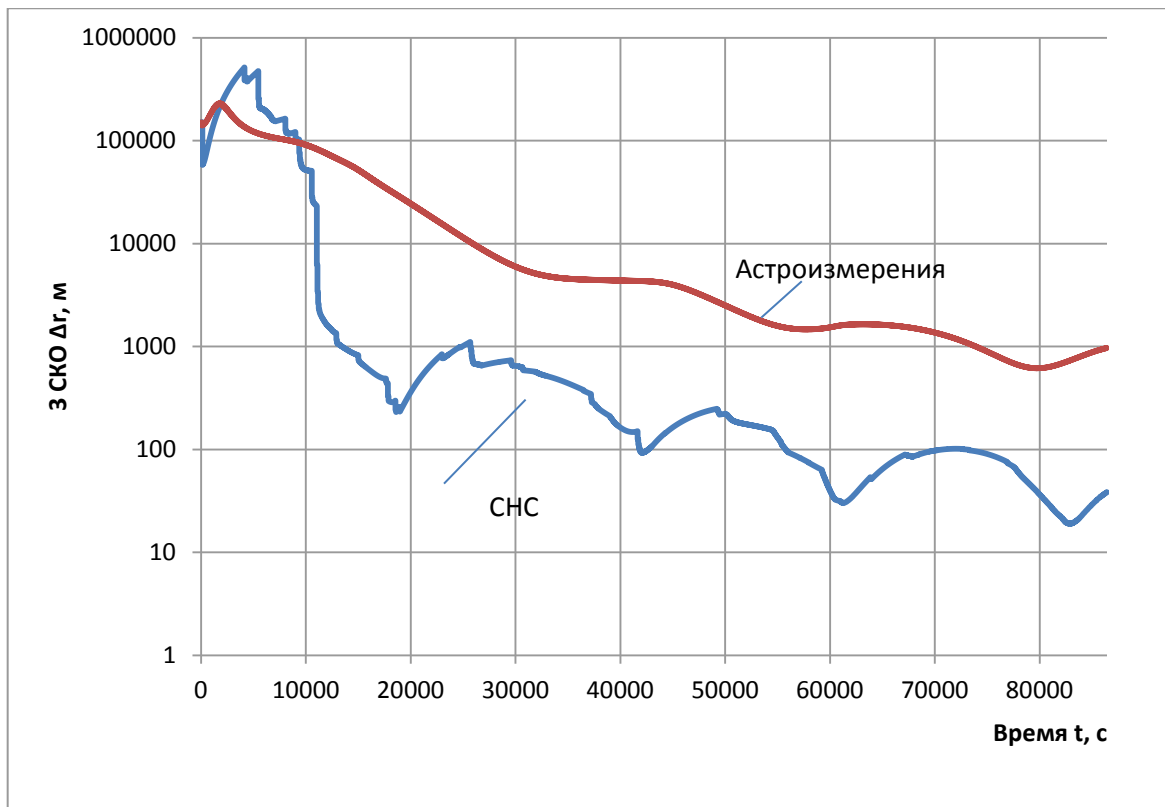


Рис. 1 – Утроенные СКО ошибок оценок положения

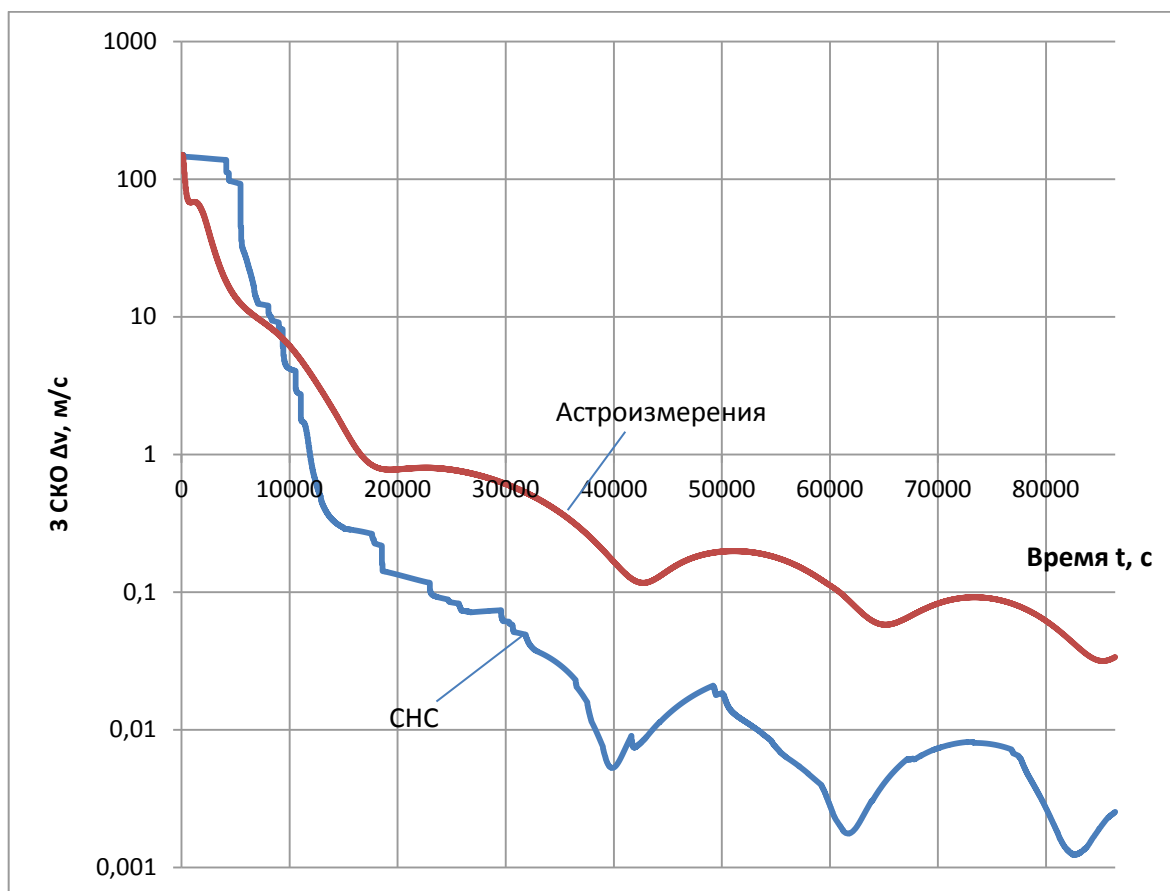


Рис. 2 – Утроенные СКО ошибок оценок скорости

В рамках рассматриваемого подхода [3, 4] представляет интерес существование условий, при выполнении которых астроизмерения могут стать равноправной заменой измерениям дальностей в смысле точности оценок. Очевидно, что повышение точности навигационных определений следует ожидать, прежде всего, от повышения точности астроизмерений.

Действительно, как показывает ЧИМ процессов автономной навигации, отмеченная замена возможна, если точность астроизмерений повысить на два порядка (в 100 раз), см. табл. 3, 4. Понятно, что полученные результаты ЧИМ при указанном условии интересны в основном с теоретической точки зрения, поскольку достижение такой точности астроизмерений с помощью солнечного и звёздного датчиков затруднительно. Возможно, требуемые точности измерений обеспечивают оптико-электронные приборы.

Таблица 3 – Утроенные СКО ошибок оценок положения ГКА при увеличении точности астроизмерений в 100 раз

Время t , с	0.0	43 200.0	86 400.0
Астроизмерения, $3\sigma_{\Delta r}$, м	150 000.0	83.2	16.4

Таблица 4 – Утроенные СКО ошибок оценок скорости ГКА при увеличении точности астроизмерений в 100 раз

Время t , с	0.0	43 200.0	86 400.0
Астроизмерения, $3\sigma_{\Delta v}$, м/с	150.0	0.0023	0.00055

2. Структура рекуррентного алгоритма оценивания

Приведём соотношения структуры обобщенного рекуррентного байесовского алгоритма оценивания (ОРБА), разработанного в рамках Единого подхода к построению алгоритмов оценивания адаптивных к разнородным (случайным и неопределенным) неконтролируемым факторам (НФ) [10 – 12], использованного для численного имитационного моделирования процессов автономной навигации ГКА.

Характерная особенность данного алгоритма – свойство сохранять устойчивость (достоверность) процесса оценивания в условиях влияния на него разнородных, как случайных, так и неопределенных НФ. Под достоверностью здесь понимается вероятностное соответствие ошибок оценок их матрицам ковариаций.

В соответствии с положениями Единого подхода [10 – 12], алгоритм оценивания (фильтрации) разделяется на структуру (оболочку) алгоритма и на алгоритмы определения априорных статистических характеристик неконтролируемых факторов и оптимального значения параметра фильтра $\hat{V}_i^k$ (см. ниже).

В рамках данной работы приведем только соотношения структуры алгоритма фильтрации:

$$\hat{x}_i = f_i(\hat{x}_{i-1}^0) + \Phi_i(\hat{x}_{i-1}^* - \hat{x}_{i-1}^0) + \hat{c}_i + \delta \hat{f}_i; \quad (3)$$

$$P_i = \Phi_i P_{i-1} \Phi_i^T + F_i + F_i^T + P_{c_i} + P_{f_i} + D_{\xi_i}; \quad (4)$$

$$F_i = \Phi_i (P_{xc_i} + P_{xf_i}); \quad (5)$$

$$\Phi_i = \left(\frac{\partial f_i(x_{i-1})}{\partial x_{i-1}} \right)^T_{x_{i-1}=\hat{x}_{i-1}^0}; \quad (6)$$

$$x_i^{(k)} = x_i^{(k-1)} + A_i^k Q_{k_i} \Delta y_{k_i}; \quad (7)$$

$$s_i^{(k)} = s_i^{(k-1)} + B_i^k Q_{k_i} \Delta y_{k_i}; \quad (8)$$

$$\delta g_i^{(k)} = \delta g_i^{(k-1)} + C_i^k Q_{k_i} \Delta y_{k_i}; \quad (9)$$

$$P_i^{(k)} = P_i^{(k-1)} - \overset{0}{A_i} Q_{k_i} A_i^{kT} - \overset{0}{A_i^k} Q_{k_i} \overset{0}{A_i^T} + \overset{0}{A_i^k} Q_{k_i} R_{k_i} Q_{k_i} A_i^{kT}; \quad (10)$$

$$P_{s_i}^{(k)} = P_{s_i}^{(k-1)} - \overset{0}{B_i} Q_{k_i} B_i^{kT} - \overset{0}{B_i^k} Q_{k_i} \overset{0}{B_i^T} + \overset{0}{B_i^k} Q_{k_i} R_{k_i} Q_{k_i} B_i^{kT}; \quad (11)$$

$$P_{g_i}^{(k)} = P_{g_i}^{(k-1)} - \overset{0}{C_i} Q_{k_i} C_i^{kT} - \overset{0}{C_i^k} Q_{k_i} \overset{0}{C_i^T} + \overset{0}{C_i^k} Q_{k_i} R_{k_i} Q_{k_i} C_i^{kT}; \quad (12)$$

$$P_{xs_i}^{(k)} = P_{xs_i}^{(k-1)} - \overset{0}{A_i} Q_{k_i} B_i^{kT} - \overset{0}{A_i^k} Q_{k_i} \overset{0}{B_i^T} + \overset{0}{A_i^k} Q_{k_i} R_{k_i} Q_{k_i} B_i^{kT}; \quad (13)$$

$$P_{xg_i}^{(k)} = P_{xg_i}^{(k-1)} - \overset{0}{A_i} Q_{k_i} C_i^{kT} - \overset{0}{A_i^k} Q_{k_i} \overset{0}{C_i^T} + \overset{0}{A_i^k} Q_{k_i} R_{k_i} Q_{k_i} C_i^{kT}; \quad (14)$$

$$P_{sg_i}^{(k)} = P_{sg_i}^{(k-1)} - \overset{0}{B_i} Q_{k_i} C_i^{kT} - \overset{0}{B_i^k} Q_{k_i} \overset{0}{C_i^T} + \overset{0}{B_i^k} Q_{k_i} R_{k_i} Q_{k_i} C_i^{kT}; \quad (15)$$

$$\Delta y_{k_i} = y_{k_i} - g_{k_i} \left(\overset{0}{x}_i \right) - H_i^{[k]} \left(x_i^{(k-1)} - \overset{0}{x}_i \right) - s_{k_i}^{(k-1)} - \delta g_{k_i}^{(k-1)}; \quad (16)$$

$$R_{k_i} = H_i^{[k]} P_i^{(k-1)} H_i^{[k]T} + 2H_i^{[k]} \left(P_{xs[k]i}^{(k-1)} + P_{xg[k]i}^{(k-1)} \right) + 2P_{sgkk_i}^{(k-1)} + \\ + P_{s_{kk_i}}^{(k-1)} + P_{g_{kk_i}}^{(k-1)} + D_{\eta_{k_i}}; \quad (17)$$

$$Q_{k_i}^{-1} = H_{[k]i}^k A_i^k + B_{k_i}^k + C_{k_i}^k + D_{\eta_{k_i}} = \\ = R_{k_i} + \left(H_i^{[k]} - H_i^{[k]} \right) \overset{0}{A}_i + \left(B_i - P_{sg[k]i}^{(k-1)} \right)^T \hat{V}_i^k - \overset{0}{B}_{k_i} + P_{sgkk_i}^{(k-1)}; \quad (18)$$

$$\overset{0}{A}_i = P_i^{(k-1)} H_i^{[k]T} + P_{xs[k]i}^{(k-1)} + P_{xg[k]i}^{(k-1)}; \quad (19)$$

$$\overset{0}{B}_i = P_{xsi}^{(k-1)T} H_i^{[k]T} + P_{s[k]i}^{(k-1)} + P_{sg[k]i}^{(k-1)}; \quad (20)$$

$$\overset{0}{C}_i = P_{xgi}^{(k-1)T} H_i^{[k]T} + P_{g[k]i}^{(k-1)} + P_{sg_i}^{(k-1)[k]T}; \quad (21)$$

$$A_i^k = P_i^{(k-1)} H_i^{k[k]T} + P_{xsi}^{(k-1)} \hat{V}_i^k + P_{xg[k]i}^{(k-1)}; \quad (22)$$

$$B_i^k = P_{xsi}^{(k-1)T} H_i^{k[k]T} + P_{si}^{(k-1)} \hat{V}_i^k + P_{sg[k]i}^{(k-1)}; \quad (23)$$

$$C_i^k = P_{xgi}^{(k-1)T} H_i^{k[k]T} + P_{g[k]i}^{(k-1)} + P_{sg_i}^{(k-1)[k]T}; \quad (24)$$

$$H_i^k = \left(\frac{\partial g_i(x_i)}{\partial x_i} \right)_{x_i=x_i^{(k)}}^T; \quad (25)$$

$$\hat{V}_i^k = \operatorname{argmin}_{V_i^k \in \mathbb{R}^m} J(V_i^k); \quad (26)$$

$$x_i^{(0)} = \hat{x}_i; x_i^{(m)} = \overset{*}{x}_i; P_i^{(0)} = P_i; P_i^{(m)} = \overset{*}{P}_i; s_i^{(0)} = \hat{s}_i; \quad (27)$$

$$P_{si}^{(0)} = P_{si}; P_{gi}^{(0)} = P_{gi}; \delta g_i^{(0)} = \delta \hat{g}_i; \quad (28)$$

$$P_{xsi}^{(0)} = P_{xsi}; P_{xgi}^{(0)} = P_{xgi}; P_{sg_i}^{(0)} = P_{sg_i}; \quad (29)$$

$$i = 1, 2, \dots; k = \overline{1, m}.$$

В соотношениях (3 – 29) для каждого момента t_i :

$\hat{x}_i, \overset{*}{x}_i, P_i, \overset{*}{P}_i, \overset{0}{x}_i$ – соответственно априорная и апостериорная оценки вектора состояния x_i , полученные на основании выборки из i векторов наблюдений $\{y_1, y_2, \dots, y_i\}$, и матрицы ковариаций этих оценок, а также опорное значение вектора состояния, в качестве которого могут быть его оценки на предыдущем шаге априорного или апостериорного оценивания;

$\hat{c}_i, \hat{s}_i, P_{c_i}, P_{s_i}$ – априорные математические ожидания и матрицы ковариаций ошибок линеаризации моделей эволюции c_i и наблюдений s_i ;

Φ_i, H_i – матрицы коэффициентов линеаризации принятых функций эволюции и наблюдений в окрестности опорного значения вектора состояния;

$\delta y_{k_i}, R_{k_i}$ – невязка k – ой компоненты вектора наблюдений и ее дисперсия.

Верхним индексом (k) отмечены параметры, соответствующие обработке очередной k – й ($k = \overline{1, m}$) компоненты вектора наблюдений $y_i \in \mathbb{R}^m$.

Записи вида $H_{[k]i}$ и $H_i^{[k]}$ использованы для обозначения k – го столбца и k – й строки матрицы H_i соответственно.

Реализация алгоритмов оценивания, имеющих структуру ОРБА, предполагает определение матрицы $H_i^{[k]}$ (25) частных производных, вычисленных в окрестности апостериорной оценки $x_i^{(k)}$, что требует сначала получить первое приближение апостериорной оценки $x_i^{(k)}$ вектора состояния.

Это первое приближение апостериорной оценки получается заменой матрицы H_i^k на матрицу H_i частных производных, вычисленную в окрестности априорной оценки вектора состояния $x_i^{(0)} = \hat{x}_i$. (см. граничное условие (27)), при этом скалярный параметр $\hat{V}_i^k$ (26) принимает нулевое значение.

Соотношения (3 – 29) не являются конкретным рекуррентным алгоритмом оценивания, они определяют параметрическое семейство фильтров, записанных с точностью до параметра $\hat{V}_i^k \in \mathbb{R}^m$ и следующих априорных статистических характеристик НФ: $\hat{c}_i, P_{c_i}, P_{xc_i}, P_{xf_i}, \hat{s}_i, P_{s_i}, P_{xs_i}, P_{xg_i}, P_{sg_i}$.

Таким образом, для построения конкретного алгоритма фильтрации на основе (3 – 29) необходимо:

1. Определить параметр $\hat{V}_i^k$, исходя из безусловной минимизации критерия $J(V_i^k)$, представляющего собой условную (байесовскую) плотность распределения апостериорной оценки вектора состояния относительно расширенного вектора наблюдений, включающего в себя текущий вектор наблюдений и все предыдущие наблюдения.

2. Построить алгоритмы определения вышеуказанных априорных статистических характеристик НФ. Для определения априорных статистических характеристик ошибок линеаризации модели эволюции $\hat{c}_i \in \mathbb{R}^n, P_{c_i} \in \mathbb{R}^{n \times n}, P_{xc_i} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ и модели наблюдений $\hat{s}_i \in \mathbb{R}^m, P_{s_i} \in \mathbb{R}^{m \times m}, P_{xs_i} \in \mathbb{R}^{n \times m}$ использован метод полиномиальной аппроксимации второго порядка функций эволюции и наблюдений [11]. Здесь $\hat{c}_i$ – математическое ожидание ошибки линеаризации функции эволюции $f_i(x_{i-1})$; P_{c_i} – матрица ковариаций ошибки линеаризации функции эволюции; P_{xc_i} – матрица взаимных ковариаций вектора состояния с ошибкой линеаризации c_i ; $\hat{s}_i$ – математическое ожидание ошибки линеаризации функции наблюдений $g_i(x_i)$; P_{s_i} – матрица ковариаций ошибки линеаризации функции наблюдений; P_{xs_i} – матрица взаимных ковариаций вектора состояния с ошибкой линеаризации s_i .

Определение матриц ковариаций $P_{xf_i} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ основано на максимизации следа априорной матрицы ковариаций оцениваемого вектора [11]. Матрицы ковариаций P_{xg_i} в алгоритме обработки наблюдений определяются исходя из максимизации дисперсии невязки наблюдений [11]. Это простейшие из возможных алгоритмов определения матриц ковариаций P_{xf_i} и P_{xg_i} .

Заключение

Отметим результаты, полученные в работах [1 – 4] и в данной работе:

- сформирована математическая модель движения центра масс ГКА в системе координат J2000 с учётом нецентральности гравитационного поля Земли, гравитационных воздействий Луны и Солнца, светового давления;
- на основе сформированной модели движения ГКА построена математическая модель эволюции вектора состояния ГКА;
- построена математическая модель наблюдений (измерений дальности ГКА – навигационный КА) для систем автономной навигации с использованием спутниковых навигационных систем (СНС) GPS, ГЛОНАСС, Galileo;
- построена математическая модель наблюдений для систем автономной навигации с использованием астроизмерений (углов Солнце – ГКА – Земля, Звезда – ГКА – Земля относительно звёзд «Полярная», «Сириус», «Канопус»);
- построены математические модели ошибок, искажающих наблюдения, в виде смешанных неопределённых (в статистическом смысле) и случайных неконтролируемых факторов;
- разработаны схемы ЧИМ процессов автономной навигации с использованием СНС и астроизмерений;
- в соответствии с построенными математическими моделями эволюции вектора состояния, наблюдений, ошибок наблюдений и разработанными схемами ЧИМ на основе ОРБА на суточном отрезке получены результаты моделирования процессов навигации с использованием СНС и астроизмерений.

Полученные результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы.

1. Во всех реализациях процессов автономной навигации ошибки оценок вектора состояния не превышали их утроенных средних квадратических отклонений. Иными словами, процессы рекуррентного оценивания были достоверными (устойчивыми), несмотря на нелинейности математических моделей эволюции вектора состояния и наблюдений, а также несмотря на искажения наблюдений смешанными неопределёнными и случайными возмущениями. В данных условиях попытки использовать фильтр Калмана, фильтр второго порядка, гарантирующий фильтр СКАЛАР не привели к удовлетворительным результатам.

2. Полученные результаты ЧИМ процессов навигации ГКА показывают, что при принятых исходных данных и условиях проведения ЧИМ процессов автономной навигации ГКА [2, 4] проявляется неоспоримое преимущество радионавигационной САН над САН, использующей астроизмерения, если исходить из точности решения задачи навигации.

3. По точности навигационных определений астроизмерения, как показывают результаты ЧИМ, могут стать равноправной заменой использованию СНС, если точность угловых измерений повысить на два порядка. Солнечный и звёздный датчики такими точностями угловых измерений в настоящее время не обладают.

4. Дальнейшее развитие работ по автономной навигации ГКА может быть связано с исследованиями в области применения астроизмерений. В частности, наметились следующие, достаточно очевидные направления исследований:

- 1) оптимальный выбор частоты проведения астроизмерений (шага дискретности Δt);
- 2) увеличение времени проведения измерений до полутора суток и более;
- 3) выбор оптимального количества и состава «навигационных звёзд» (с учётом засветки от Солнца и Луны), относительно которых проводятся угловые измерения;
- 4) включение Луны в качестве дополнительного навигационного ориентира.

Примечание. В работе [3] в тексте допущены ошибки. На стр. 81 строки 10, 11 сверху следует читать в следующей редакции:

«где δ_j , α_j – склонение и прямое восхождение j –й звезды,

$$\beta(x_i^{[1:3]}, \delta_j, \alpha_j) = \arccos[-\cos\delta\cos\delta_j\cos(\alpha - \alpha_j) - \sin\delta\sin\delta_j],».$$

Авторы приносят извинения редакции и читателям журнала.

Список литературы

1. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть I. Математические модели процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №3. – с. 22–28.
2. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть II. Результаты имитационного моделирования процессов навигации с использованием спутниковых навигационных систем // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №3. – с. 29–34.
3. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть III. Математические модели процессов навигации с использованием астроизмерений // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – с. 77–82.
4. Зонов Н.И., Моисеев Д.В. Автономная навигация геостационарных КА. Часть IV. Результаты имитационного моделирования процессов навигации с использованием астроизмерений // Научно-технический вестник Поволжья, 2022. – №4. – с. 83–88.
5. Пат. 2454631 Рос. Федерация, МПК G 01 C 21/02. Способ автономной навигации и ориентации космических аппаратов на основе виртуальных измерений зенитных расстояний звёзд / Кузнецов В. И., Данилова Т. В., Косулин Д.М.; заявитель и патентообладатель ВКА им. А. Ф. Можайского. – Заявл. 28.10.10; опубл. 27.06.12. Бюл. № 18. – 12 с.
6. Кузнецов В.И., Данилова Т.В. Система автономной навигации и ориентации ИСЗ, основанная на виртуальных измерениях зенитных расстояний звёзд // Космические исследования. – М.: Наука, 2011. – Т. 49, № 6. – С. 555–562.

7. Кузнецов В.И., Данилова Т.В., Архипова М.А. Автономный метод определения оценок параметров орбиты и ориентации космического аппарата при отсутствии априорной информации // *Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО-2015). Шестая Всероссийская конференция.* – Труды ИПА РАН. – СПб.: ИПА РАН, 2016. – Вып. 58. – С. 38–45.
8. Кузнецов В.И., Данилова Т.В. Многофункциональная астрономическая самоорганизующаяся система автономной навигации и ориентации искусственных спутников Земли // *Космические исследования.* – М.: Наука, 2017. – Т. 55, № 2. – С. 150–166.
9. Кузнецов В.И., Данилова Т.В., Архипова М.А., Маслова М.А. Астрономическая система автономной навигации и ориентации космических аппаратов широкого назначения. Труды Института прикладной астрономии РАН, вып. 44, 2018.
10. Красильщиков М.Н. и др. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. I. Структуры адаптивных байесовских алгоритмов // *Изв. РАН. Техн. кибернетика*, 1994. – №4, с. 5–16.
11. Красильщиков М.Н. и др. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. II. Алгоритмы определения статистических характеристик ошибок моделей оцениваемого // *Изв. РАН. Техн. кибернетика*, 1994. – №6, с. 31–41.
12. Красильщиков М.Н. и др. Система рекуррентных байесовских алгоритмов оценивания, адаптивных к разнородным неконтролируемым факторам. III. Результаты имитационного моделирования // *Изв. РАН. Теория и системы управления*, 1995. – №3, с. 20–31.

2.3.1.

¹И.М. Кузьмина, ¹М.А. Иванова канд. физ.-мат. наук,
²Т.И. Васильева, ³И.В. Гоголева канд. педагог. наук

¹Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
Институт математики и информатики,

²ГБОУ РС(Я) "Якутский индустриально-педагогический колледж",

³ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»,
Инженерный факультет,
Якутск, iv_mari@mail.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Работа посвящена изучению сверточных нейронных сетей для разработки алгоритма распознавания эмоций человека. В работе применялись существующие методы распознавания лиц и эмоций, а также инструменты разработки – язык программирования Python и открытая программная библиотек машинного обучения TensorFlow.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, методы распознавания лиц и эмоций, алгоритм распознавания эмоций человека по изображению, машинное обучение.

Человеческий интеллект - уникальный объект, который может принимать, распознавать и фиксировать изображения, используя визуальные анализаторы. Имеется большой спрос на систему, которая может распознавать эмоциональный статус человека по выражению лица. Такая система может совершить прорыв в различных областях человеческой деятельности. Например, можно использовать распознавание эмоций в маркетинге для того, чтобы узнать, как влияет реклама на человека, далее можно делать персонализированные предложения, улучшать стратегии продвижения рекламы и т. д. В сфере образования возможно будет следить за настроением и вниманием учеников во время занятия, что поможет улучшить качество обучения. Отсюда и исходит актуальность данной работы – такие системы должны быть достаточно совершенными для правильного распознавания эмоционального состояния человека.

Целью работы является разработка алгоритма, позволяющего распознать эмоциональное состояние человека по изображению его лица.

Алгоритм, который будет разрабатываться, включает в себя несколько важных этапов (рисунок 1):

- предварительная обработка изображений;
- обнаружение лиц;
- распознавание эмоций.

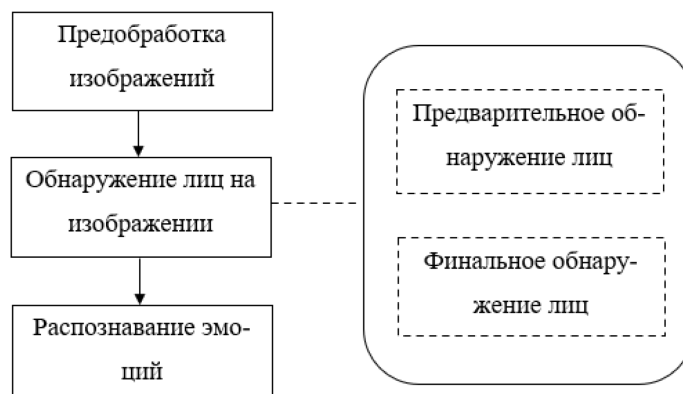


Рис. 1 – Общая схема работы алгоритма

К методам распознавания лиц были включены:

- метод опорных векторов;
- метод главных компонент;
- метод сравнения с шаблоном;
- метод Виолы – Джонса.

В ходе изучения для распознавания лиц на изображениях был выбран метод Виолы – Джонса, который обладает высокой эффективностью классификации, высокой скоростью работы и понятной реализацией.

Метод Виолы – Джонс основан на признаках Хаара [1]. Признаки Хаара — это прямоугольные области, состоящие из нескольких смежных частей.

Сверточная нейронная сеть непосредственно будет использована для распознавания эмоций. Сверточные нейронные сети — это вид нейронных сетей, которые работают по принципу зрительной системы человека [2].

Структура сверточных нейронных сетей состоит входного, сверточного, подвыборочного, полносвязного и выходного слоев. Каждый слой состоит из набора плоскостей, которые в свою очередь состоят из нейронов.

Для корректной работы алгоритма следует обучить модель сверточной нейронной сети. Для этого выбран набор обучающих данных из открытого источника – FER – 2013. Набор данных FER-2013 содержит более 28 000 изображений лиц серого оттенка размерами 48x48 пикселей.

Обучающий набор включает 7 эмоций. На основе эмоций классифицируется каждое лицо, в одну из семи категорий. Категория «отвращение» было удалено из набора, потому что имело недостаточно изображений для обучения. Поэтому категории потерпели сдвиг: 0 = гнев, 1 = страх, 2 = счастье, 3 = грусть, 4 = удивление, 5 = нейтральный.

Далее в обучении применяется архитектура сверточной нейронной сети MobileNet. Данная архитектура имеет тысячи классов и принимает данные с четырьмя измерениями. Выбранную архитектуру сверточной нейронной сети меняем т. к. классов у нас шесть, удаляя последний слой сети и добавляем новые слои – функция активации и функция исключения для предотвращения переоснащения.

Процесс обучения вызывается методом `fit`, с заданной эпохой. Эпоха — это итерация в выборке. Пример обучения модели на 10 эпохах без проверочных данных можно увидеть на рисунке 2. В нем можно увидеть количество шагов для полного прохода по тренировочному набору, за какое время выполняется одна эпоха, сколько занимает времени один шаг, потери и точность. Обучение занимает много времени, исходя из количества данных, количества эпох и мощности компьютера.

```
model.fit(X, Y, epochs = 10)

Epoch 1/10
188/188 [=====] - 94s 209ms/step - loss: 1.4753 - accuracy: 0.4645
Epoch 2/10
188/188 [=====] - 38s 202ms/step - loss: 1.1165 - accuracy: 0.5695
Epoch 3/10
188/188 [=====] - 37s 198ms/step - loss: 0.9969 - accuracy: 0.6137
Epoch 4/10
188/188 [=====] - 37s 199ms/step - loss: 0.9131 - accuracy: 0.6522
Epoch 5/10
188/188 [=====] - 37s 196ms/step - loss: 0.7946 - accuracy: 0.7043
Epoch 6/10
188/188 [=====] - 37s 198ms/step - loss: 0.7143 - accuracy: 0.7368
Epoch 7/10
188/188 [=====] - 38s 201ms/step - loss: 0.6441 - accuracy: 0.7595
Epoch 8/10
188/188 [=====] - 38s 200ms/step - loss: 0.5542 - accuracy: 0.7957
Epoch 9/10
188/188 [=====] - 38s 200ms/step - loss: 0.4782 - accuracy: 0.8217
Epoch 10/10
188/188 [=====] - 38s 200ms/step - loss: 0.4093 - accuracy: 0.8502
```

Рис. 2 – Пример обучения модели

Обученная модель хранит в себе наборы данных, которые представляют собой контейнерные структуры, которые могут содержать наборы данных и другие группы.

Для реализации обнаружения лица использована библиотека компьютерного зрения OpenCV [3]. В данной библиотеке и находится способ нахождения лица через признаки Хаара, т. е. метод Виолы – Джонса (рисунок 3).

После распознавания лица данный метод будет передавать изображения лица к нашей обученной модели.

```
Ввод [5]: frame=cv2.imread("angry.jpg")
faceCascade= cv2.CascadeClassifier(cv2.data.harcascades+'haarcascade_frontalface_default.xml')
gray=cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
faces=faceCascade.detectMultiScale(gray, 1.1, 4)
for x,y,w,h in faces:
    roi_gray=gray[y:y+h,x:x+w]
    roi_color=frame[y:y+h,x:x+w]
    cv2.rectangle(frame, (x,y), (x+w,y+h),(255,0,0),2)
    faces=faceCascade.detectMultiScale(roi_gray)
    if len(faces)==0:
        print("Face not detected")
    else:
        for (ex,ey,ew,eh) in faces:
            face_roi=roi_color[ey:ey+eh, ex:ex+ew]
```

Рис. 3 – Поиск лица на изображении

По полученному изображению определяется эмоция методом predict. Который создает выходные прогнозы для входных выборок. После наша обученная модель сверточной нейронной сети выводит распознавание эмоции, как показано на рисунке 4.

```
Predictions = new_model.predict(final_image)
emotion_detection = ('angry', 'fear', 'happy', 'neutral', 'sad', 'surprise')
emotion_detection[np.argmax(Predictions)]

'happy'
```

Рис. 4 – Результат работы алгоритма

Также данный алгоритм был протестирован в среде разработки Jupyter Notebook:

- тестирование с различным уровнем освещенности;
- тестирование с отклонением лица на плоскости;
- тестирование с различным масштабом изображения лица.

1. Оценка чувствительности нейронной сети к уровню освещения

Чтобы получить разный уровень освещенности в изображении, изменялись средние значения интенсивностей пикселей. Уровень интенсивности увеличивался, либо уменьшался.

Было выявлено, что при интенсивности освещения от 145 люкс до 715 люкс точность обнаружения остается на высоком уровне – 95,3%. Чувствительность нейронной сети при меньшем или большем указанного выше промежутка снижается незначительно.

2. Оценка чувствительности системы к повороту образа лица относительно вертикальной плоскости

Для оценки чувствительности нейронной сети к поворотам лица был выбран специальный набор данных. Она состоит из 450 изображений с вертикальным расположением лиц, которые были деформированы на угол до +25 градусов, каждый градус имеет интервал на 5 градусов

При оценивании чувствительности системы к повороту лица составляет около 95% точности при угле поворота +5 градусов. В то время, как при больших углах поворота точность достаточно резко падает.

3. Оценка чувствительности нейронной сети к изменению масштаба изображения

Алгоритм распознавания лиц основан на признаках Хаара, т. е. на сканировании пирамиды изображений различных масштабов. Поэтому решение оценки к чувствительности алгоритма к изменению масштаба основан на определении величины инвариантности нейронной сети к изменению масштаба лиц.

Исследование чувствительности нейронной сети к изменению масштаба изображения показал, что точность распознавания остается на уровне 95,3%.

В заключении отметим, что данная работа может быть использована во многих сферах, таких как: маркетинг, сфера развлечений, медицина, образование, общественная безопасность.

Список литературы

1. Метод Виолы-Джонса как основа для распознавания лиц: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/133826> (дата обращения: 14.03.2022).
2. Сверточная нейронная сеть. [Электронный ресурс. — Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/glubokaya-svertochnaja-nejronnaja-set/> (дата обращения 22.03.2022).
3. *Глория Б.Г.* Обработка изображений с помощью OpenCV / Б. Г. Глория. - М.: ДМК Пресс, 2018. - 844 с.

2.3.1.

¹Ю.Н. Матвеев, ²Л.В. ЛобачеваТверской государственный технический,
экономический факультет,¹кафедра электронных вычислительных машин,²кафедра горного дела, природообустройства и промышленной экологии,
Тверь, firslud@mail.ru**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ**

В работе рассмотрены основные подходы к оценке экологического риска технических систем утилизации отходов. На примере свалки твердых коммунальных отходов (ТКО) расположенной в поселке Солнечный Тверской области выполнена оценка экологического риска воздействия старых свалок на окружающую среду.

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, риск, управление.

Актуальность определения количественной оценки экологического риска технических систем утилизации отходов обусловлена необходимостью идентификации и управления функционированием таких объектов для эффективного процесса формирования благоприятной среды обитания.

Основной целью определения риска является выявление приоритетов в принятии решений, направленных на его минимизацию. Для этого необходимо, прежде всего, определить основные источники риска и наиболее эффективные меры по его снижению.

Исследование механизмов, регулирующих потоки загрязняющих веществ на полигонах ТКО, позволяет дать количественную оценку экологического риска и разработать технологические решения для управления этим риском.

В настоящее время экологическая оценка риска представляет собой сложный научно-практический процесс, результат которого, во многом, зависит от качества исходной информации (рис. 1) [1].

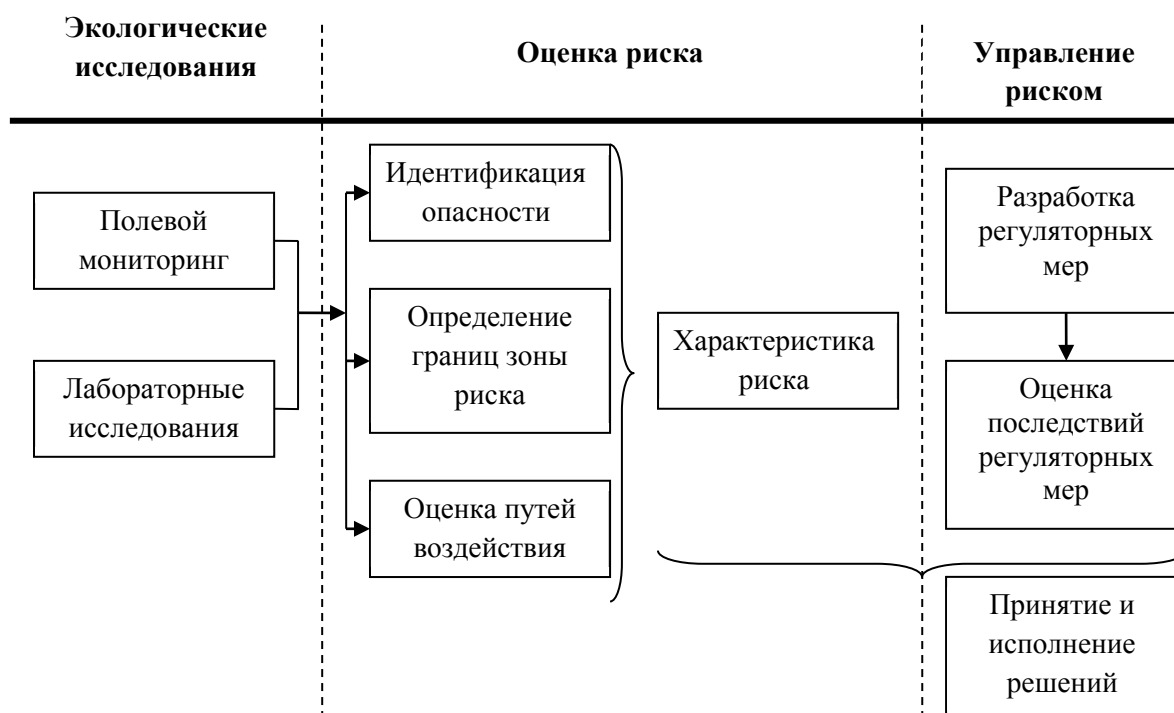


Рис. 1 – Схема исследований в процессе экологической оценки риска

В общем случае процесс оценки экологического риска объекта утилизации отходов, включает следующие этапы:

Первый этап – идентификация состояния объекта (сбор информации), включающая проведение полевого и лабораторного мониторинга, ознакомление с базами данных, экологическим законодательством.

Второй этап – идентификация экологических воздействий, нацеленная на прогнозирование состояния объекта, включающая выявление эмиссионных потоков загрязнений и географических границ их влияния на окружающую природную среду.

Третий этап – характеристика риска, оценивающая опасность воздействий объекта на окружающую среду.

Четвертый этап – управление риском, включающее проведение постоянного или периодического мониторинга состояния объекта, меры регулирования эмиссионных потоков загрязнений.

Существуют множество методов анализа и оценки экологического риска:

метод количественных оценок, заключающийся в определении факторов опасности объекта и сравнении результатов с нормативами;

статистический метод, основанный на анализе и оценке факторов риска с помощью методов математической статистики;

метод экспертных оценок, позволяющий на основе субъективного мнения экспертов проводить оценку в случае неполноты информации или при выявлении рисков, не имеющих аналогов;

метод прогнозных оценок, позволяющий на основе математического моделирования просчитать различные варианты развития процессов и дать прогноз экологической ситуации [2].

Методика определения экологического риска свалки ТКО, расположенной в поселке Солнечный Тверской области основана на методологии, предложенной в работе [3]. Предлагаемый подход заключается в комплексной оценке экологического риска природно-технических систем утилизации отходов по группам критериев:

территориальные критерии;

геологические и гидрогеологические критерии;

технологические;

биохимическая стабильность отходов.

В качестве исходных данных для оценки использовались результаты полевого и лабораторного мониторинга объекта исследования. Существующий подход оценки риска был дополнен параметрами, учитывающими оснащенность территории объекта наблюдательными пунктами контроля загрязнений и его расположение относительно населенного пункта.

Согласно методике каждая группа критериев ранжируется с определением весовых коэффициентов, что позволяет из всего множества критериев выбрать те, которые являются ведущими в анализе риска.

Выбор критериев базируется на законодательных требованиях и запретах на размещение объектов утилизации отходов, поэтому для каждого критерия из группы устанавливается максимальное значение.

Фактор влияния критерия является вероятностной величиной отражающий опасность проявления и уровень отрицательного воздействия объекта утилизации отходов на окружающую природную среду. Для каждого выбранного критерия фактор влияния определяется на основании нормативных параметров, технических и технологических требований к территории размещения объектов утилизации отходов, а также полевых и лабораторных исследований [3].

Комплексный экологический риск объекта утилизации отходов (R) определяется по формуле (1) [3]

$$R = \sum_{i=1}^n G_i \cdot K_i \cdot F_i, \quad (1)$$

где G_i – весовой коэффициент группы критериев в диапазоне от 0 до 100;

K_i – весовой коэффициент критерия риска в диапазоне от 0 до 1;

F_i – фактор влияния критерия.

На основании комплексной оценки экологического риска проводится ранжирование объекта размещения отходов ТКО (таблица 1) по степени их воздействия на окружающую среду (ОС).

В результате анализа полученных данных оценки риска полигона ТКО поселка Солнечный Тверской области получили значение $R > 1250$. Согласно классификации объектов утилизации отходов по степени экологического риска (таблица 1) исследуемый объект утилизации отходов является потенциально опасным и создает реальную угрозу для населения и окружающей природной среды.

Таблица 1 – Ранжирование объектов утилизации отходов по величине комплексного экологического риска

Комплексный риск R	Потенциал опасности	Уровень воздействия	Рекомендуемые меры
> 1250	Высокий	Размещение и эксплуатация объектов осуществляется (или осуществлялась) с нарушениями природоохранных норм. Объект является потенциальным источником сверхнормативного воздействия на ОС	Приоритетные мероприятия по выводу объекта из эксплуатации, ликвидации и/или рекультивации
1050 – 1250	Умеренный	Природоохранные мероприятия выполняются на объекте в полном объеме. Объект является потенциальным источником воздействия на ОС	Проведение мероприятий по доведению объекта до нормативных требований
< 1050	Приемлемый	Объект не оказывает существенного воздействия на ОС	Продолжение эксплуатации. Проведение дополнительных мероприятий при необходимости

Таким образом, представленный подход к оценке экологического риска, позволяет классифицировать полигоны ТКО по степени их воздействия на окружающую среду и выполнить прогнозную оценку их состояния. Полученные расчетные данные могут быть скорректированы в результате последующих исследований. Величины оценок экологического риска технических систем утилизации отходов являются индикаторами необходимости принятия эффективных управленческих решений по снижению потенциального воздействия полигона ТКО на окружающую среду для предупреждения чрезвычайных экологических ситуаций.

Список литературы

1. Башкин, В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование: учебное пособие/ В.Н. Башкин. М.: Высш. шк., 2007. – 360 с.
2. Куракина Н.И., В.И., Ивлиев И.А. Методы оценки экологических рисков на основе разнородных данных. //Приборостроение и информационные технологии. 2015. №5. С.46–51
3. Слюсарь Н.Н. Использование результатов оценки экологического риска для разработки программ вывода из эксплуатации старых свалок.// Вестник МГСУ. 2016. №8. С. 88–99.

2.3.1.

¹М.М. Руденко ²М.Г.Руденко д-р техн. наук¹ООО “Объединенная строительная компания”,
Санкт-Петербург,²Иркутский национальный исследовательский университет,
Институт энергетики,
mg-rud@mail.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ЛАГЕРЕЙ
СИЛАМИ РАБОЧИХ БРИГАД**

Тактика перемещения временных лагерей силами рабочих бригад зависит от их технической оснащенности. Рассмотрены потери рабочего времени на перемещение лагеря в зависимости от количества рейсов при перевозке. При увеличении количества рейсов минимум суммарных потерь времени увеличивается по величине, а его положение смещается в область более длительного стационарного расположения временного лагеря.

Ключевые слова: *оптимизация, магистральный трубопровод, строительство линейных объектов.*

При строительстве магистральных трубопроводов используются временные лагеря [1]. Их назначение – обеспечение минимального времени на движение к месту работы. Как правило, временный лагерь устанавливается непосредственно возле трубопровода на участке земли, отведенном под строительство [2]. После монтажа данного участка трубопровода такой лагерь перемещается на новое место. Отметим, что перемещение временного лагеря может производиться двумя методами, что зависит от технической оснащенности рабочих бригад:

1. В бригаде имеется техника, способная перевозить жилой домик и оборудование на новое место. В этом случае переезд, как правило, осуществляется силами самой бригады и затраты времени будут состоять из времени на сборы со старого места, времени на переезд и обустройство лагеря на новом месте.

2. В бригаде нет техники, способной перевозить жилой домик на новое место. Переезд производится с использованием техники, высылаемой из базового лагеря. Тогда к затратам времени следует добавить время работы оператора привлекаемой техники, которое складывается из времени на передвижение из базового во временный лагерь и обратно, а также времени, затрачиваемого на транспортировку временного лагеря.

При реализации обоих вариантов, возникает дилемма: частая перевозка лагеря приводит к увеличению потерь времени на его перемещение, а редкая приводит к увеличению потерь времени на дорогу к месту работы и обратно.

В рамках первого варианта (в бригаде имеется техника, способная перевозить жилой домик на новое место) рассмотрим более детально потери рабочего времени на перемещение лагеря.

Они состоят из времени сбора со старого места и времени, затрачиваемого на обустройство лагеря на новом месте ($T_{сб}$), а также времени перемещения на новое место ($T_{л}$), которое включает в себя время на погрузку, разгрузку оборудования и жилых помещений ($T_{пр}$), и время на транспортировку.

Время перемещения на новое место зависит от расстояния, на которое перемещается лагерь ($2Ln$) и скорости перевозки жилого модуля, запаса воды, продуктов и оперативного запаса топлива (V_n).

При этом следует отметить, что технологическое оборудование и запас топлива не должны перевозиться совместно с жилым блоком [3]. Как следствие, возможны два варианта транспортировки.

В первом варианте в бригаде имеется несколько транспортных машин и временный лагерь перевозится за один рейс. Время работы операторов транспортировочной техники является частью потерь времени бригады на перемещение временного лагеря на новое место ($T_{л}$) и для этого потребуется время

$$T_{л} = \frac{2Ln}{V_{п}} + T_{пр}$$

Во втором варианте в бригаде нет достаточного количества машин, способных осуществлять перевозку. Тогда переезд производится за несколько дополнительных рейсов; в каждом дополнительном рейсе требуется преодоление удвоенного расстояния переезда. Например, при двух рейсах, время на переезд будет равно $T_{п} = \frac{2Ln}{V_{п}} \cdot 3 + 2T_{пр}$

При трех: $T_{п} = \frac{2Ln}{V_{п}} \cdot 5 + 3T_{пр}$

И так далее, что приводит к выражению

$$T_{п} = \frac{2Ln}{V_{п}}(2k - 1) + kT_{пр}$$

Где k – количество рейсов, необходимых для перевозки лагеря.

Суммируя все виды потерь времени на перемещение лагеря и разделив на количество дней, в течение которых лагерь находится на одном месте, получим осредненные потери перемещения лагеря:

$$T_{л} = \frac{T_{сб}}{2n} + \frac{L}{V_{п}}(2k - 1) + \frac{kT_{пр}}{2n} \quad (1)$$

Отметим, что $T_{сб}$, $V_{п}$, и L можно считать постоянными величинами. Количество рейсов (k) также является некоторой константой, зависящей от технического оснащения бригады. Тогда и время, необходимое на перемещение временного лагеря (1) зависит только от одной переменной (n).

В (1) добавим осредненные потери времени на перемещение к месту работы и обратно [4]:

$$T_{р} = \frac{Ln}{V_{р}} \quad (2)$$

Тогда имеем окончательное выражение для определения суммарных потерь рабочего времени, осредненных по циклу стационарного размещения временного лагеря:

$$T_{пот} = T_{л} + T_{р} = \left(\frac{T_{сб} + kT_{пр}}{2n} + \frac{L}{V_{п}}(2k - 1) + \frac{Ln}{V_{р}} \right) \quad (3)$$

Для повышения общности получаемого решения, приведем уравнения (1, 2 и 3) к безразмерному виду. Для этого разделим их на продолжительность рабочей смены T_c . Для (2) имеем:

$$\hat{T}_р = \frac{T_{р}}{T_c} = \frac{\frac{Ln}{V_{р}}}{T_c} = \frac{Ln}{V_{р}T_c} \quad (4)$$

Здесь $\hat{T}_р$ – безразмерные потери времени на перемещение рабочих от временного лагеря к месту работы и обратно.

Дополнительно введем характерную скорость как отношение длины участка трубопровода, укладываемого за одну смену, к продолжительности рабочей смены, т.е. скорость прокладки трубопровода:

$$V_0 = \frac{L}{T_c}$$

Скорость передвижения рабочих можно выразить через характерную скорость:

$$\hat{V}_р = \frac{V_{р}}{V_0} \quad \text{или} \quad V_{р} = \hat{V}_р \cdot V_0 = \hat{V}_р \frac{L}{T_c}$$

Тогда для (4) имеем:

$$\hat{T}_p = \frac{n}{\hat{V}_p} \quad (5)$$

Для (1), проводя аналогичные выкладки, имеем:

$$\hat{T}_l = \frac{T_l}{T_c} = \frac{\hat{T}_{сб} + k\hat{T}_{пр}}{2n} + \frac{1}{\hat{V}_n} (2k - 1) \quad (6)$$

Здесь относительное время, затрачиваемое на ликвидацию временного лагеря со старого места и установку на новом:

$$\hat{T}_{сб} = \frac{T_{сб}}{T_c} \quad (7)$$

и относительная скорость перемещения временного лагеря на новое место:

$$\hat{V}_n = \frac{V_n}{V_0} \quad (8)$$

Для (3) соответственно:

$$\hat{T}_{пот} = \frac{T_l + T_p}{T_c} = \frac{\hat{T}_{сб} + k\hat{T}_{пр}}{2n} + \frac{1}{\hat{V}_n} (2k - 1) + \frac{n}{\hat{V}_p} \quad (9)$$

Проведем анализ полученного выражения. Оно образует ряд по n со степенями от -1 до +1. Такой ряд имеет некоторый экстремум [5]. Считая все остальные переменные константами, возьмем производную по n от $\hat{T}_{пот}$. Тогда имеем:

$$\frac{d\hat{T}_{пот}}{dn} = \frac{d}{dn} \left(\frac{\hat{T}_{сб}}{2n} + \frac{1}{\hat{V}_n} (2k - 1) + \frac{n}{\hat{V}_p} \right) = \frac{1}{\hat{V}_p} - \frac{\hat{T}_{сб} + k\hat{T}_{пр}}{2n^2} \quad (10)$$

Приравнявая к нулю первую производную $\frac{d\hat{T}_{пот}}{dn} = 0$, получаем положение максимума либо минимума:

$$n_{extr} = \mp \sqrt{\frac{\hat{V}_p(\hat{T}_{сб} + k\hat{T}_{пр})}{2}} \quad (11)$$

Множество n (количество дней) может принимать только неотрицательные значения, что позволяет в дальнейшем рассматривать только положительные корни.

Возьмем вторую производную от $\hat{T}_{пот}$ по n . Тогда:

$$\frac{d^2\hat{T}_{пот}}{dn^2} = \frac{\hat{T}_{сб} + k\hat{T}_{пр}}{n^3}$$

Отметим, что $\hat{T}_{сб}$ включает в себя время на ликвидацию предыдущего и установку следующего лагерей, а также продолжительность рабочей смены; $\hat{T}_{пр}$ включает время на погрузку и разгрузку грузов, т.е. эти множества неотрицательны, как и множество n . Тогда имеем: $\frac{d^2\hat{T}_{пот}}{dn^2} > 0$, т.е. во всем диапазоне существования множества n , функция $T_{пот} = f(n)$ будет иметь минимум. Это позволяет получить минимальное значение $\hat{T}_{пот min}$:

$$\hat{T}_{min} = \frac{1}{\hat{V}_n} (2k - 1) + \sqrt{\frac{2(\hat{T}_{сб} + k\hat{T}_{пр})}{\hat{V}_p}} \quad (12)$$

Проведем оценку влияния количества рейсов по перевозке временного лагеря на положение оптимальной точки. Для этого при $k = 1, 2$ и 4 проведем расчеты по уравнению (9) и, при всех принятых значениях k , по уравнениям (11 и 12) определим координаты точек с минимальным значением $\hat{T}_{пот min}$.

Полученные результаты отображены на рисунке 1.

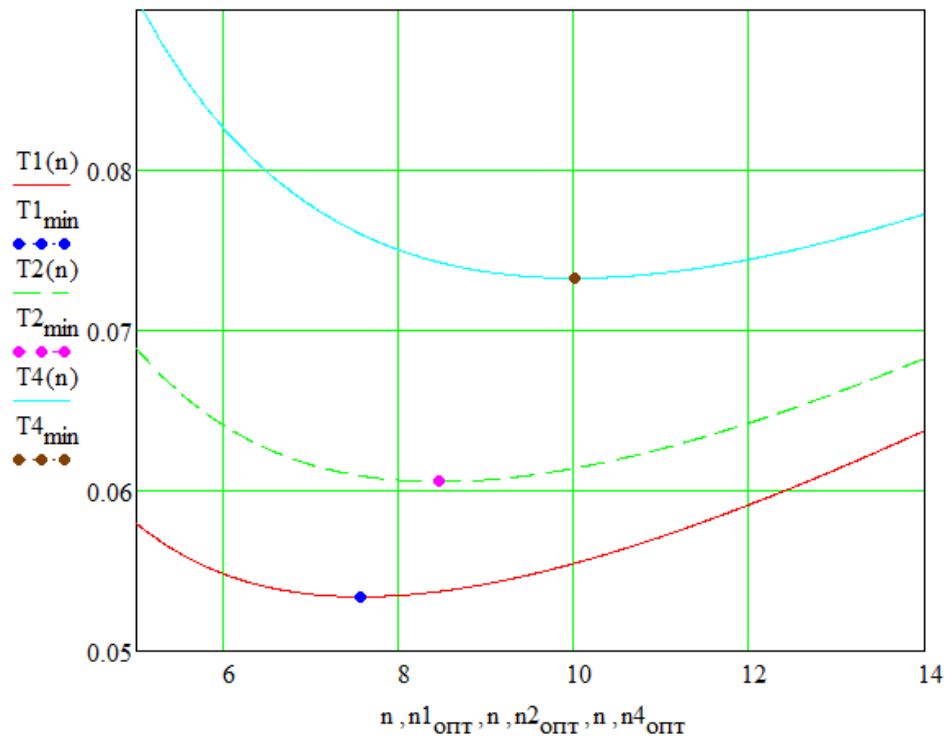


Рис. 1 – Решение (9) при значениях $k = 1, 2, 4$.

Согласно результатам расчетов, увеличение количества рейсов при перевозке временного лагеря приводит к увеличению минимальных потерь времени; при этом точка минимума сдвигается в сторону увеличения количества дней стационарного размещения временного лагеря.

Проведем численный эксперимент по определению влияния количества рейсов (по перевозке временного лагеря) на минимальные потери времени. Для этого будем использовать (12), а результаты выведем в виде

$$T(k) = \frac{\hat{T}_{min}(k)}{\hat{T}_{min}(1)}$$

Результаты расчетов приведены на рисунке 2.

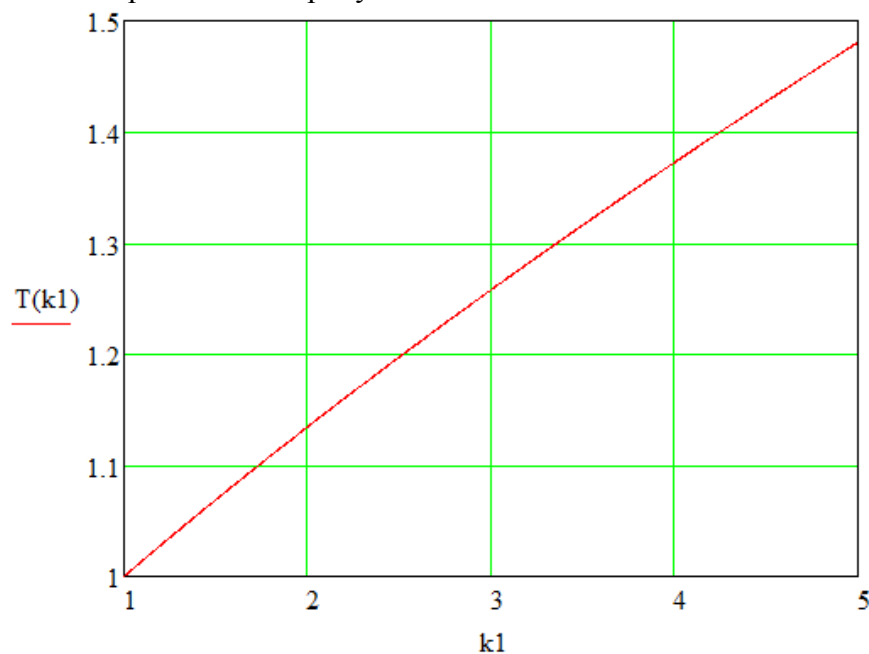


Рис. 2 – Влияние количества рейсов при перевозке временного лагеря на минимальные потери времени

Полученные данные свидетельствуют о сильной зависимости минимумов потерь времени от количества рейсов при перевозке временного лагеря. Так, при двух рейсах минимальные потери возрастают примерно на 15%, при трех – более, чем на 25%.

Следствие: при перевозке временного лагеря на новое место, необходимо особое внимание обращать на уменьшение количества рейсов, что возможно при использовании различных транспортных машин – в том числе и технологического назначения, но с соблюдением правил техники безопасности.

Список литературы

1. *Бородавкин П.П.* Сооружение магистральных трубопроводов / П. П. Бородавкин, В. Л. Березин. – М. : Недра, 1977. – 407 с.
2. *Мазур И.И.* Экология строительства объектов нефтяной и газовой промышленности. - М.: Недра, 1991. -278 с.
3. *Бородавкин П.П., Ким Б.И.* Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1986. – 160 с.
4. *Руденко М.Г., Руденко М.М.* Оптимизация расположения временных лагерей при строительстве магистральных трубопроводов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022, №5, – С. 97–101.
5. *Певный А.Б.* Об оптимальных стратегиях поиска максимума функции с ограниченной старшей производной. Журнал вычислительной математики и математической физики.— 1982.— Т. 22, № 5. — С. 1061—1066.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ — 2.3.3.**

2.3.3.

Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский

Пермский национальный исследовательский университет,
Электротехнический факультет,

кафедра Микропроцессорных средств автоматизации,

Пермь, nataly-anv@mail.ru,

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ"
им. В.И. Ульянова (Ленина),

Факультет электротехники и автоматики (ФЭА),

Кафедра Систем автоматического управления (САУ),

Санкт-Петербург, oaandrievskiy@stud.eltech.ru

**МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ
В МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ**

В статье представлена постановка задачи минимизации вредных выбросов в малоэмиссионной камере сгорания. Сформулированы требования к современным камерам сгорания с точки зрения экологической чистоты. Рассмотрены факторы, влияющие на объем вредных выбросов. Приведены основные расчетные параметры малоэмиссионной камеры сгорания. Разработан алгоритм минимизации вредных выбросов на основе оптимизационной модели.

Ключевые слова: *авиационный двигатель, малоэмиссионная камера сгорания, эмиссия вредных выбросов, математическая модель, оптимизация*

Современные тенденции в развитии авиационной техники подразумевают проектирование надежных и безопасных двигателей, обеспечивавших экологическую чистоту [1]. Экологическая чистота функционирования двигателей заключается в соблюдении международных норм по выбросу вредных веществ [2, 3]. При работе авиационного двигателя в камере сгорания вырабатываются вредные вещества: окислы азота NO_x и углерода CO , которые оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Количество вредных веществ зависит от температуры ламинарного пламени в камере сгорания (рис. 1). [4].

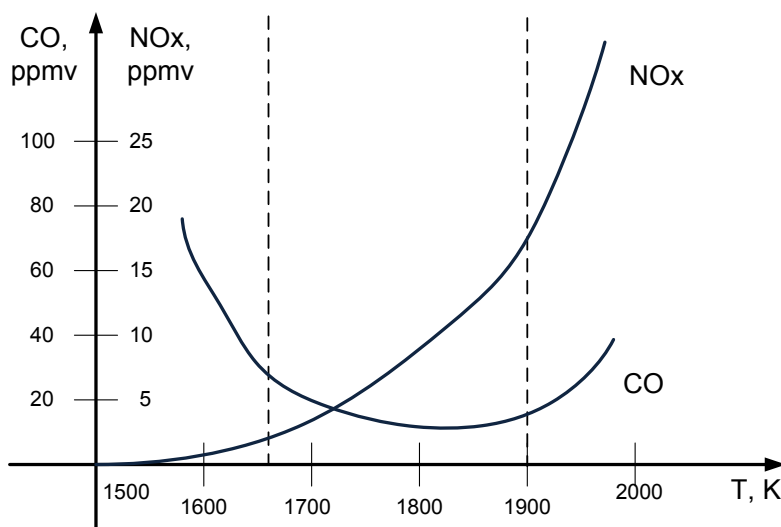


Рис. 1 – График зависимости концентрации вредных веществ CO и NO_x от температуры пламени в камере сгорания

На рис. 1. штриховыми линиями показана рабочая область с допустимыми значениями выбросов. Очевидно, что уменьшая температуру пламени, можно уменьшить количество выбросов, но при этом возникает угроза срыва пламени, что приводит к нарушению работы авиационного двигателя. В свою очередь температура пламени зависит от коэффициента

избытка воздуха α ($\alpha = \frac{G_B}{L_0 G_T}$, где G_B - расход воздуха; L_0 - стехиометрический коэффициент топлива; G_T - расход топлива). На рис. 2 представлена зависимость температуры пламени от коэффициента α .

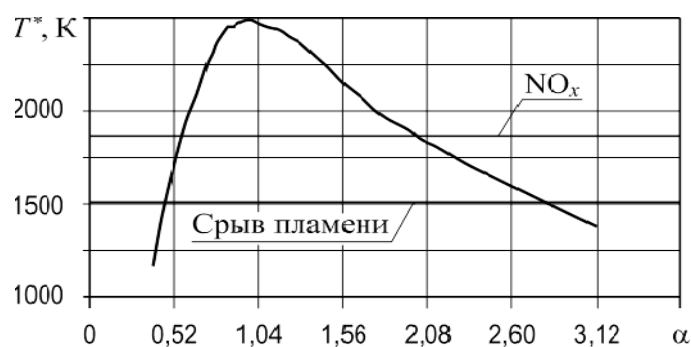


Рис. 2 – Зависимость температуры пламени от коэффициента избытка воздуха α

Стоит отметить, что рис. 2 приближенно показывает данную зависимость: график может трансформироваться: сжиматься по осям и смещаться по осям в зависимости от состава топлива и рабочих параметров камеры сгорания. Малоэмиссионные кмеры сгорания (МЭКС) обязаны обеспечить не только бесперебойную работу двигателя, но и минимальный выброс вредных веществ. Это достигается за счет перераспределения подачи топлива по различным коллекторам (таблица 1) [5]

Таблица – Распределение топлива в камере сгорания

	Малый газ					Полетный малый газ					Взлет
G_T	0	560	560	726	1440	1874	2320	3500	4774	6150	9110
G_1	0	560	200	200	200	200	230	290	350	410	560
G_2	0	0	360	526	1240	837	1045	1605	2212	2870	4275
G_3	0	0	0	0	0	837	1045	1605	2212	2870	4275
α_{KC}			3.30	3.00	2.31	6.24	3.80	3.20	2.83	2.54	2.14
T_{KC}			548	577	663	698	727	787	836	880	954
P_{KC}			6.1	7.3	12.2	14.8	17.2	23.2	29.0	34.8	45.9

В таблице представлены следующие параметры: G_T - общий (суммарный) расход топлива, подаваемый в камеру сгорания; G_1, G_2, G_3 - перераспределения топлива по коллекторам ($G_T = G_1 + G_2 + G_3$); T_{KC}, P_{KC} - температура и давление топлива, подаваемого в камеру сгорания.

Таким образом, задача минимизации выбросов определяется как оптимизационная задача в следующей постановке [6]

- критерий оптимальности:

$$J = MNOx \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $MNOx$ - эмиссия вредных выбросов, суммарный объем выбросов за полный цикл «взлет-посадка»

- ограничение:

$$MNOx \leq 18 \text{ кг} \quad (2)$$

Математическая модель

$$MNOx = f(n, G_T, G_1, G_2, G_3, T_{KC}, P_{KC}, \alpha, T^*), \quad (3)$$

где n - частота вращения вентилятора (заданная для каждого режима полета); T^* - температура ламинарного пламени в камере сгорания.

Очевидно, что методы решения задачи оптимизации определяются математическим видом основных функциональных зависимостей (1-3). При этом особую сложность составляет расчет зависимости (3). При решении задачи оптимизации необходимо учитывать следующее, что частота вращения вентилятора определяется расходом топлива ($n = f_1(G_T)$); температура и давление топлива, подаваемое в камеру, также определяются режимом полета, ($T_{KC} = f_2(n)$, $P_{KC} = f_3(n)$); температура ламинарного пламени в камере сгорания определяется, как функция от коэффициента избытка ($T^* = f_4(\alpha)$), но ограничена техническими требованиями режима полета, то есть также является и функцией частоты вращения вентилятора ($T^* = f_5(\alpha)$). Таким образом, для математическая модель (3) представляет собой нелинейную функцию:

$$MNOx = f(n, G_T, G_1, G_2, G_3) \quad (4)$$

При этом на переменные G_i наложены ограничения:

$$G_{i \min} \leq G_i \leq G_{i \max} \quad (5)$$

На первом этапе задача минимизации выбросов была реализован по принципу ограничения (3) (рис. 3) [5, 7].

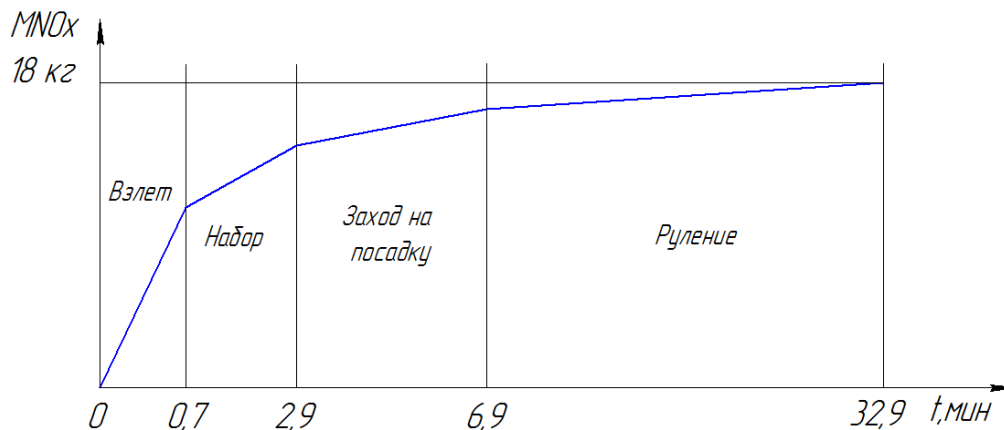


Рис. 3 – График $MNOx$ за полный цикл полета

Перераспределение топлива по коллекторам осуществлялось в соответствии с данными (табл. 1). Зависимость (4) реализована в виде нейронной сети. Изменение перераспределения по коллекторам допускалось в пределах 1-5% от расчетного значения. Однако такой вариант решения задачи не обеспечивает выполнения экологических требований минимального выброса на отдельно взятом режиме полета, хотя в целом не допускает перерасход объема вредных веществ выше 18 кг за время полета. Поэтому дальнейшего исследования будут идти в следующем направлении: построение аналитической зависимости (4), на каждом режиме полета определение локального минимума функции (4) при ограничениях (5). Решение задачи в такой постановке в большей мере соответствует задаче поиска минимальных вредных выбросов как задачи оптимизации.

Список литературы

1. *Гуревич О.С.* Управление авиационными газотурбинными двигателями. - М: Изд-во МАИ, 2001. – 100 с
2. *Васильев А.Ю.* Некоторые проблемы разработки малоэмиссионных камер сгорания и пути снижения эмиссии оксидов азота – Двигатель, 2016 № 6(108)., С. 10-13/
3. *Комаров Е.М.* Методы уменьшения эмиссии вредных веществ в камерах сгорания ГТД и ГТУ // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2018. – № 05. – С. 9–29.
4. *Андриевская Н.В., Леготкина Т.С., Хижняков Ю.Н., Южаков А.А., Андриевский О.А., Кузнецов М.Д., Никулин В.С., Сторожев С.А.* Концепция управления малоэмиссионной камерой сгорания. - В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2019. С. 2631-2634.
5. *Андриевская Н.В., Андриевский О.А., Кузнецов М.Д., Леготкина Т.С., Никулин В.С., Сторожев С.А., Хижняков Ю.Н., Южаков А.А.* Нейронечеткое управление выбросами вредных веществ авиационного газотурбинного двигателя. // Мехатроника, автоматизация, управление, 2020. - Т. 21 - № 6. – С. 348-355.
6. *Зайцев М.Г.* Методы оптимизации управления и принятия решений: Примеры, задачи, кейсы: Учебное пособие / М.Г. Зайцев, С.Е. Варюхин; Рецензент С.Р. Филонович. - М.: ИД Дело РАНХиГС, 2011. - 640 с.
7. *Никулин В.С., Сторожев С.А., Абдуллин Д.М., Хижняков Ю.Н.* Адаптивный виртуальный измеритель вредных веществ в камере сгорания ГТД с применением нечеткой технологии.- Труды МАИ, 2021, № 116, С.11-28

2.3.3.

¹М.Б. Балданов, ²Н.Н. Алексеева, ³Н.И. Кондакова¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, alnatnick@mail.ru,²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
lv.sidorova@s-vfu.ru,³Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, konadiv75@gmail.com

ПРОЕКТ ОРОШЕНИЯ ДОЖДЕВАНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ УСТЬ-АЛДАНСКОГО УЛУСА

Гидромелиорация земель состоит в проведении комплекса мелиоративных мероприятий, обеспечивающих коренное улучшение заболоченных, излишне увлажненных, засушливых, эродированных, смытых и других земель, состояние которых зависит от воздействия воды. В статье описано проектирование системы орошения дождеванием условиях Усть-Алданского улуса. Практическая ценность реализации проекта может положительно отразиться на повышении продуктивности (урожайности) уже используемых сельхоз земель.

Ключевые слова: сельскохозяйственные земли, мелиоративные мероприятия, гидромелиорация земель.

Усть-Алданский улус находится в центральной части Республики Саха (Якутия). Климат суровый, резко-континентальный, что выражается в больших годовых колебаниях температур воздуха и в малом годовом количестве атмосферных осадков. Пересохшая за лето почва не получает достаточного количества влаги, а относительно раннее замерзание почвы и ночные заморозки еще больше препятствуют ее осеннему увлажнению, таким образом, при малом количестве осадков за год и большой испаряемости, влаги недостаточно для роста растения, а также для поддержания постоянного уровня воды в озерах и болотах, если у них нет дополнительного питания. Центральная часть Усть-Алданского улуса образована в плиоцене - нижнем плейстоцене, сложен а галечниками, песками, супесями, суглинками, также слагают илы, глины, лигниты. Нужно внести оросительную систему и проводить мелиоративные работы. Оросительная сеть открытого типа организует своевременное обеспечение водой культуры в нужном объеме. А на брошенных пашнях из-за низкой эффективности и имеющие неблагоприятные физические свойства, провести мелиоративные работы направленную на усиление аэрации, увеличение скважности и водопроницаемости почв. Для этого проводятся правильные севообороты, применяется пескование иловатых почв и кротовый дренаж, способствующий увеличению воздухо- и водопроницаемости глубоких слоев почв. Таким образом мы обеспечим точную эффективность и увеличение кормового урожая. За этим последует хорошее качество продуктивных КРС, и количество рождаемости телят. Проектом предусмотрено орошение участка на площади 5,0га переносной дождевальной установки КИ- 5.

Технические мероприятия и организация мелиоративных работ согласно задания заложены в соответствии с действующими нормами и правилами. Дождевальный аппарат обслуживают рабочие поливальщики. Полив осуществляется согласно графика с корректировкой на конкретные условия.

Монтаж осуществляется согласно предварительно составляемому специалистами хозяйства проекту. Распределительный трубопровод прокладывают посередине орошаемого участка. первый тройник должен находиться на расстоянии 15м от границы орошаемого участка, далее тройники устанавливают через каждые 30м (через 5 шестиметровых труб).

в полном комплекте предусмотрена установка семи тройников. На последний тройник устанавливают муфту в 90 мм с заглушкой. Тройник монтируется так, чтобы патрубки в 75 мм были направлены в одну сторону относительно направления распределительного трубопровода, все влево или вправо, в зависимости от намечаемой очередности полива участка) см. схему участка, представленную на рисунке.

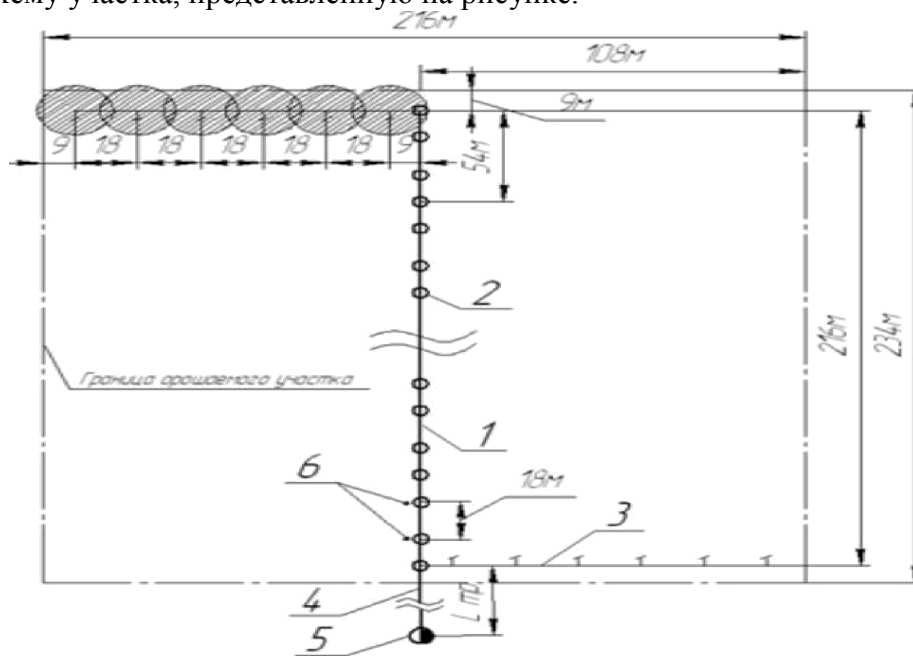


Рис.1 – Схема участка

- 1 - водозабор; 2 - транспортирующий трубопровод;
3 - граница орошаемого участка; 4 - дождевальные крылья;
5 - распределительный трубопровод

Работа комплекта начинается с заполнения трубопроводов водой, с этой целью, при наполовину открытой задвижке дальнего от водозабора крыла, открывают задвижку в голове транспортирующего трубопровода, открытие задвижки осуществляют медленно, в два приема. Заполнение трубопровода производят при частичном (на 30...50%) открытии задвижки. Первичное заполнение осуществляется в зависимости от протяженности транспортирующего и распределительного трубопровода в течении 3...10 мин.

О полном заполнении трубопровода свидетельствует начало работы дождевальных аппаратов. После чего задвижка открывается полностью, но с таким расчетом, чтобы давление в голове транспортирующего трубопровода не превышало 0,6 МПа.

После заполнения трубопроводов регулируют задвижкой давление в голове дождевального крыла (оно должно быть в пределах 0,30...0,40 МПа) в зависимости от типа установленных дождевальных аппаратов.

Заполнение трубопровода производят при частичном (на 30...50%) открытии задвижки. Первичное заполнение осуществляется в зависимости от протяженности транспортирующего и распределительного трубопровода в течении 3...10 мин. После заполнения трубопроводов регулируют задвижкой давление в голове дождевального крыла (оно должно быть в пределах 0,30...0,40 МПа) в зависимости от типа установленных дождевальных аппаратов. После выдачи необходимой поливной нормы (которую определяют по времени полива крылом), открывают наполовину задвижку на втором дожде-вальном крыле, после чего перекрывают подачу воды в первое крыло и регулируют давление в голове второго крыла. В период полива вторым дождевальным крылом осуществляют перенос первого крыла на следующую (па направлению к центру орошаемого участка) позицию [1-4]. При этом демонтаж крыла начинают в порядке обратном его первоначальному монтажу. Общее время демонтажа, переноски и монтажа крыла не превышает одного часа, а время полива на одной позиции не менее двух часов, поэтому можно рекомендовать начинать демонтаж крыла через 0,5 часа после окончания полива. За это время крыло частично освобождается от воды, что

облегчает процесс его демонтажа. Аналогично осуществляется дальнейшая работа комплекта, что обеспечивает непрерывность процесса полива. После того, как будет произведен полив последней позиции на левой (или правой) половине участка, прекращают подачу воды и, разъединив соединительные скобы, разворачивают тройники так, чтобы патрубки $\phi 75$ были направлены на другую сторону от оси распределительного трубопровода фиксируют их скобами в этом положении и осуществляют полив второй половины орошаемого участка. В дальнейшем работа осуществляется аналогично описанному выше.

Список литературы

1. *Подружин Е.Г.* Конструирование и проектирование летательных аппаратов. Фюзеляж : учебное пособие для вузов / Е. Г. Подружин, В. М. Степанов, П. Е. Рябчиков. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2018.
2. *Резчиков Е.А.* Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / Е. А. Резчиков, А. В. Рязанцева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020.
3. *Кокиева Г.Е., Осмонов О.М.* Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск,-2022. с. 187-194.
4. *Кокиева Г.Е., Осмонов О.М.* Использование техники для управления машинно-тракторным парком. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск.-2022. с. 195-204.

2.3.3.

¹М.Б. Балданов, ²Н.И. Кондакова¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, roza01191@mail.ru,²Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, konadiv75@gmail.com**ПРОВЕДЕНИЕ ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПУТЕМ УСТРОЙСТВА
ЛЕДОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ АВТОВОДОСБРОСА ВОДОЕМА
"ИЛИН-УС-КЕЛЬ" С. КУРБУСАХ УСТЬ АЛДАНСКОГО УЛУСА**

Ледяные щиты и слякоти используются для защиты ГТС (избыточного стока воды) от ледяных нагрузок и предотвращения засорения из-за образования ледяного шлама. В статье описывается защита водосбросной трубы от паводковых вод, в частности от льда, путём постройки ледозащитного сооружения на свайном основании, а также обеспечение безопасной эксплуатации водосброса.

Ключевые слова: ледяные нагрузки, свайное основание, гидравлическая структура.

Для различных условий могут использоваться стены, плавающие стрелы или запани и погрузчики для снегоочистителей. Выбор наилучшей конструкции в отдельных случаях зависит от имеющихся материалов, местного климата, геологии, гидрологии, ледовых условий, технических и экономических показателей. Хотя эти устройства относятся к категории вторичного оборудования, конструкция ледонепроницаемой структуры необходима для обеспечения бесперебойной работы основной гидравлической структуры.

Это служит для защиты плавучих и якорных объектов в порту. Лед может повлиять на гидравлическую структуру во время работы. Тема ледозащиты актуальна и представляет практический интерес тем что в нашей Республике Саха (Якутия) климатические условия в зимнее время крайне суровы.



Рис. 1 – Паводок в Якутии

Для остановки льда и слякоти на поверхности над основными сооружениями в основном используются плавучие ограждения. Запан представляет собой набор звеньев в виде бревен или понтонов, соединенных между заборами (балками). Оба конца прочно закреплены, чтобы обеспечить стабильность при затоплении. Поскольку устройство является гибким, оно не обнаруживает ударов, которые были бы опасны для других типов структур. Кроме того, размер нагрузки на единицу длины конструкции защиты льда при сложенном ледяном поле намного меньше, чем при ударе льдин.

При пропуске паводковых вод через сооружения в виду большой длины водосливного фронта, в зависимости от величины подпора на сооружение, вместе с водой будут проходить отдельные льдины различных размеров. При таких скоростях льдин крепления водосливной части водосбросов будут разрушены от прямого воздействия льдин. В данном случае защита крепления водосливов предусматривается не изменением конструкции крепления, а предотвращением прямого воздействия льдин на сооружения. Исходя из этого прямого конструкция, ледозащитного сооружения должна препятствовать прохождению льдин через порог водосброса и принимать все ледовые нагрузки на себя [1-6]. На разработку рабочего проекта на устройство ледозащитных сооружений, земляных плотин и автоводосбросов водоемов «Илин-Усун-Кель» с. Курбусах Усть-Алданского улуса. (см. на Таблицу 1-2)

Таблица 1 – Перечень требований и основные данные

№ п/п	Перечень требований и основных данных	Разработка технических требований и основных данных
1	Наименование объекта	Разработку рабочего проекта на устройство ледозащитных сооружений, земляных плотин и автоводосбросов водоемов «Илин-Усун-Кель» с. Курбусах Усть-Алданского улуса.
2	Место расположение объекта	Республики Саха (Якутия), с. Курбусах Усть-Алданский улус.
3	Основные цели проекта	Защита сооружения от льда в период паводка.
4	Требования к проведению инженерных изысканий	Произвести топосъемку площадки сооружения
5	Технические требования к проектным решениям	Согласно СНиП 11-101-95, в соответствии с РД-АПК-3.00.01.003-03.
6	Основные требования и условия к разработке природоохранных мероприятий, необходимых мер по ГО и предотвращения чрезвычайных ситуаций	В соответствии с существующими нормами и правилами, с Федеральным законом от 21 июня 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»
7	Указания по определению стоимости строительства	В соответствии с ФЕР – 2001 эталон по РС (Я) и фактических ценах приложить ведомость
8	Сроки выполнения работ	Неизвестно

Таблица 2 – Сметы

№ п/п	Сметы
1	Пояснительная записка к сметной документации
2	Сводный сметный расчет в ценах по состоянию на 4 кв. 2020г.
3	Сводный сметный расчет в ценах по состоянию на 2012г.
4	Определение стоимости подрядных торгов в базовых ценах на 2012г. и в ценах на 4 квартал 2020г.
5	Сводная смета затрат на ПИР
6	Объектный сметный расчет №1 на устройство ледозащитного сооружения
7	Локальная смета №1 на устройство ледозащитного сооружения
8	Ведомость потребных ресурсов к локальной смете №1

Сметная документация сформирована на основе сметно-нормативные базы пенообразования 2012г., составленной в уровне цен по состоянию на 01.01.2012 и в соответствии с объемами работ, предусмотренными проектом.

Определение стоимости подрядных торгов

$$Ст = Н * 0.01 * Ксл * Ккр * Кст * Крт * Сст \quad (1)$$

Ксл – коэффициент сложности строительства

Ккр – коэффициент крупности предмета торго

Кст – коэффициент стадийности

Крт – коэффициент разновидности торгов

Сст – предполагаемая стоимость договора, контракта в уровне цен на дату публикации объявления.

Защита водосброса очень важен в данных краях, особенно во время паводка, ведь она ограждает и не дает повредить гидротехническое сооружение льдам, деревьям и прочим природным отходам, а также ограждение страхует от засора водосбросное сооружение. Тема ледозащиты актуальна и представляет практический интерес тем что в нашей Республике Саха (Якутия) климатические условия в зимнее время крайне суровы. Весной во время оттепели тут происходит паводок, которая характеризуется интенсивным увеличением уровня воды, из-за обильного снеготаяния и таяния реки во время которых происходит ледоход.

Список литературы

1. Строительство и эксплуатация систем сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения / Черемисинов А.Ю., Черемисинов А.А. 2015г.
2. Мелиорация. Учебное пособие / А.В. Шуравилин, А.И. Кибика. - ЭКСМОС. 2006.- 944 с.
3. Гидротехнические мелиорации: Учебник. 4-е изд. / Бабилов Б.В. Изд-во «Лань». Санкт-Петербург. 2005. - 304 с.
4. Мелиорация почв. Учебник / Ф. Р. Зайдельман. Серия: Классический университетский учебник. - МГУ, 2003 г. - 448 с.
5. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск,-2022. с. 187-194.
6. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Использование техники для управления машинно-тракторным парком. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск.-2022. с. 195-204.

2.3.3.

¹Н.Д. Балданов, ²Н.А. Лукина, ³С.В. Степанова¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, Lukina-7171@mail.ru,²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
lv.sidorova@s-vfu.ru,³Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТНЕГО ВОДОПРОВОДА В СЕЛЕ ХАМПА ВИЛЮЙСКОГО УЛУСА РС (Я)

Системы водоснабжения представляют собой комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих получение воды из природных источников, ее очистку, транспортирование и подачу потребителям. Конструкция водоснабжения нужна для удовлетворения потребителей в воде промышленности и сельского хозяйства. Водопроводные сети и водоводы занимают особенное пространство в системах водоснабжения. Водопроводная сеть запроектирована с учетом спрашиваемой прочности и водообеспечения потребителей. В статье описано создание системы водоснабжения села Хампа расположенной в Якутии.

Ключевые слова: *система водоснабжения, водообеспечение, физико-химические процессы.*

Правильное решение вопроса о выборе источника водоснабжения для каждого данного объекта требует тщательного изучения и анализа водных ресурсов района, в котором расположен объект. Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения определенной (данной) группы потребителей (данного объекта) водой в требуемых количествах и требуемого качества. Система водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, то есть обеспечивать снабжение потребителей водой без недопустимого снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды (перерывы или снижение подачи воды или ухудшение её качества в недопустимых пределах). Система водоснабжения (населенного места или промышленного предприятия) должна обеспечивать получение воды из природных источников, её очистку, если это вызывается требованиями потребителей, и подачу к местам потребления [1-6]. Для выполнения этих задач служат следующие сооружения, входящие обычно в состав системы водоснабжения :

- водозаборные сооружения, при помощи которых осуществляется прием воды из природных источников,
- водоподъемные сооружения, то есть насосные станции, подающие воду к местам её очистки, хранения или потребления,
- сооружения для очистки воды,
- водоводы и водопроводные сети, служащие для транспортирования и подачи воды к местам её потребления, башни и резервуары, играющие роль регулирующих и запасных емкостей в системе водоснабжения Село Хампа, центр Арылахского наслега Вилюйского улуса. Расположен в 73 км к юго-востоку от улусного центра г. Вилюйска. Общая площадь территории 72000га. Проектируемый объект расположен в селе Хампа Вилюйского улуса. В геоморфологическом отношении село расположено на юго-востоке от улусного центра г. Вилюйска. Визуальными наблюдениями при инженерно-геологической рекогносцировке не желательные физико-механические процессы и явления (морозное пучение грунтов, овраги, термокарст и т.п.) не наблюдается. Проектом предусматривается установка двух водонапорных башен с емкостью 16м³. Водонапорная башня выполнена из металлических

несущих ферм из труб стальных $D=159\text{мм}$, с обвязкой из двутавра №20;30, уголков №7;8;10, на отсыпке из утрамбованной ПГС т.500мм, с основанием из труб стальных $D=159\text{мм}$ и бетонной подушки. Резервуар выполнен из листа металлического с толщ. 4мм, с высотой 2,6м и диаметром 2,8м. В табл.1 приведена спецификация материалов

Таблица 1 – Спецификация материалов

№п/п	Наименование	Ед.изм	Кол-во Ед.изм	Вес всего,кг
1	Водонапорная башня			
2	Уплотненная ПГС толщ 500мм	м ³	21,0	33600,0
3	Труба стальная $D=159*8\text{мм}$	м	40,0	1192,0
4	Бетонная подушка т. 150мм	м ³	3,7	8880,0

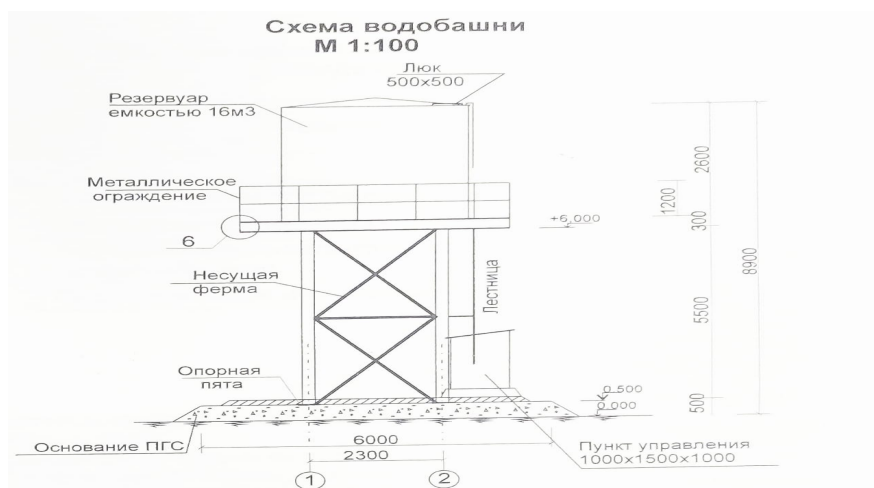


Рис. 1 – Схема и основание водобашни

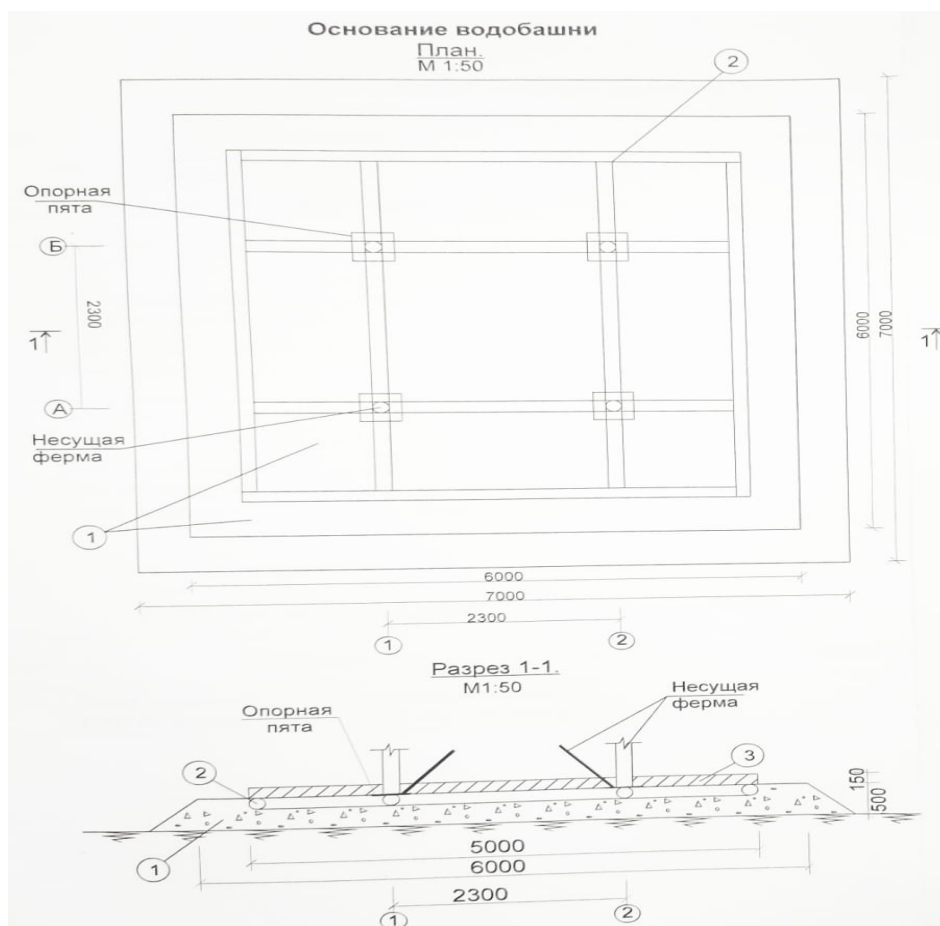


Рис. 2 – Основание водобашни

Запроектированы внутривдощадочные сети хозяйственно-бытового водоснабжения потребителей населенного пункта, разработана схема водопроводных сетей для подачи воды к домам. Основные расчеты включали в себя расчет суточных и часовых расходов. В ходе расчетов также было подобрано соответствующее основное и вспомогательное оборудование, и описаны его основные технические характеристики.

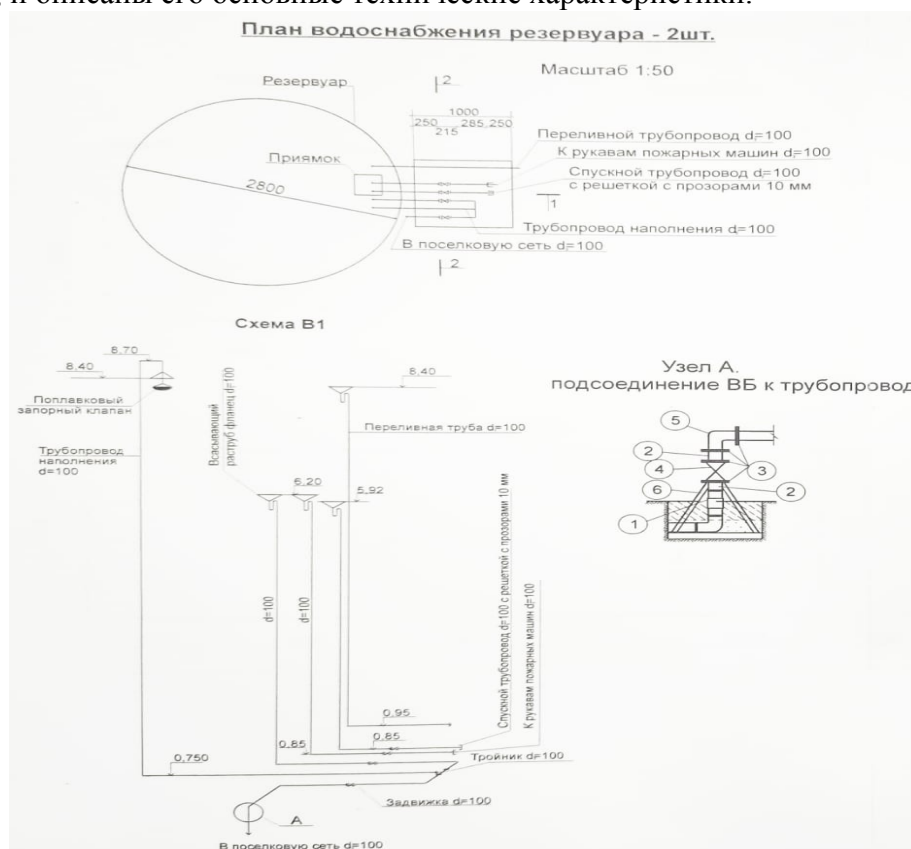


Рис.3 – План водоснабжения резервуара

Были рассмотрены водопроводная сеть труб, спецификации проектов и сами проекты насосной станции водоотведения, водобашни и электроснабжения в насосной станции. В работе была приведена информация о качестве воды, а также перечень мероприятий по учету водопотребления. Рассмотрена технология строительного производства, подсчитана калькуляция по монтажу системы водоотведения.

Список литературы

1. Природообустройство. Учебное пособие / Голованов А.И. и др. - М. Колосс. 2007. - 500 с.
2. Мелиорация. Учебное пособие / А.В. Шуравилин, А.И. Кибика. - ЭКСМОС. 2006. - 944 с.
3. Инженерные сети: современные трубы и изделия для ремонта и строительства 2-е изд., пер. и доп. Учебное пособие для СПО. Ю.А. Феофан. 2017г.
4. Мелиорация почв. Учебник / Ф. Р. Зайдельман. Серия: Классический университетский учебник. - МГУ, 2003 г. - 448 с.
5. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск, -2022. с. 187-194.
6. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Использование техники для управления машинно-тракторным парком. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск. -2022. с. 195-204.

2.3.3.

Д.А. Башмаков канд. техн. наук, З.Г. Сайфутдинов, А.Т. Галиакбаров канд. техн. наук

Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО Казанского (Приволжского) федерального университета,
кафедра «Электроэнергетика и электротехника»,
Набережные Челны, bashmakovda@yandex.ru,
saifutdinow97@mail.ru, azatgaliakbarov@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье описан метод автоматизации диагностики технического состояния обмоток высоковольтных электродвигателей. Рассмотрен и описан технологический процесс проверки состояния электрических обмоток электрических машин, в том числе и высоковольтных и низковольтных электродвигателей промышленного назначения. Определены причины выхода из строя обмоток электрических машин и аппаратов.

Ключевые слова: кабели, проводники, обмотка, технологический процесс, высоковольтный электродвигатель.

Автоматизация технологического производства, практически всегда, сопровождается применением большого числа электромеханических систем таких как: двигатели постоянного тока, синхронные и асинхронные электродвигатели, а также высоковольтные двигатели. С помощью таких электрических машин решаются задачи повышения качества продукции, увеличения производительности всего предприятия в целом и эффективности технологического оборудования.

От технического состояния кабелей и проводов, в частности, от их изоляции зависит возможность дальнейшей эксплуатации электромеханического оборудования, входящего в состав сложного технологического процесса. Выход из строя даже одного элемента «технологической цепочки» влечет за собой большие потери для предприятия.

Следует учитывать также, что кабели и провода, как правило, труднодоступны для эксплуатационного персонала, поэтому необходимо проводить достоверную оценку их технического состояния по известным диагностическим данным с учетом интенсивности воздействия эксплуатационных факторов.

Таким образом, электрическая изоляция определяет ресурс (наработку) электрических машин. Ресурс электрической изоляции кабелей характеризует фактическую наработку кабеля до отказа [1,2].

Для повышения уровня автоматизации и эффективности технологического оборудования в состав которого могут входить, в том числе, высоковольтные электродвигатели необходимо развитие и внедрение методов диагностики их технического состояния.

Обмотки являются наиболее важной и сложной по условиям работы частью электродвигателя. Выход обмоток из строя в большинстве случаев обусловлен повреждениями изоляции[3]. Определением причин выхода из строя обмоток электрических машин и аппаратов в разных отраслях народного хозяйства занимались многие исследователи. На основании сбора и статистической обработки данных об эксплуатации около 5,5 тыс. асинхронных двигателей на промышленных предприятиях установлено, что более 84% всех отказов происходит из-за различных повреждений обмоток[4]. Согласно данным у электродвигателей 80% отказов возникают в результате повреждения изоляции; выход электродвигателей из строя в большинстве случаев возникает в связи с повреждением изоляции. Поэтому актуальной является проблема определения состояния изоляции обмотки электродвигателя.

На ввод обмоток высоковольтного электродвигателя подается рабочее напряжение синусоидальной формы. Статорная обмотка (А) синхронного электродвигателя расположена в продольных пазах шихтовки электротехнической стали магнитопровода. Ток обмотки образует магнитное поле в стали магнитопровода. Изменение периодически направления индукции в стали магнитопровода образует поле, называемое «петля Гистерезиса», что в свою очередь искажает синусоидальную форму напряжения и тока в обмотке. Искаженная форма напряжения и тока раскладывается на ряд Фурье синусоидальных составляющих напряжения и тока, иначе высокочастотных гармоник напряжения (ВЧГН) и тока (ВЧГТ).

В этих параметрах схема замещения обмотки состоит из индуктивности, емкости активного сопротивления с различными их комбинациями (рис. 1).

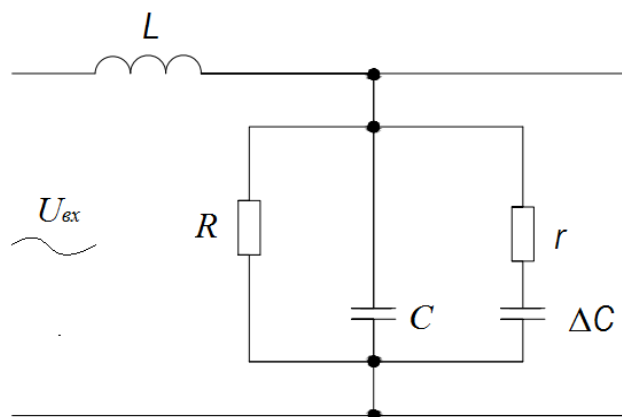


Рис. 1 – Схема замещения изоляции обмоток тягового электродвигателя (L – индуктивность; C – емкость; R и ΔC – цепочка из активного сопротивления и изменения емкости изоляции обмотки (слоя, катушки))

Индуктивность и емкость зависят от геометрических размеров конструктивных форм и количества проводников, а также от индуктивности электротехнической стали магнитопровода.

Функция напряжения $U=(\varphi_1 - \varphi_2)$ от частоты будет выглядеть нелинейной с экстремумами. Из эксперимента исследования изоляции обмотки отмечено, что форма частотных характеристик зависит от изменения индуктивности, т.е. от витковых замыканий обмотки; изменения формы от вибрации конструктивных элементов; «пожар» в стали и т.д.

Если эти величины не изменились, а изменилась величина емкости обмотки по причине увлажнения, старения, изменения химсостава, то частотная характеристика по форме существенно не измененная, а смещается в сторону начало координат: т.е. на одной фиксированной частоте, выбранной для мониторинга напряжения, она была, соответственно, на экстремуме, то при деградации материала изоляции будет иной за счет смещения.

Материал изоляции, применяемый в электроприводе – целлюлоза, лакоткань, трансформаторное масло, хлопчатобумажная оплетка провода, диэлектрическая проницаемость равна $\epsilon = 2 - 4$. А у воды $\epsilon = 81$, то есть при увлажнении, при относительно постоянной индукции произойдет смещение (дрейф) частот, характеристик.

Описанное явление возможно использовать в мониторинге состояния изоляции материала, которая зависит от увлажнения старения изменения химического состава материала изоляции. Если интенсивность частоты разрядов превышает предыдущие измерения, то надо принять меры по «освежению» изоляции электрического оборудования.

Состояние изоляции напрямую зависит от температуры нагрева, охлаждения, вибрации обмотки. Эти параметры являются предметом мониторинга.

Для определения собственной частоты обмотки с изолированной нейтралью можно использовать формулы [6]. Для определения длины кабеля электротехнического оборудования, в части обмотки электродвигателя, можно использовать формулу [7]:

$$\omega = \frac{(n\pi)^2}{4\sqrt{L''C_g \left[1 + \frac{K}{C_g} \left(\frac{n\pi}{2} \right)^2 \right]}} \quad (1)$$

где $L'' = \frac{\mu_0 N^2 2\pi R_m l}{h}$ – индуктивность; N – число витков; R_m – средний радиус обмотки; l – высота обмотки; h – средняя длина магнитной линии $h=b+2l/3n$; b – толщина обмотки; $K = \frac{K'}{n}$ – полная межиндуктивная (продольная) емкость; K – междуслойная емкость слоя; n – число слоев; $C_g = C_5 + C_n$ – полная емкость обмотки; C_5 – емкость обмотки относительно бака трансформатора; C_n – емкость между обмотками (относительно низковольтной обмотки).

Приведено трансцендентное уравнение, с помощью которого, можно оценить длину L , м, кабельной линии при которой возникает резонанс:

$$f = \frac{v}{4l} \left[1 - \frac{2}{\pi} \arctg(2\pi f C_{BX} Z_C) \right], \quad (2)$$

где f – частота колебаний напряжения в системе «питающий кабель – трансформатор», Гц; v – скорость распространения волны по кабелю, м/с; C_{BX} – входная ёмкость трансформатора, Ф; Z_C – волновое сопротивление кабеля, Ом.

В результате применения описанного выше метода диагностики технического состояния обмоток высоковольтных электродвигателей возможно автоматизировать процесс оценки остаточного ресурса работы электрических приводов в технологическом оборудовании. Данная система обеспечит бесперебойность работы автоматизированных технологических процессов, в частности промышленных предприятий.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».
2. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов/ под ред. А.Н. Назарычева. - М.: «Инфра-Инженерия», 2006. - 928 с.
3. Епифанцев Ю.А., Полищук С.В. Мониторинг и диагностика механических объектов / Сиб. гос. индустриал. ун-т. - Новокузнецк, 2009. - 61 с.
4. Акимов Н.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. - М.: Академия, 2008. - 300 с.
5. Геллер В. Веверка А. «Импульсные процессы в электрических машинах», перевод с англ. М.Энергия 1973 г., 440 с.
6. Макарова Н.Л., Ахметшин Р.С. Диагностирование состояния изоляции силовых трансформаторов сельских электрических сетей, монография – Москва: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2012 г.
7. Ларин В.С., Матвеев Д.А., Максимов Б.К. научная статья «Особенности высоковольтных резонансных перенапряжений в обмотках распределительных трансформаторов 6-35 кВ», опубли. научно-техн. журн. Энергия единой сети № 3 (45) июнь-июль 2019 г., ФСК ЕЭС РФ

2.3.3.

¹Л.Д. Ибрагимов, ²И.И. Нуреев,
^{2,3}Рин.Ш. Мисбахов, ²В.В. Садчиков, ²Л.М. Сарварова

¹ООО «НПК «Сенсорика»,
Сколково,

²Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
кафедра радиофотоники и микроволновых технологий,
Казань, OGMorozov@kai.ru,

³Университет Иннополис,
Иннополис

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МАКЕТИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КАМЕРЫ БРЭГГОВСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

В работе представлено имитационное моделирование системы опроса датчиков электрострикционных деформаций на трехкомпонентной адресной волоконной брэгговской структуре (ТАВБС) и макетирование высоковольтной камеры для установки указанных датчиков и дальнейших экспериментальных исследований оптического измерительного трансформатора напряжения (ОИТН).

Ключевые слова: оптический измерительный трансформатор напряжения; цифровой интерфейс; электрострикция в оптических волокнах; трехкомпонентная адресная волоконная брэгговская структура; имитационное моделирование; макетирование высоковольтной камеры

Введение. Использование ТАВБС [1-5] в качестве датчиков электрострикционных деформаций обусловлено возможностью использования любой ее компоненты в качестве информационной, а двух других в качестве адресных. При этом датчики могут иметь общую центральную компоненту, а их адреса определять соответствие фазным и нейтральным представлениям. Сверхузкополосные компоненты ТАВБС (до 100 пм) позволят в пять раз увеличить разрешающую способность измерения напряжения по сравнению с классическими решетками Брэгга.

Имитационная модель ОИТН. ОИТН на основе ТАВБС в программной среде OptiSystem приведен на рис. 1 и предполагает использование принципов [6], разработанных ранее для ВБР.

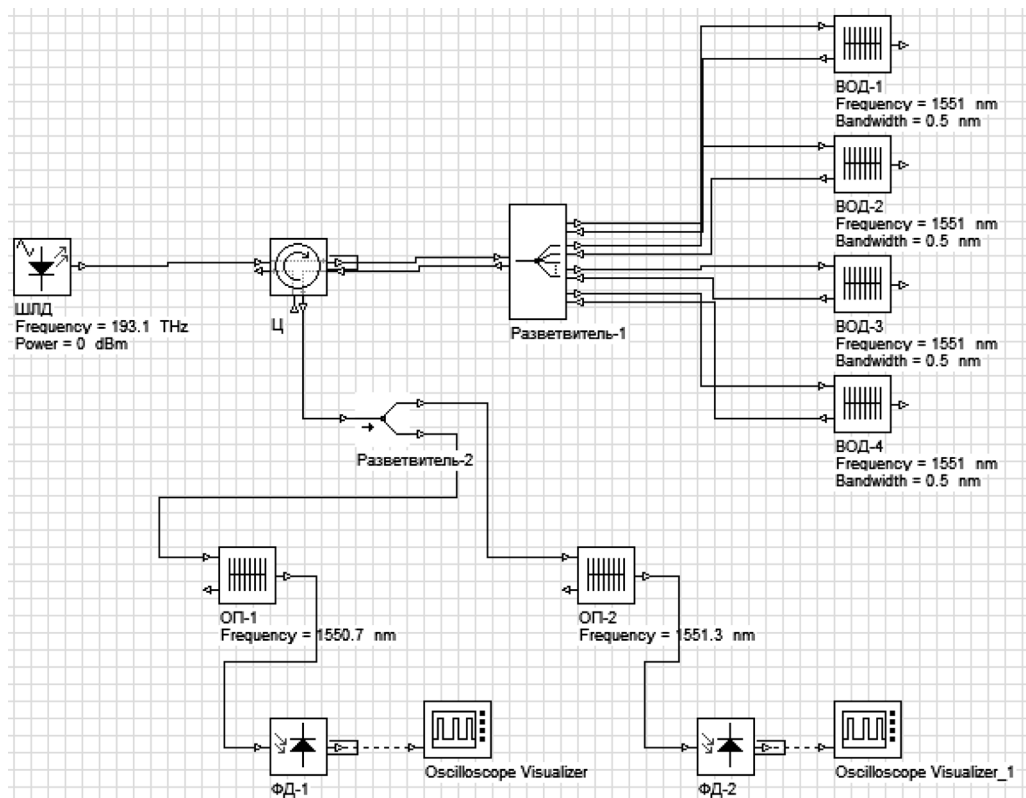


Рис. 1 – Модель ОИТН

Схема включает в себя четыре датчика стрикционных деформаций под воздействием напряжения на ТАВБС ВОД-1 – ВОД-4 на основе ТАВБС (по одному на каждую фазную и нейтральную шину) и две опорные ВБР ОП-1 и ОП-2, сопряженные с фотодиодами ФД-1 и ФД-2 соответственно. В качестве устройства индикации применяется осциллограф (Oscilloscope Visualiser).

Принцип работы устройства регистрации и обработки может быть пояснен спектральными диаграммами опорных ВБР и измерительной составляющей ТАВБС (рис. 2). При электрострикционной деформации ТАВБС датчика и его смещении в длинноволновую область (вправо по рис. 2) изменяется уровень мощности, прошедший на ФД-1, ограниченный опорными ВБР ОП-1 и ОП-2.

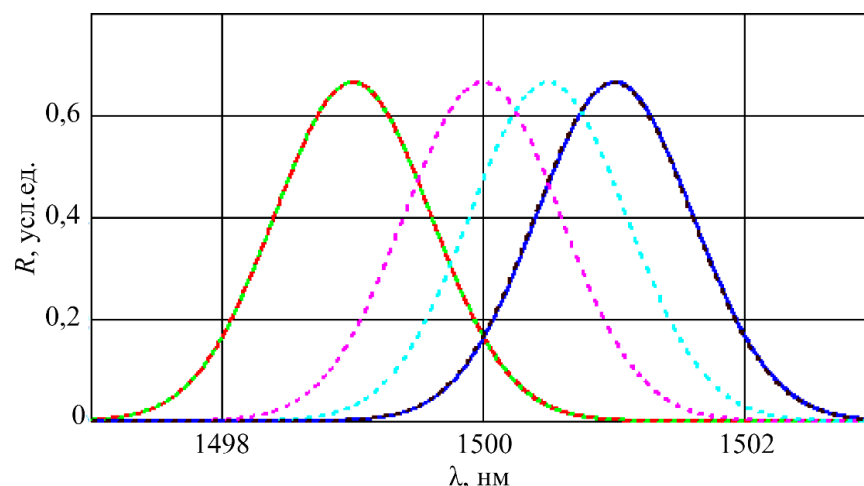


Рис. 2 – Спектры ТАВБС (---) (любая адресная компонента одного ВОД) и двух крайних опорных (—) ВБР

при различных значениях приложенного напряжения

В качестве информационного параметра используется соотношение:

$$S = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2}, \quad (1)$$

где $S1$ и $S2$ – мощность оптического сигнала на входе ФД-1 и ФД-2 соответственно от информационной компоненты (ИК) одной ТАВБС. На рис. 3 показаны спектры отраженного от ИК оптического излучения (рис. 3, а), на входе ФД-1 (рис. 3, б) и ФД-2 (рис. 3, в) в случае расположения ИК посередине между опорными.

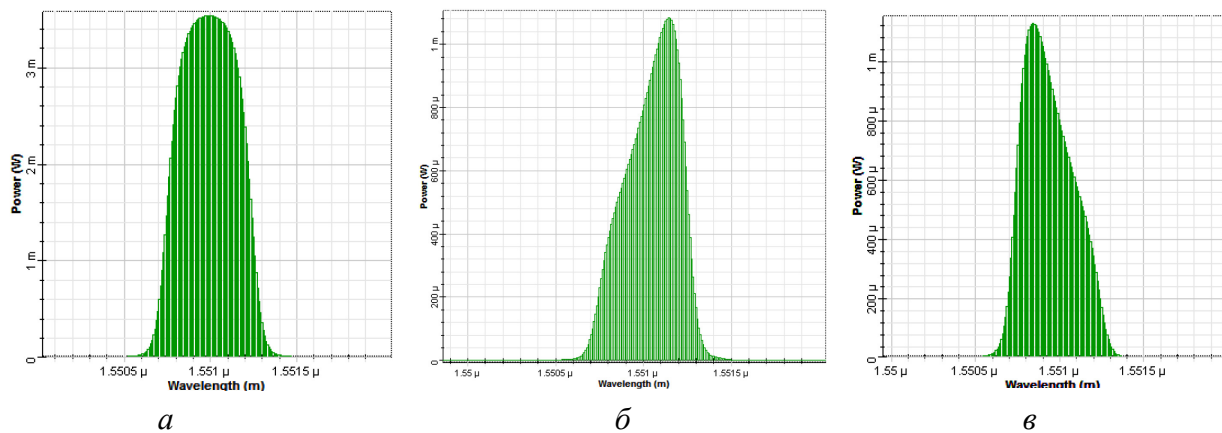


Рис. 3 – Спектры ВБР

На рис. 4 представлена измерительная характеристика датчика: по оси OY отложен размах напряжения с выхода фотоприемника, по оси OX – прикладываемое напряжение.

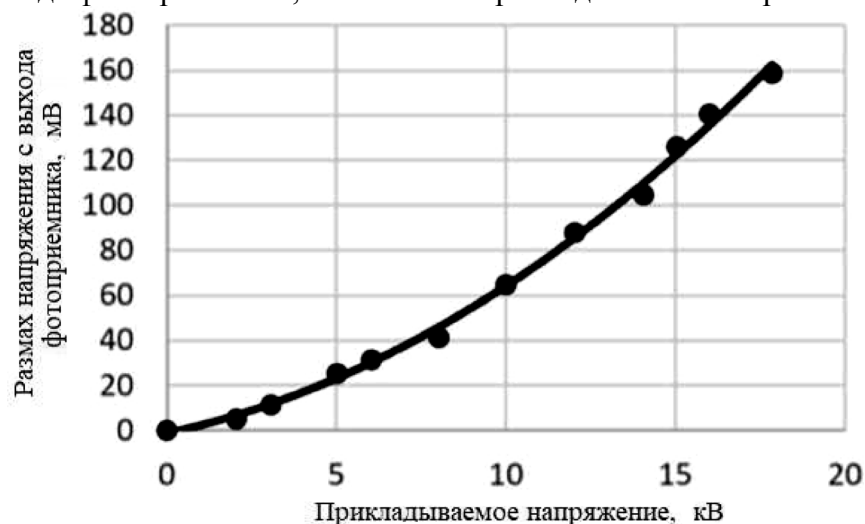


Рис. 4 – Измерительная характеристика ОИТН на основе ТАВБС

Полученные данные аппроксимируются полиномом второй степени с погрешностью не более 4 %.

Макетирование высоковольтной камеры. Высоковольтная камера была смоделирована в пакете CST Multiphysics (рис. 5 и рис. 6).

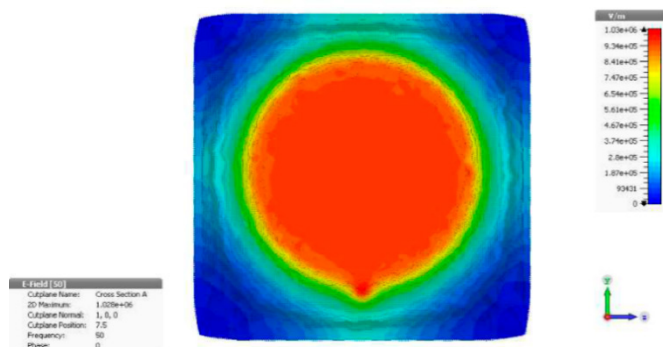


Рис. 5 – Пластина высоковольтной камеры при приложении напряжения в 10 кВ (вид сверху)

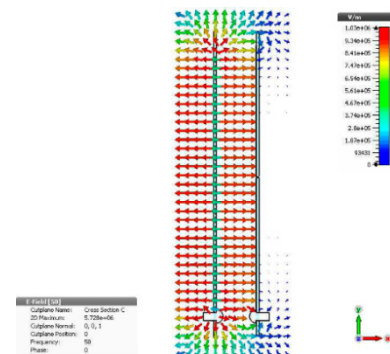


Рис. 6 – Распределение электрического поля в пластине

2.3.3.

¹А.А. Иевская, ²Н.А. Лукина, ³С.В.Степанова¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, roza01191@mail.ru,²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
lukina-7171@mail.ru,³Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com**РЕМОНТ ШЛЮЗ-РЕГУЛЯТОРА №1 ХОРОБУТСКОЙ СЛЮ»**

Лиманное орошение – затопление паводковыми водами сенокосных угодий – единственный вид массового увлажнения почв в Якутии. Применение данного вида увлажнения обосновано природно-климатическими условиями, техническими возможностями проекта и высоко эффективностью в годы неустойчивого увлажнения. Наряду с этим имеется ряд таких недостатков, как переувлажнения по понижениям сенокосного угодья, которые снижают коэффициент использования земли. В статье описывается ряд ремонтных работ для эксплуатации шлюз-регулятора №1 Хоробутской системы лиманного орошения.

Ключевые слова: *лиманное орошение, использование земли, шлюз-регулятор, водоснабжение.*

Одними из самых острых проблем при ремонте гидротехнических сооружений являются восстановление и гидроизоляция бетонных конструкций. Над этим много работают и в России, и в других странах. Значительные успехи, в частности, достигнуты в совершенствовании свойств специальных составов для ремонта бетона. Наибольшие разрушения бетона гидротехнических сооружений наблюдаются в зоне переменного уровня при наличии суровых климатических условий, т. е. при частой смене замораживания и оттаивания насыщенного водой бетона. Основной формой разрушения являются каверны в бетоне в пределах зоны переменного уровня.

С целью восстановления (укрепления) бетона могут быть использованы: цементация, инъектирование бетона полимерными материалами, удаление разрушенного (дефектного) бетона с заменой его новым в локальной части конструкции.

Участок строительства находится в 4 км юго- западнее от с. Хоробут, Мегино-Кангаласского улуса. В географическом отношении рассматриваемая территория расположена на юго-восточной окраине Средне-Сибирского плоскогорья. В орографическом отношении исследуемый район расположен в юго-восточной части Центрально-Якутской равнины, которая с юга и востока обрамляется Приленским плато и приурочен к Лено-Амгинскому междуречью. Лено-Амгинское междуречье представляет собой аллювиальную террасированную равнину, Сформировавшуюся в результате деятельности рек Лена, Амга, Алдан и их притоков. Равнина слабо наклонена на север и на запад, Абсолютные отметки ее поверхности колеблются от 200-300 метров на юге и до 80-180 метров на север. Демонтаж сооружений, расположенных на территории, производится для восстановления понура ШР №1 Хоробутской СЛЮ. Перечень сооружений, подлежащих демонтажу, представлен в таблице. Разбираемые сооружения предварительно тщательно обследуются с целью выявления технического состояния конструктивных элементов. Целью обследования является уточнение данных о степени износа, объемных работ.

№	Наименование	Строительный объем, м ³	Примечание
1	Понур	5,85	Демонтаж

До начала работ по демонтажу ограждение участка производства работ должно быть проверено на наличие неогражденных участков и проемов, ворота на территорию строительной площадки должны быть закрыты. Ограждение опасных зон устанавливается за пределами опасной зоны работы строительных механизмов и зоны обрушения согласно СНиП 12-03-2001. Для предупреждения людей об опасности выполнить установку предупредительных надписей и указателей. Бетон М350 В25 является одной из самых востребованных разновидностей. Это объясняют его характеристики и доступная стоимость: оптимальное качество и принадлежность к сегменту «тяжелых» смесей позволяет использовать материал во многих видах работ, при этом цена бетона М 350 В25 позволяет рационально подойти к выполнению поставленных задач. Качество и параметры бетонной смеси марки М 350 В25 позволяют использовать ее для производства изделий и конструкций с высоким и экстремальным уровнем нагрузки. Главным фактором является прочность, соответствующая классу В 25: 1 кубический метр материала, выдерживает давление 25 МПа. Плотность обеспечивает высокое сопротивление готовых изделий поверхностному и конструктивному износу.

Раствор обладает рядом ключевых характеристик:

-усадка конуса и подвижность в пределах П2-П4. Показатель увеличивается путем добавления в состав специальных компонентов – пластификаторов;

-класс морозоустойчивости F200. Материал выдерживает около 200 изменений температуры относительно 0 °С, сохраняя форму и целостность;

-водонепроницаемость W8. Показатель свидетельствует о способности бетонных изделий не пропускать воду под значительным давлением. Это важно для строительства в местностях с особыми геологическими показателями, где грунтовые воды проходят близко к поверхности.

Бетон М350 В25 прост в использовании, быстро высыхает, обеспечивая надежную фиксацию. Чтобы во время транспортировки раствора к месту проведения ремонта или строительства он не испортился, целесообразно заказать смесь с доставкой специализированным транспортом. В состав бетона М350 В25 входит значительное количество цемента, что и является основой его надежности. Кроме него для производства раствора используются такие компоненты: щебень, вода, песок, пластификаторы, антифризные добавки. Утвержденный стандарт предусматривает возможность использования мелкого, среднего и крупнозернистого песка, щебня различного типа. После изготовления тестированием раствора занимается строительная лаборатория, и на основе полученных данных составляется сопроводительная документация. Бетон М350 В25 используется в частном и коммерческом строительстве. Раствор позволяет выполнить ряд задач и оптимизировать расходы. Устойчивость к разрушительному воздействию воды, вибрации, деформациям позволяет применять данную марку материала для работы в местности с повышенной сейсмической активностью [1-5].

Расчет арматуры:

$$7000 \times 150 = 46 \text{ рядов}$$

$$6000 \times 150 = 39 \text{ рядов}$$

- В метрах 549 м

$$46 \times 6 = 276 \text{ м}$$

$$39 \times 7 = 273 \text{ м}$$

- Вес 549 метров арматуры будет составлять 663, так как армирование будет в два слоя, то конечный вес 1326 кг (1,326 т.)

Расчет бетона:

$$S = (6\text{м} + 7\text{м}) \div 2 \times 6\text{м} = 39\text{м}^2$$

$$V (\text{понур}) = 39 \times 0,15 = 5,85 \text{ м}^3$$

$$V = 0,14\text{м}^3$$

Средняя цена арматуры Ø14 А-III в РС(Я) за 1 т. в среднем 82 тысячи рублей:

$$1,326 \times 82 = 108,732 \text{ тыс.руб.}$$

Средняя цена бетона В25 М350 в РС(Я) за 1 м^3 в среднем 7 тысяч рублей

$$6 \text{ м}^3 \times 7 = 42 \text{ тысяч рублей}$$

Чрезвычайные ситуации в разрабатываемом проекте могут случиться только в случае прорыва плотин во время прохождения весенних паводков. Плотина располагается в 4 км, от населённого пункта с. Хоробут, затопления нижележащих населенных пунктов исключается в связи с тем, что населенные пункты располагаются на достаточно большом расстоянии от объекта во время прохождения весеннего паводка на сооружении, организовывается круглосуточное дежурство силами существующего. Около объекта постоянно находится необходимый запас материалов и инвентаря, а во время прохождения весеннего паводка устанавливается круглосуточное дежурство необходимой техники (бульдозеры, автосамосвалы, погрузчики и т.п.). Необходимый запас материалов ежегодно пополняется по мере ее расходования. Для ликвидации последствий в период прохождения весеннего половодья в части разрушения сооружений гидроузлах необходимо производить ежегодно запас инертных, строительных материалов, инструментов и прочего инвентаря [3-6]. Особо важным является своевременный отвод от сооружения плавающих деревянных предметов сена, солома, которые при подходе к сооружению создают неблагоприятные условия по пропуску воды, а именно сужают площадь сечения подводящей и водосливной частей сооружения. Это приводит к уменьшению пропускной способности сооружения и резкому поднятию уровня воды перед ним.

Список литературы

1. Строительство и эксплуатация систем сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения / Черемисинов А.Ю., Черемисинов А.А. 2015г.
2. Мелиорация. Учебное пособие / А.В. Шуравилин, А.И. Кибика. - ЭКСМОС. 2006. - 944 с.
3. Гидротехнические мелиорации: Учебник. 4-е изд. / Бабилов Б.В. Изд-во «Лань». Санкт-Петербург. 2005. - 304 с.
4. Мелиорация почв. Учебник / Ф. Р. Зайдельман. Серия: Классический университетский учебник. - МГУ, 2003 г. - 448 с.
5. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск, -2022. с. 187-194.
6. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Использование техники для управления машинно-тракторным парком. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск. -2022. с. 195-204.

2.3.3.

¹К.И. Калашников, ²М.Н. Иванова, ³С.В. Степанова¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, kalashnikovkir@mail.ru,²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
ivanovaMN@mail.ru,³Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com

ОРГАНИЗАЦИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА КУОЛАГЫ С. ЧУРАПЧА

Основной задачей водохранилища, является увеличение условия жизнедеятельности сельских населённых пунктов и сельскохозяйственного производства, сохранения и эффективного использования водного ресурса. В статье описываются пути улучшения и произвести расчет экономического эффекта от предлагаемых мероприятий по организации капитального ремонта водопропускного сооружения водохранилища Куогалы с. Чурапча, Чурапчинского улуса РС(Я).

Ключевые слова: водохранилище, водопропускное сооружение, водный ресурс, гидротехническое сооружение.

По условиям влагообеспеченности Чурапчинский улус относится к засушливым. Водохранилище «Куогалы» является единственным близлежащим водоисточником для микрорайона Куогалы с. Чурапча и в данное время для безопасного пропуска паводковых вод и сохранения НПУ в водохранилище нужно принять решения для создания благоприятного условия для населения и так же учесть влияния мероприятий связанные с ремонтом гидротехнического объекта на водные ресурсы и окружающую природную среду.

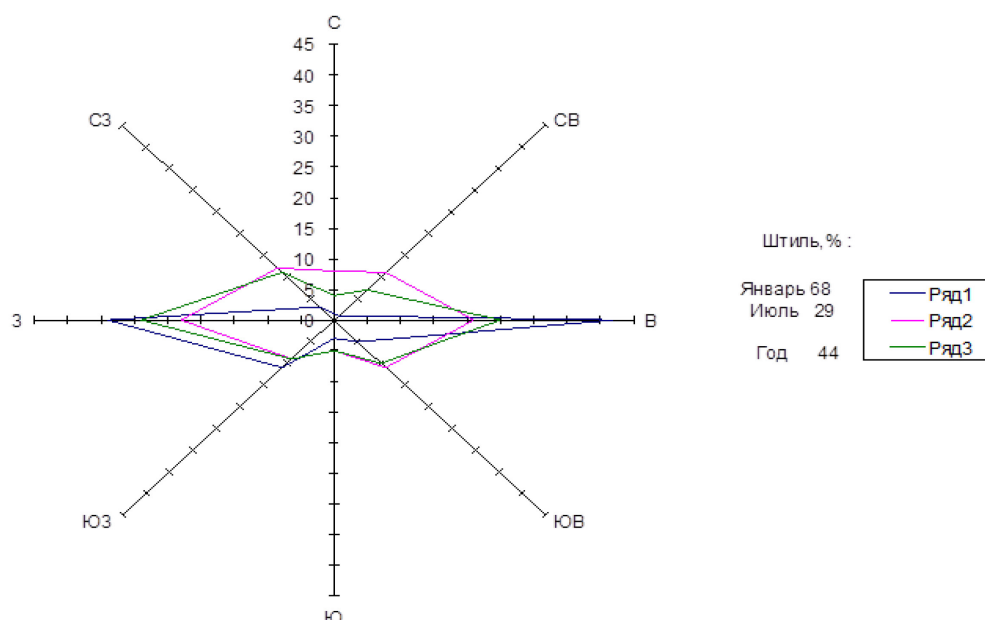


Рис.1 – Роза ветров в метеостанции Чурапча

По условиям влагообеспеченности Чурапчинский улус относится к засушливым, среднегодовое количество осадков в Чурапче составляет 220 мм. Осадки распределяются по сезонам года неравномерно. Максимум осадков приходится на июль, в период, когда для растений характерна наибольшая энергия роста. Основными негативными последствиями за время эксплуатации ГТС являются:

- размыв водоскатной части водосливного сооружения;
- деформация ледозащитного сооружения вследствие выпучивания железобетонных свай;
- недостаточная пропускаемая способность сифонного водосброса;

Для устранения негативных явлений при эксплуатации автосбросного сооружения, обеспечения безопасной эксплуатации гидроузла на основе анализа состояния сооружения предлагается следующий перечень мероприятий по капитальному ремонту гидротехнических сооружений:

1. Обеспечение устойчивости водосливного сооружения к размыву.
2. Обеспечение противофильтрационной устойчивости водосбросного сооружения.
3. Обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений и проведения ремонтных работ.

Основной задачей создания водохранилища является пропуск в нижний бьеф необходимого количества воды для пополнения водоемов для водозаборных узлов.

Исходные данные для расчета:

1. Численность населения – 7500 чел.
2. Нормативное водопотребление – 80 л/сут.
3. Сроки водопотребления – июнь – сентябрь.

Объем водопотребления составит:

$$V_0 = V_3 + V_{\text{пот}};$$

Где; V_3 – объем забора воды;

$V_{\text{пот}}$ – объем потери воды на испарение;

$$V_3 = 7500 \cdot 80 = 600 \text{ м}^3/\text{сутки};$$

$$V_{\text{пот}} = 368 \text{ мм} \cdot 60000 \text{ м}^2 = 22,1 \text{ тыс. м}^3/\text{сезон};$$

Где; 368 мм – испарение с водой поверхности за июнь-сентябрь в маловодные годы;

60000 м² - площадь поверхности водоемов;

$$\text{Тогда: } V_0 = 600 + 22100/4 \cdot 30 = 786 \text{ м}^3/\text{сутки};$$

С учетом быстрого наполнения водоемов пропускная способность составит: $Q = 27$ л/сек;

Диаметр труб определяем из формулы:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH};$$

Где; ω - площадь сечения водовыпуска;

H - разность уровней мертвого объема водохранилища определяем исходя из полезного объема: $V_{\text{пол}} = +V_{\text{пот}};$

Где: $V_{\text{исп}}$ - потери на испарение;

$$V_{\text{исп}} = 460 \text{ мм} \cdot 510000 \text{ м}^2 = 234,6 \text{ тыс. м}^3;$$

$V_{\text{пот}}$ – объем водопотребления;

$$V_{\text{пот}} = 786 \cdot 30 \cdot 4 = 93,6 \text{ тыс. м}^3;$$

$$\text{Тогда: } V_{\text{пол}} = 234,6 + 93,6 = 328,2 \text{ тыс. м}^3.$$

Принимая, полезный объем водохранилища равным 350,0 тыс м³ определяем уровень УМО=171,1 м.

$$\text{Тогда, расчетный напор } H = 171,1 - 169,6 = 1,5 \text{ м.}$$

Проектируемое сооружение относится к сооружениям IV класса капитальности, и расчетный расход принят равным максимальному расходу весеннего паводка 5% обеспеченности-18 м³/сек, а поверочный расход-45 м³/сек. Отметка уровня воды в нижнем бьефе рассчитана, исходя из пропускной способности естественного русла, и составляет 171,3 м. Отметка дна отводящего канала принята 169,60 при отметке дна ложбины ниже створа равной 169,57 м. При этом, глубина воды в отводящем канале составляет 1,7 м. Сток р. Куохара формируется в основном в результате таяния снегов запасов на водосборной площади. Река является временным водотоком, лишь в многоводные годы сток длится более месяца. Доля весеннего стока составляет 80 и более процентов от годового. Характерной особенностью для бассейна р. Куохара является задержка и снижение величин при трансформации стока через русловые озера и понижения. Расчет гидрографа весеннего половодья выполнен по методу перехода от гидрографа модели к расчетному гидрографу

путем умножения ординат гидрографа модели на коэффициенты. Строительство автоводосброса на существующей земляной плотине включает в себя следующий комплекс работ: проведение подготовительных работ, производство земляных работ по устройству котлована водосливной плотины, наращивания существующей земляной плотины, заполнения пазух сооружения, устройства отводящего канала, закрытия прорана, вертикальной планировки нарушенного рельефа левого берега и устройства временных перемычек, буровые работы по установке свай ледозащитного сооружения, устройство водосливной части плотины из матрацев Рено и габионов, устройство противофильтрационной свесы из полиэтиленовой пленки с поддерживающим настилом из досок, устройство подстилающего слоя и обратной засыпки из гравийно-песчаной смеси, монтажные работы по устройству сороудерживающей решетки [1-6]. По результатам проведенной работы было обнаружено. Что ряд сооружений не удовлетворяет всем или некоторым своим первоначальным эксплуатационным требованиям по причине отсутствия должного внимания. И, чтобы оценить аварийность состояния объекта, нужно провести тщательную проверку каждого такого строения, оценить объем средств на его капитальное восстановление, риски и последствия возможных аварий. А причинами аварий на гидротехнических сооружениях чаще всего происходят в результате разрушения основания строения. Неправильная эксплуатация тоже может стать причиной аварии, но не в короткие сроки. Если были просчеты в проекте объекта или нарушения при строительстве - это проявится в первые годы работы сооружения и тогда придется в срочном порядке дорабатывать конструкцию. Для Чурапчинского улуса данное сооружение и водохранилище имеет важную роль и для увеличения безопасности плотины требуется восстановить аварийный водосброс с расходом 18 м³/с для безопасного пропуска повышенных расходов из водохранилища. В связи с этим требуется обеспечить регулярное наблюдение за безопасностью плотины. Потому реконструкции гидротехнических сооружений в настоящее время актуальна. Ведь недостаточно применить дорогостоящие материалы и оборудование, главное сделать это обоснованно с учетом экономической целесообразности и эффективного использования водного ресурса РС(Я).

Список литературы

1. *Сологаев В.И.* Водоснабжение и водоотведение : учебное пособие / В. И.Сологаев. - Омск : СибАДИ, 2020.
2. *Пташкина-Гирина О.С.* Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение : учебное пособие / О. С. Пташкина-Гирина, О. С. Волкова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021.
3. Гидротехнические мелиорации: Учебник. 4-е изд. / Бабинов Б.В. Изд-во «Лань». Санкт-Петербург. 2005. - 304 с.
4. Мелиорация почв. Учебник / Ф. Р. Зайдельман. Серия: Классический университетский учебник. - МГУ, 2003 г. - 448 с.
5. *Кокиева Г.Е., Осмонов О.М.* Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск,-2022. с. 187-194.
6. *Кокиева Г.Е., Осмонов О.М.* Использование техники для управления машинно-тракторным парком. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск.-2022. с. 195-204.

2.3.3.

¹Т.М. Коменданова, ²М.Н. Иванова, ³С.В. Степанова¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, tkomendanova@mail.ru,²Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
ivanovaMN@mail.ru,³Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В СХПК "КРЕСТЯХ" СУНТАРСКОГО УЛУСА

В современном мире, есть множество решений проблемы недостатка влаги, проводят мелиоративные, осушительные, увлажнительные и оросительные мероприятия. Исходя из вышеизложенного, в статье описывается создание проекта орошения картофеля дождевальными машинами барабанного типа на земельном участке СХПК «Крестях» Сунтарского улуса Республики Саха (Якутия).

Ключевые слова: водохранилище, водопропускное сооружение, водный ресурс, гидротехническое сооружение.

Объектом нашей исследовательской работы является один из известных для Сунтарского улуса сельскохозяйственный производственный кооператив «Крестях», который находится в селе Крестях. СХПК «Крестях» создан в 2008 году на осуществления сельскохозяйственной деятельности по производству сельхоз продукции. Питательная ценность картофеля невелика, в нем содержится больше углеводов, чем белка и жиров, но его значение в большом количестве витаминов. Содержит умеренное количество железа, а высокое содержание витамина С способствует его усвоению организмом.

Определяются ежедневная потребность в машинно-тракторного парка СХПК «Крестях» по всем работам, полученные результаты выравниваются. Выравнивание ежедневной потребности обеспечивается следующими приемами:

- заменой одних марок, потребность в тот или иной день максимальна, тракторами других марок, которые в этот период не заняты или потребность в них незначительна;
- смещение агротехнических сроков выполнения отдельных совпадающих по времени работ на более ранние или поздние сроки в допустимых пределах;
- перераспределением объемов, совпадающих по времени работ в рамках агротехнического срока и соответствующего числа в момент совпадения работ выполняется минимально возможный их объем.

Повышение эффективности использования имеющихся машинно-тракторного парка позволит без дополнительных инвестиций увеличить объем механизированных работ, сократить сроки их выполнения, повысить уровень механизации трудоёмких процессов, снизить себестоимость продукции. Дождевальные машины барабанного типа получили широкое распространение. Они могут работать на полях малого и большого размера, обеспечивают полив угодий со сложным рельефом, работают на полях нестандартной формы. Барабанные машины просты конструкционно и обеспечивают равномерный полив требовательных к влаге сельскохозяйственных культур [1-6]. Орошаемый объект находится на расстоянии 1,54 км от главной дороги к съезду в село Крестях. Земельная территория называется «Малая Табага» общей площадью 250га. На рисунке 3 изображена территория, где будет сажаться картофель, составляет 40 га. Белым выделен объект работы, красным трубопроводы.



Рис. 1 – Структурно-логическая факторная модель объема тракторных работ



Рис. 2 – Координированное расположение

Расстояние в ряду между картофелинами составляет 10 см, а расстояние между рядами 75 см. На 1 га земли посажено 70000 тысяч картофеля. На 40 га примерно 2.800 млн картофеля. Вдоль поля устанавливается полевой магистральный трубопровод длиной 1,10 км диаметром 150 мм, длина одной из составляющих трубопровода 6 метров, выходит магистральный трубопровод состоит из 183 штук труб. К основной магистральной трубе от насоса, установленного у реки Вилуя, проходит еще один трубопровод длиной 1,6 состоящий из 266 труб, стенка труб 4 мм. Материал трубопроводов выполнен из алюминия. Монтаж трубопровода не требует сварочных работ, так как трубы соединяются хомутовым соединением, это обычное быстроразъемное соединение. На стык двух труб одевается резиновое кольцо ПМТ и соединение фиксируется металлической муфтой с помощью закручивания двух болтов. У магистрального трубопровода на расстоянии по 70 метров устанавливаются гидранты, общее количество 16 шт., куда будет подключаться дождевальная машина. Одной из важных составляющих эффективности экономической системы является эффективность капитальных вложений. Эффективность капитальных

вложений измеряется набором показателей, в который входит общий эффект капитальных вложений, норма их доходности, срок окупаемости. Определив сумму строительства оросительной сети ΣK , устанавливают стоимость одного га путем деления общей стоимости на площадь поля, по формуле:

$$P = \frac{\Sigma K}{\omega_{\text{нетто}}}, \text{руб/га} \quad (1)$$

Окончательный вывод об экономической эффективности проекта оросительной системы может быть сделана после того, как будет определена окупаемость вкладываемых затрат. Для этого нужно рассчитать стоимость дополнительного чистого дохода, в конечном итоге проектируемой системы.

Стоимость чистого дополнительного дохода рассчитывается путем установления стоимости продукции, получаемый с участка до введения проектируемых мероприятий и стоимости продукции после их введения. Расчет по определению величины дополнительного чистого дохода ведется по стоимости продукт.

В данный момент урожайность по картофелю в СХПК «Крестях» составляет 10,2 тонн с гектара, после внесение проекта оросительной системы прирост урожая составит почти в два раза, то есть 20,1 тонн с одного гектара.

Прирост продукции составляет 9,9 тонны, при оптовых ценах в с. Сунтар в 55 рублей, прирост дохода составит 544 500 рублей с гектара. Как следствие, чистый доход хозяйства рассчитывается по формуле:

$$\text{ЧД} = \Delta\text{Д} - \text{З}_{\text{доп}} \quad (2)$$

Где $\Delta\text{Д}$ -дополнительный доход за счет повышения урожайности;

В Якутии главную роль для жителей играет выращивание и потребление натуральных продуктов, в особенности картофель, который потребляется у жителей почти в каждом рационе. Но за неимением обеспечить нормой полива растений естественными осадками, во время вегетационного периода, что является самым важным периодом, в конце сезона не удается собрать полноценный урожай. Предложен проект орошения картофеля дождевальной машиной барабанного типа на земельном участке СХПК «Крестях» Сунтарского улуса Республике Саха (Якутия).

Список литературы

1. Андрианов А.П. Системы и сооружения водоснабжения : учебно-методического пособие / А. П. Андрианов, Ж. М. Говорова. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2020.
2. Дерюшев Л.Г. Насосная станция системы водоотведения: учебное пособие / Л. Г. Дерюшев. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2014.
3. Гидротехнические мелиорации: Учебник. 4-е изд. / Бабилов Б.В. Изд-во «Лань». Санкт-Петербург. 2005. - 304 с.
4. Мелиорация почв. Учебник / Ф. Р. Зайдельман. Серия: Классический университетский учебник. - МГУ, 2003 г. - 448 с.
5. Кокиева Г.Е. Осмонов, О.М. Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск,-2022. с. 187-194.
6. Кокиева Г.Е. Осмонов О.М. Использование техники для управления машинно-тракторным парком. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск.-2022. с. 195-204.

2.3.3.

¹Е.Э. Куклина, ²С.В. Степанова¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, e_gunt@mail.ru,²Арктический государственный агротехнологический университет,
инженерный факультет,
Якутск, sonmi2206@gmail.com**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШЛЮЗ-РЕГУЛЯТОРА № 5 ОРОСУНО-НЕГОДЯЙСКОЙ СИСТЕМЫ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ ВЕРХНЕВИЛЮЙСКОГО УЛУСА РС (Я)**

Система лиманного орошения в Якутии применяется для повышения урожайности сенокосных угодий. Без орошения, урожайность в среднем составляет до 1,0–1,5 тонн с гектара. При лиманном орошении с проведением всех необходимых мероприятий (своевременное орошение, культуртехнические мероприятия, внесение удобрений и др.) можно повысить урожайность до 2,5–3,5 тонн с гектара. В статье описывается восстановление (реконструкция) шлюз-регулятор № 5 Оросуно-Негодяйской системы лиманного орошения Верхневиллюйского улуса РС (Я), площадью 566 га является актуальной задачей.

Ключевые слова: водохранилище, водопропускное сооружение, водный ресурс, гидротехническое сооружение.

Шлюз-регулятор №5 является промежуточным водосбросным сооружением в системе лиманного орошения и служит для удержания воды в лимане «Негодях» на расчетный период и последующего сброса ее через лиман Негодях и шлюз № 6 в р. Кюргелях.

Проектируемое сооружение шлюза-регулятора №5 Оросуно-Негодяхской принято реконструируемого деревянного шлюза без изменения параметров. Настоящий шлюз является промежуточным в каскаде и предназначен для удержания воды в лимане на расчетный период и последующего ее сброса, а также сброса воды с вышележащих лиманов через нижележащие шлюзы в р. Кюргелях. Климатические условия района, где расположена Оросуно - Негодяхская система характеризуется данным ближайшей метеостанции Верхневиллюйск. Климат Верхневиллюйского района, как и всей Якутии резко континентальный с очень низкими температурами зимой и очень высокими летом, с незначительными количеством осадков. Площадка строительства расположена в Оросуно–Негодяхской системе лиманного орошения, расположенной в 25 км к юго-востоку от города Верхневиллюйск севернее автодороги, соединяющей его с г. Виллюйск. Проектируемое сооружения предназначено для восстановления работоспособности данной оросительной системы, являясь промежуточным подпорно-водопропускным сооружениям. На площадке располагается глухая земляная плотина, подводящий и отводящий каналы и шлюз-регулятор, построенный в 60-х годах прошлого столетия в деревянном варианте. Деревянные конструкции шлюза сгнили, на месте его расположения образовалась промоина. Узел сооружений не выполняет своих функций, в результате чего вся система орошения находится в не рабочем состоянии (рис. 5).



Рис. 1 – Шлюз-регулятор в деревянном варианте
(построенный в 1960-х годах)

В результате длительной эксплуатации деревянный шлюз - регулятор №5 пришел в негодность.

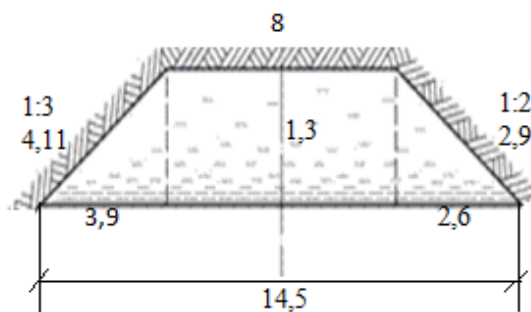
Проект организации строительства (ПОС) разработан на основании утвержденных заказчиком обоснований: технического задания на проектирования, акта выбора земельного участка, решением о предварительном согласовании территории под строительство и т.п., а также технические решения, принятые в проекте с использованием материалов инженерно-геологических, топографических и др. изысканий, действующих нормативных и директивных документов и технической литературы [1-5]. Проектируемый объект расположен в 30 км от г. Верхневилуйска и в 5 км от с. Оросу, 7 км от с. Намцы.

Линии электропередач, связи и др. коммуникации через объект не проходят. Жилых и производственных поселков для нужд строительства на объекте нет. Размещения рабочих и ИТР на участке предусмотрено за счет ВРЗ. Близкий водоисточник для нужд строительства - р.Кюргелях. Объемы основных СМР определены по чертежам и локальным сметам.

Параметры проектируемых сооружений

Плотина:

- длина – 160 м;
- средняя высота – 1,3 м;
- ширина по гребню – 8 м;
- верховой откос – 1:3;
- низовой откос – 1:2;

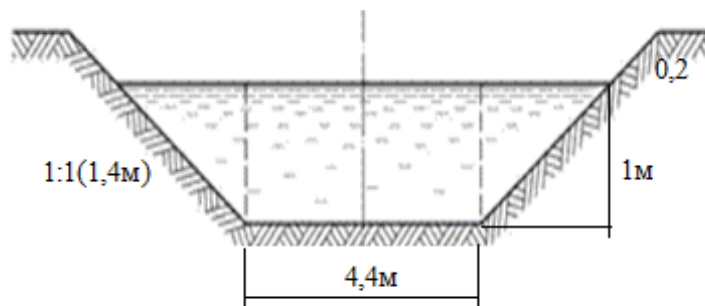


$$s = \frac{a + b}{2} h = \frac{8 + 3,9 + 8 + 2,6}{2} * 1,3 = 14,63 \text{ м}^2$$

$$Q = 14,63 \text{ м}^2 * 160 \text{ м} = 2340 \text{ м}^3$$

Подводящий отводящий каналы:

- общая длина – 627 м;
- ширина по дну – 4,4 м;
- откосы – 1:1.



$$s = \frac{a + b}{2} * h = \frac{1,4 + 4,4 + 1,4 + 4,4}{2} * 1 = 5,8 \text{ м}^2$$

$$Q = 5,8 \text{ м}^2 * 627 \text{ м} = 3636 \text{ м}^3$$

Укладка ПГС (песчано-гравийной смеси)

$$\text{ПГС}_{\text{пл}} = 12,11 * 160 * 0,2 = 387 \text{ м}^3$$

$$\text{ПГС}_{\text{кан}} = 7,2 * 627 * 0,2 = 634 \text{ м}^3$$

Планировочные работы

$$S_{\text{пл}} = (4,4 + 8 + 2,9) * 160 = 2401 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{кан}} = (1,4 + 4,4 + 1,4) * 627 = 4514 \text{ м}^2$$

Таблица 1 - Основные объемы СМР и материалов

№ п.п	Виды работ	Един. измер.	Всего	В т.ч. по сооружениям		
				Шлюз-регулятор	Каналы	Плотина
1	Земляные работы:	м ³	5725	-	3636	2340
2	Укладка ПГС	м ³	1021	-	634	387
3	Планировочные работы	м ²	6915	-	4514	2401
4	Бетонные работы	м ³	431,8	431,8	-	-

По окончании 1 года строительства основные сооружения объекта: шлюза - регулятор, подводящий и отводящий каналы, должны быть готовы для пропуска паводка 2 года строительства. После пропуска паводка выполняются остатки объемов работ и объект готовится к сдаче в эксплуатацию в июне. Проектируемый узел сооружений является внутрихозяйственной системой, поэтому его эксплуатация и содержания осуществляется самим хозяйством с привлечением ГБУ «Управление мелиорации земель и сельхозводоснабжения» МСХ РСЯ).

Техническое руководство по эксплуатации узла осуществляет инженер-мелиоратор Верхневеликийского улуca.

Эксплуатация сооружения заключается в своевременном (в соответствии с режимом орошения) закрытием затвора для заполнения лимана и последующего сброса воды из лимана через нижележащие лиманы и сбросные сооружения в р.Кюргелях.

Список литературы

1. Моргунов К.П. Насосы и насосные станции : учебное пособие / К. П. Моргунов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2018.
2. Гидротехнические мелиорации: Учебник. 4-е изд. / Бабинов Б.В. Изд-во «Лань». Санкт-Петербург. 2005. - 304 с.
3. Мелиорация почв. Учебник / Ф. Р. Зайдельман. Серия: Классический университетский учебник. - МГУ, 2003 г. - 448 с.
4. Кокиева Г.Е. Осмонов О.М. Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск,-2022. с. 187-194.
5. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Использование техники для управления машинно-тракторным парком.Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск.-2022. с. 195-204.

2.3.3.

¹Г.Ф. Кыркунова, ²Ю.А. Шапошников, ³Л.А. Дарбасова,

¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия,
Улан-Удэ, galina.kirkunova@mail.ru

²Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
Барнаул, u_shaposhnikov@mail.ru,

³Арктический государственный агротехнологический университет,
Якутск, darbasova@gmail.com

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТНЕГО ВОДОПРОВОДА С. ЫТЫК-КЮЕЛЬ,
ТАТТИНСКОГО УЛУСА РС(Я)**

Система лиманного орошения в Якутии применяется для повышения урожайности сенокосных угодий. Без орошения, урожайность в среднем составляет до 1,0–1,5 тонн с гектара. При лиманном орошении с проведением всех необходимых мероприятий (своевременное орошение, культуртехнические мероприятия, внесение удобрений и др.) можно повысить урожайность до 2,5–3,5 тонн с гектара. В статье описывается восстановление (реконструкция) шлюз–регулятор № 5 Оросуно-Негодяйской системы лиманного орошения Верхневилуйского улуса РС (Я), площадью 566 га является актуальной задачей.

Ключевые слова: водохранилище, водопропускное сооружение, водный ресурс, гидротехническое сооружение.

Летний вариант водопровода с. Ытык-Кюель, Таттинского улуса, применяется как для полива, так и для хозяйственных нужд, вносит комфорт для населения. Подача достаточного количества воды в населенный пункт позволяет поднять общий уровень благоустройства, и условие развития сельского хозяйства. Село Ытык-Кюель административный центр Таттинского улуса Республики Саха (Якутия). Село расположено в Центральной Якутии, на левом берегу реки Таатта в 257 км наземным путем до города Якутска. Численность населения на 1 января 2012 года - 6728 человек. Основано в 1916 году. С 1930 года стало центром Таттинского улуса. Основное производство - мясо-молочное скотоводство. В селе - комбинат по переработке молока, дом культуры, народный театр, средние, начальные общеобразовательные и музыкальные школы, краеведческий музей, учреждения здравоохранения и торговли. Имеются дом - музей народного художника Якутии Ивана Васильевича Попова, памятники писателям Платону Алексеевичу Ойунскому, Алексею Елисеевичу Кулаковскому и Анемподисту Ивановичу Софронову, лингвисту Эдуарду Карловичу Пекарскому, Герою Советского Союза Федору Матвеевичу Охлопкову, революционерам Виктору Константиновичу Курнатовскому, Петру Алексеевичу Алексееву. На территории Таттинского улуса расположены ресурсные резерваты республиканского значений «Куолума-Чаппанда», который был создан в 1999 году с площадью 580133 га и «Бараайы», который был организован в 2002 году на площади 122887 га.

Ресурсный резерват «Куолума-Чаппанда» разделен на функциональные зоны - абсолютного покоя, традиционного природопользования и рекреации и зоны лицензионного изъятия биологических ресурсов.

Задачами ресурсного резервата «Куолума-Чаппанда» являются: сохранение уникальных, типичных экосистем Алдано-Амгинского междуречья, ресурсов животного и растительного мира, мест их обитания и ареала распространения; охрана мест временных скоплений перелетных птиц, в т.ч. якутской популяции исчезающего вида сибирского журавля - стерха; организация и обеспечение научно-мониторинговых исследований природных компонентов, сообществ, популяций редких исчезающих и хозяйственно важных видов растений,

животных и птиц; сохранение мест нереста и нагула рыб, в т.ч. ценных видов - сига, хариуса, ленка, тайменя, осетра на притоках р.р. Куолума, Чаппанда, Балы-Баалы; обустройство территорий, имеющих особую экологическую и эстетическую ценность, использование их в образовательных, познавательных и научных целях. Улус входит в группу заречных районов и граничит с четырьмя улусами: на юго - западе с Чурапчинским, на северо-западе - с Усть-Алданским, на северо - востоке - с Томпонским, а на юго - востоке - с Усть-Майским. Транспортная связь села Ытык-Кюёль с Якутском осуществляется по федеральной автодороге «Колыма» - постоянно действующей автодороге с гравийно - грунтовым покрытием. В центре села имеется озеро Ытык-Кюёль (Мутовка) с размерами 250×350 м в плане и глубиной до 30 м. Оно является источником хозяйственного водоснабжения посёлка. Летний водопровод - это либо поверхностная прокладка труб, либо очень малозаглубленная. Зимой вода в нем замерзает, пользоваться невозможно. Нагреватели могут работать на таком водопроводе, но круглогодично им пользоваться нельзя, так как разорвет все коммуникации. Как правило, на зимний сезон воду в таких сетях отключают, а трубы полностью сливают, в некоторых местах раскручивая. Весной все скручивается и включается вода. Это удобно только на летних дачных участках. В проектах систем водопровода населённого пункта должны предусматриваться мероприятия по охране окружающей среды, в том числе по охране источников водоснабжения и сооружений водопровода [1-5].

Схема водоснабжения - последовательное расположение этих сооружений от источника до потребителя, взаимное расположение их относительно друг друга. Система водоснабжения - комплекс взаимосвязанных сооружений, обеспечивающих потребителей водой в требуемом количестве и заданного качества. Включает в себя сооружения для забора воды из источника водоснабжения, её транспортирования, обработки, хранения, регулирования подачи и распределения между потребителями. Подача достаточного количества воды в населенный пункт позволяет поднять общий уровень благоустройства, обеспечение водой людей, животных и технологических процессов необходимое условие развития сельского хозяйства. При выборе элементов трассы надо учитывать различные факторы: способ подачи жидкости к местам потребления, условия эксплуатации системы, длину магистрали и ее диаметр и т.д. Чтобы обустроить летний водопровод, нужно ознакомиться с краткими характеристиками элементов, которые могут войти в его конструкцию. Для создания системы в первую очередь необходимо выбрать тип магистрали - разборная или стационарная, а затем подобрать трубы, соответствующие выбранной схеме. В разборных системах детали должны соединяться резьбовыми фитингами или быстросъемными гайками. Стационарную конструкцию сваривают или паяют для получения надежного стыка. В случае подачи жидкости под давлением диаметр зависит не только от объема, но и от длины магистрали. Расчетное численность населения 4910 чел. (70% из всех жителей). По нормативам потребления воды норма на одного человека для хозяйственных нужд составляет 120-180 л/сут. Суточное потребление в воде составляет $4910 \cdot 180 = 883800$ л. = 883,8 куб.м/сут. По примерным нормам расхода воды на семью из 5 человек может быть предусмотрен 900 л. Всего дворов 822 шт. Суточные потребности в воде составят:

$$Q_{\text{сут. max}} = K_{\text{сут. max}} \cdot Q_{\text{ср сут.}} = 1,3 \cdot 883800 = 1148940 \text{ л/сут.} = 1148,94 \text{ куб.м/сут.}$$

($K_{\text{сут. max}}$ - Коэффициент суточной неравномерности максимальный)

Для расчета объема цилиндра применяют формулу: $V = \Pi \cdot R^2 \cdot L = \Pi \cdot (d^2 / 4) \cdot L$

Труба с диаметром условного прохода 110 мм будет иметь объём: $V = 3,14 \cdot 10^2 / 4 \cdot 2400 = 188400 \text{ см}^3$. Переводим в кубические метры $0,000001 \cdot 188400 = 0,1884$ кубических метра.

Следовательно, объем трубы: V в литрах = $188400 \cdot 0,001 = 188,4$ литра

Система водоснабжения является неотъемлемым элементом современного хозяйства. Недооценить необходимость водоснабжения тяжело, и если в городе не сильно задумываемся об этой системе, так как водоснабжение является обязательным оснащением любого городского дома, тогда когда в улусах и загородных частных домах монтаж систем

водоснабжения - это головная боль. Создание сезонного водопровода на участке является задачей довольно несложной. Следуя подробным инструкциям, не должно составить труда обустройство водопровода. Нужно только определиться с типом водопровода, с видом труб и можно приступать к расчетам и последующему монтажу. Водоснабжения должен удовлетворять следующим основным требованиям: обеспечивать бесперебойность снабжения водой потребителей; давать воду такого качества, которое в наибольшей степени отвечает нуждам потребителей или позволяет достичь требуемого качества путем простой и дешевой ее очистки; обеспечивать возможность подачи воды объекту с наименьшей затратой средств; обладать такой мощностью, чтобы отбор воды из него не нарушал сложившуюся экологическую систему.

Вносимые предложения

Приобретение модульных водоочистных, фильтрационных станций для улучшения качества подаваемой воды.

Создание самотечного водопровода. Его использование уменьшает количество включений насоса. Вода в бак закачивается насосом из любого источника до достижения заданного уровня, а затем устройство автоматически отключается. Для этого в емкости предусмотрен поплавковый выключатель. Ожидаемые сроки реализации 2022-2023 гг.

Список литературы

1. Новикова И.В. Инженерные изыскания в мелиорации : учебное пособие / И. В. Новикова. — Новочеркасск : Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ, 2019.
2. Гидротехнические мелиорации: Учебник. 4-е изд. / Бабилов Б.В. Изд-во «Лань». Санкт-Петербург. 2005. - 304 с.
3. Мелиорация почв. Учебник / Ф. Р. Зайдельман. Серия: Классический университетский учебник. - МГУ, 2003 г. - 448 с.
4. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Исследование проблем механического воздействия техники на почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск,-2022. с. 187-194.
5. Кокиева Г.Е., Осмонов О.М. Использование техники для управления машинно-тракторным парком. Современные проблемы агропромышленного комплекса и пути их решения: сб. материалов научно-практ. конф. «Ларионовские чтения», Якутск.-2022. с. 195-204.

2.3.3.

А.В. Чупаев канд. техн. наук, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
кафедра Систем автоматизации и управления технологическими процессами,
sautp@yandex.ru, roman-grt@mail.ru, aprilrain91@yandex.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИДЕОФИКСАЦИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

В данной статье представлено описание системы видеофиксации, которая способна в автоматическом режиме проводить длительную съемку выбранного объекта с последующим преобразованием полученного материала в видеоролик небольшой продолжительности. Развитие электронной и фото техники привело к созданию современных систем, которые используются во всем мире для видеофиксации процессов, происходящих на протяжении разного количества времени. Подобный род систем применяется для видеофиксации процессов в различных областях, например, таких как природа, наука, строительство и т.д. Данные системы производят серию фотоснимков с одного фиксированного ракурса через равные промежутки времени, затем полученный ряд снимков сшивается в один видеоролик. Сегодня существует множество производителей таймлапс систем. Большинство из которых ориентированы на видеофиксацию определенных процессов или для строго определенных условий проведения съемки, что существенно сокращает область их применения.

Ключевые слова: видеофиксация, камера, обработка изображений, таймлапс.

Процесс съемки представляет собой фиксацию изображения на светочувствительном элементе камеры. Полученные изображения, при определенной скорости их просмотра, позволяют наблюдать протекающие во времени длительные процессы. В связи с развитием цифровых технологий возрос спрос на процедуру видеофиксации различных процессов, протекающих в течение продолжительного времени. Причиной этому стало желание человека ускорить процесс наблюдения за достаточно длительными процессами.

В настоящее время сформировалось вполне четкое определение понятия «Таймлапс съемка», как принято сейчас называть процесс длительной видеофиксации. Суть заключается в длительной видеофиксации какого-либо процесса с одного ракурса и с заданным под конкретную задачу интервалом времени, в основе которой лежит покадровая съемка объекта и сборка видеоролика из получившихся кадров [1].

Так как существует только концепция создания таймлапс систем, то готовых решений на рынке подобного оборудования найти невозможно. Поэтому мировые производители систем длительной видеофиксации производят подобные устройства, используя комбинацию комплектующих разных производителей. Основными мировыми производителями данных систем являются Harbortronics (США), Cornerstone Solutions (Австралия), Brinno (Нидерланды), Wingscapes (Китай), Тайм Технолоджи (Россия).

Проведя анализ характеристик систем длительной видеофиксации представленных производителей можно сделать вывод, что многие разработчики таких систем сделали их строго ориентированными на видеофиксацию определенных процессов или для строго определенных условий проведения съемки, что существенно сокращает область их применения [2]. Также следует отметить, что не все производители используют полноценные фотокамеры в качестве главного устройства для видеофиксации, что влечет за собой снижение качества получаемого материала и снижение функционала. Разработчики подобных систем не всегда обеспечивают высокий уровень пылевлагозащиты корпуса главного устройства, а также возможность широкого диапазона регулировок при монтаже

устройства на опоре. Кроме этого, у некоторых производителей, в качестве накопителя информации, используется SD карта, что негативно сказывается на продолжительности автономной работы системы видеофиксации. Также существует еще целый ряд недостатков, которые снижают уровень удобства эксплуатации и обслуживания оборудования.

На основании проведенного анализа и выявленных недостатков, образцов указанных производителей были определены критерии, которым должна соответствовать современная система длительной видеофиксации. К таким критериям следует отнести: использование полноценной камеры для получения высококачественного изображения; использование SSD диска в роли накопителя информации; обеспечение широкого угла регулировок при монтаже на опору и надежную многоразовую фиксацию; обеспечение пылевлагозащиты корпуса по стандарту IP 68; возможность безотказно функционировать в различных временных и климатических условиях; возможность передачи данных по различным каналам связи; обеспечение возможности трансляции видеопотока; интуитивно-понятный и удобный пользовательский интерфейс [3,4].

Учитывая определенные критерии при анализе существующих систем была разработана концепция создания современной, качественной и удобной в эксплуатации таймлапс системы. Разрабатываемая система длительной видеофиксации должна обладать следующими возможностями: обеспечение съемки и загрузки фотографий каждые две минуты при высоком уровне сигнала сотовой сети; обеспечение съемки с интервалом в минуту в течение коротких периодов времени и выгрузке фотографий в течение дня; обеспечение подогрева видового стекла (данная функция в летний период защищает видовое стекло от выпадения конденсата, а в зимний период - от наледи); обеспечение точной настройки положения камеры с диапазоном настройки $0\div40^\circ$ в поперечном направлении, $0\div60^\circ$ в продольном и 360° при горизонтальном, а также надежную фиксацию выбранного положения должны обеспечить встречно-направленные упорные винты; обеспечение герметичного подключения сетевого кабеля, позволяющего гарантировать высокую скорость передачи данных при различных условиях эксплуатации; обеспечение отслеживания неисправностей компонентов в реальном масштабе времени; обеспечение оповещения пользователя о критической неисправности системы по электронной почте и SMS; обеспечение возможности съемки в формате RAW, который используется для получения более качественной картинки; обеспечение работы по установленному расписанию; обеспечение контроля изображения со стороны пользователя в любое время года и из любой точки мира; обеспечение высокоскоростного подключения (до 50 мегабит в секунду) по сетевому кабелю для удалённого доступа.

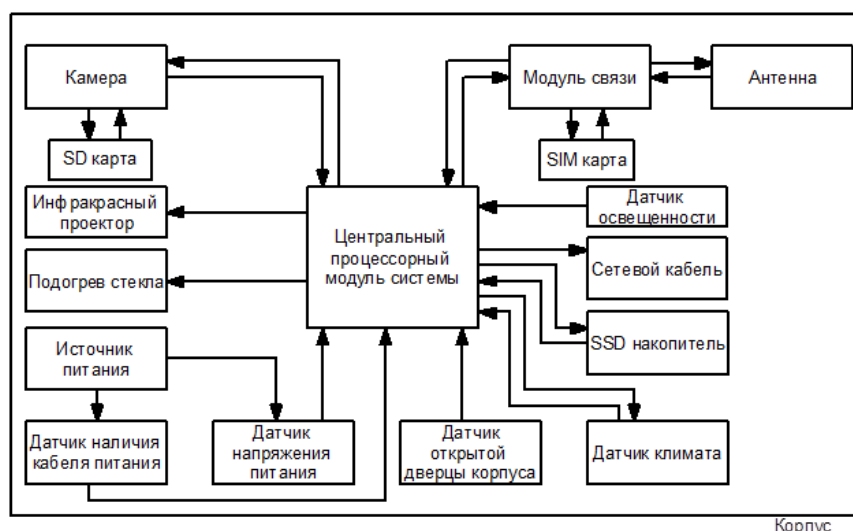


Рис. 1 – Структурная схема автоматической системы видеофиксации длительных процессов

На рисунке 1 представлена структурная схема автоматической системы видеофиксации, которая разработана с учетом указанных выше требований.

Структурная схема состоит из следующих основных элементов:

Камера – прибор преобразующий полученное изображение в цифровой файл и передающий его в центральный процессорный модуль. SD карта – высокоскоростной носитель цифровой информации, выполняющий роль буфера обмена между камерой и центральным процессорным модулем. Инфракрасный проектор – это специальный прибор со встроенными светодиодами, которые работают в инфракрасном диапазоне. Предназначается для съемки при недостаточной степени освещенности объекта. Подогрев стекла – графитовое напыление, обеспечивающее температурную очистку стекла от выпадения конденсата или образования наледи по команде центрального процессорного модуля. Источник питания – устройство обеспечения электроэнергией всех элементов оборудования. Датчик наличия кабеля питания – устройство, сигнализирующее центральному процессорному модулю о фактическом подключении кабеля питания. Датчик напряжения питания – электронный вольтметр, позволяющий с точностью до сотых значений определить величину питающего напряжения. Датчик открытой двери – устройство, сигнализирующее о плотном закрытии дверцы корпуса. Датчик климата – электронные датчики влажности и температуры, размещенные в одном корпусе. SSD накопитель – диск с высокой скоростью записи информации во всём диапазоне температур, при которых заявлена работа оборудования. Сетевой кабель – линия связи между центральным процессорным модулем и сервером. Через него можно осуществлять связь с оборудованием для видеофиксации при низком уровне сигнала мобильной связи. Датчик освещенности – это устройство, которое используется для определения интенсивности света на объекте. SIM карта – устройство, позволяющее осуществлять связь с оборудованием для видеофиксации при среднем и высоком уровне сигнала мобильной связи. Антенна – передающее мобильный и GPS сигнал устройство. Модуль связи – модуль взаимодействия оборудования для видеофиксации с мобильной сетью и сетями GPS. Данное устройство измеряет уровни сигнала и сообщает их параметры в центральный процессорный модуль. Центральный процессорный модуль представляет собой устройство, контролирующее все параметры системы и управляющее её работой. Корпус – герметичная оболочка из легкого и прочного пластика, обеспечивающая уровень пылевлагозащиты IP 68 [5].

Процедура реализации качественной таймлапс съемки длительного процесса состоит из следующих этапов:

На первом этапе определяются основные объекты, которые необходимо подвергнуть процедуре видеофиксации. При этом требуется учитывать расположение солнца на протяжении суток, с целью исключить засветку кадра. Из учета расположения объектов съемки и солнца выбирается точка, на которой будет размещено оборудование. Помимо горизонтальных координат, определяется также и высота расположения оборудования.

На втором этапе подготавливается место надежного крепления оборудования для видеофиксации. При необходимости устанавливается опора – мачта, высотой которой может достигать 50 метров. В случае установки оборудования на грунт происходит заливка необходимого фундамента. Когда местом установки выбирается уже имеющееся строение, на нем освобождается место для крепления оборудования и осуществляется подведение питания и интернет кабеля.

На третьем этапе осуществляется установка оборудования и подключение его к коммуникациям.

Четвертый этап включает в себя пуск и настройку оборудования на месте установки. На дисплее камеры необходимо выставить точное расположение объектов для съемки, а также четкость изображения путем программного увеличения кадра. Затем происходит запуск самого процесса видеофиксации.

На пятом этапе активируется циклический алгоритм работы системы, который включает в себя следующие действия: открывается затвор камеры; выставленное и четкое изображение поступает на светочувствительную матрицу камеры; закрывается затвор камеры; матрица передает цифровое изображение в буфер обмена; специальная программа очищает матрицу от остаточных световых шумов; происходит регистрация времени получения изображения и его объема; происходит привязка к изображению времени его получения и объема; происходит отправка полученного файла изображения из буфера обмена на SSD накопитель; происходит освобождение буфера обмена.

На шестом этапе осуществляется сбор данных, их анализ и обработка. По окончании съемки полученные файлы изображений скачиваются с SSD накопителя, происходит их анализ и собирается видеоматериал.

Седьмой этап заключается в остановке оборудования и его демонтаже.

На основании выявленных критериев и определенных требований разработана надежная современная система автоматической видеофиксации, которая способна функционировать на протяжении длительного времени в различных климатических условиях и позволит получать качественный материал для создания таймлапс фильмов. В течение времени съемок необходимо только вовремя менять заполненные SSD накопители на пустые. Система спроектирована таким образом, что в случае возникновения потребности провести ее обслуживание, система сама предупредит об этом. Автономность и долговечность – основные особенности разработанной системы по сравнению с зарубежными аналогами.

Список литературы

1. Райан Чилински. Цейтраферная фотография: полное введение - Сакраменто, 2018г. - 146с
2. Чупаев А.В., Галямов Р.Р., Шарифуллина А.Ю. Обзор наиболее популярных систем автоматической видеофиксации длительных процессов // ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ 2022. №7(154) С. 30-33.
3. Cornerstone Solutions. Официальный сайт [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.mycornerstonesolutions.com/>
4. Wingscapes. Официальный сайт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.wingscapes.com/>
5. Тайм Технолоджи. Официальный сайт [Электронный ресурс] -Режим доступа: <https://таймлапс.рф/timelapse>

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ — 2.3.5.

2.3.5.

М.П. Овчинцев канд. физ.- мат. наук

НИУ «Московский государственный строительный Университет»

О НЕКОТОРОМ КОНФОРМНОМ ОТОБРАЖЕНИИ В КРУГОВОМ КОЛЬЦЕ

В представленной работе рассматривается некое конформное отображение, заданное в круговом кольце. Статья состоит из трех частей. В первой части напоминаются определения функции Неймана и комплексной функции Грина, заданные в круговом кольце. Во второй части изучается конформное отображение, которое круговое кольцо отображает на плоскость с двумя вырезанными на действительной оси абсцисс отрезками. В третьей части устанавливается свойство монотонности функции Грина, заданной в круговом кольце на любой окружности с центром в начале координат и лежащей в кольце.

Ключевые слова: функция Неймана, эта функция Якоби, функция Грина, комплексная функция Грина, конформное отображение.

1. Введение

Для решения задач оптимального восстановления в круговом кольце иногда применяется конформное отображение, которое позволяет находить погрешность наилучшего метода приближения. Цель настоящей работы получить функцию, которая конформно отображает круговое кольцо на плоскость с вырезанными отрезками и которую можно применить при нахождении погрешности наилучшего метода приближения. Хотя тематикой оптимального восстановления занимается немало авторов, например Осипенко К.Ю., Акопян Р.Р. [7,8], подобная функция ими не использовалась. В настоящей работе нами предложена такая функция и описаны ее свойства.

Пусть имеется круговое кольцо $K = \{z: r < |z| < 1\}$, где r - заданное число ($0 < r < 1$). Обозначим через $\gamma_0 = \{z: |z| = 1\}$ - внешний, а $\gamma_1 = \{z: |z| = r\}$ - внутренний контуры. Пусть $\Gamma = \gamma_0 \cup \gamma_1$ - граница кольца K . Напомним определение функции Неймана в многосвязной области (для удобства считаем, что это круговое кольцо K). Функция Неймана $N(z, c)$ в области K ($c \in K$) определяется при помощи разложения (см. [1])

$$N(z, c) = \ln \frac{1}{|z - c|} + u(z),$$

где $u(z)$ - гармоническая в $\bar{K}$ функция; причем на Γ выполняется условие

$$\frac{\partial N}{\partial n} = \text{const}$$

($\frac{\partial}{\partial n}$ - дифференцирование по внутренней нормали), а также

$$\int_{\Gamma} N(z, c) ds = 0.$$

Пусть $\tilde{N}(z, c)$ - сопряженная к $N(z, c)$ по переменной z функция. Введем еще следующие функции

$$q(z, c) = N(z, c) + i \tilde{N}(z, c),$$

$$q(z, c_1, c_2) = q(z, c_1) - q(z, c_2),$$

где точки $c_1, c_2 \in K$.

Функция $q(z, c_1, c_2)$ имеет разложение

$$q(z, c_1, c_2) = \ln \frac{z - c_2}{z - c_1} + F(z),$$

где $F(z)$ аналитическая в $\bar{K}$ функция. Причем, $\operatorname{Im} q(z, c_1, c_2) = \operatorname{const}$, когда z пробегает граничные контуры. Введем еще одну функцию:

$$\psi(z, c_1, c_2) = e^q.$$

Функция $\psi(z, c_1, c_2)$ имеет простой полюс в точке c_1 аналитична в остальных точках $\bar{K}$, имеет простой нуль в точке c_2 и дает конформное отображение области K на плоскость с разрезами по прямолинейным отрезкам, лежащим на лучах, исходящих из начала. Напомним определение хорошо известной в теории эллиптических функций тэта функции Якоби (см. [2]-[3]).

Тэта функция Якоби имеет следующий вид

$$\theta(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} r^{n^2} z^n, \quad (1)$$

(напомним, $0 < r < 1$). Функция $\theta(z)$ обладает следующими свойствами:

$$\theta(z) = \theta\left(\frac{1}{z}\right), \quad (2)$$

$$\theta(\bar{z}) = \overline{\theta(z)}, \quad (3)$$

$$\theta(z) = rz\theta(r^2z). \quad (4)$$

Точка $-r$ является нулем функции $\theta(z)$:

$$\theta(-r) = 0. \quad (5)$$

Напомним теперь некоторые сведения о функции Грина $g(z, c)$, заданной в круговом кольце ($c \in K$). В случае, когда $-1 < c < -r$ функция Грина в круговом кольце K имеет вид:

$$g(z, c) = \ln \frac{|z|^{(\log_r |c|)}}{|H(z; c)|},$$

где

$$H(z; c) = z \frac{\theta\left(\frac{r}{|c|}z\right)}{\theta\left(\frac{|c|}{r}z\right)} \quad (6)$$

($H(z; c)$ - так называемая функция Робинсона; см. [4]-[5]). Обозначим через

$$P(z, c) = g(z, c) + i \tilde{g}(z, c) -$$

комплексную функцию Грина в круговом кольце K ($\tilde{g}(z, c)$ – сопряженная к $g(z, c)$ по переменной z функция). Комплексная функция Грина $P(z, c)$ является многозначной аналитической функцией. Функция $P'(z, c)$ – однозначная мероморфная функция, имеющая единственный простой полюс в точке c (см. (5), (6)). Эта функция аналитична на границе области K . В работе [5] было установлено, что в случае, когда $-1 < c < -r$

$$P'(z, c) = \frac{\log_r |c| - 1}{z} + \frac{r}{c} \frac{\theta'\left(-\frac{r}{c}z\right)}{\theta\left(-\frac{r}{c}z\right)} - \frac{c}{r} \frac{\theta'\left(-\frac{c}{r}z\right)}{\theta\left(-\frac{c}{r}z\right)}$$

и принимает на множестве $J_0 = [-1, c) \cup (c, -r] \cup [r, 1]$ действительные значения. Из последней формулы вытекает (см. (1)-(6))

$$P'(\bar{z}, c) = \overline{P'(z, c)}. \quad (7)$$

Напомним еще формулы (см. [1])

$$iP'(\zeta, c) d\zeta = \frac{\partial}{\partial n} g(\zeta, c) ds > 0, \quad (8)$$

где $\zeta \in \Gamma$; $\frac{\partial}{\partial n}$ – дифференцирование по нормали, лежащей внутри кольца K ; ds - дифференциал по длине кривой;

$$P'(z, z_0) = -\frac{1}{z-z_0} + \varphi^*(z), \quad (9)$$

где $\varphi^*(z)$ аналитична в K и непрерывна в $\bar{K}$.

В дальнейшем мы воспользуемся следующей леммой (см. [1]).

Лемма 1. Если функция $R(z)$ мероморфна в кольце $\bar{K}$, имеет P полюсов, лежащих внутри K , N нулей внутри K , N_1 нулей на Γ и если, кроме того, на Γ она удовлетворяет условию

$$\operatorname{Im} \{R(\zeta)d\zeta\} = 0 \quad \zeta \in \Gamma, \quad (10)$$

то выполняется следующее равенство

$$N + \frac{N_1}{2} - P = 0. \quad (11)$$

Напомним еще некоторые результаты работы [6] (см. также [7]). Обозначим через

$$B^1(K) = \{f(z): |f(z)| \leq 1, z \in K\} -$$

семейство аналитических в круговом кольце K функций. Пусть $z_0, z_1, z_2, \dots, z_n$ – заданные различные точки, лежащие в K . Рассмотрим следующую экстремальную задачу

$$r(z_0, z_1, \dots, z_n) = \sup_{f(z_1)=\dots=f(z_n)=0} \sup_{f \in B^1(K)} |f(z_0)| \quad (12)$$

(эта величина называется погрешностью наилучшего метода приближения).

Известно (см. [6]-[7]), что экстремальная функция задачи (12) $f^*(z)$ существует.

Причем, если $\log_r(|z_1||z_2|\dots|z_n|)$ – целое число, то экстремальная функция задачи (12) имеет в точности n нулей, совпадающих с точками $z_1, z_2, \dots, z_n$ и

$$f^*(z) = e^{i\delta} \exp\left(-\sum_{k=1}^n (g(z, z_k) + i \tilde{g}(z, z_k))\right),$$

где $\delta \in R$, $\tilde{g}(z, z_k)$ – сопряженные гармонические (к $g(z, z_k)$) функции ($k = 1, \dots, n$). Если же $\log_r(|z_1||z_2|\dots|z_n|)$ – не целое число, то экстремальная функция $f^*(z)$ обладает $n+1$ нулями. Причем, n нулей совпадают с точками $z_1, z_2, \dots, z_n$, а z_{n+1} – еще один нуль, лежащий в K

($z_{n+1} \in K$ – «дополнительный» нуль); при этом выражение

$\log_r(|z_1||z_2|\dots|z_n||z_{n+1}|)$ является целым числом,

$$f^*(z) = e^{i\delta} \exp(-\sum_{k=1}^{n+1} (g(z, z_k) + i \tilde{g}(z, z_k))), \quad (13)$$

$$z_{n+1} = -\rho \frac{z_0}{|z_0|}, \quad (14)$$

$$\rho = \log_r(|z_1||z_2|\dots|z_n|) - [\log_r(|z_1||z_2|\dots|z_n|)],$$

где δ – любое действительное число (см. также [8] – [9]).

2. Некоторые свойства функции $W = zP'(z, z_0)$

В этой главе исследуется отображение $W = zP'(z, z_0)$, где $P(z, z_0)$ – комплексная функция Грина в кольце K .

Вначале мы приведем несколько формул. Для кольца K имеет место равенство

$$\frac{d\zeta}{ds} = \begin{cases} i\zeta, & |\zeta| = 1, \\ -\frac{1}{r} i\zeta, & |\zeta| = r, \end{cases} \quad (15)$$

$$\quad (16)$$

где $\frac{d\zeta}{ds}$ – дифференцирование по длине кривой (здесь мы считаем, что внешний контур обходится положительно, а внутренний контур обходится отрицательно). В самом деле, рассмотрим окружность $|\zeta| = R$, где R – некоторое положительное число. Тогда $\zeta = Re^{i\varphi}$, где φ – аргумент ζ и

$$\frac{d\zeta}{ds} = \frac{d\zeta}{d\varphi} \frac{d\varphi}{ds} = Rie^{i\varphi} \left(\pm \frac{1}{R}\right) = \pm \frac{1}{R} i\zeta. \quad (17)$$

Знак $+$ или $-$ в (15),(16) является знаком $\frac{d\varphi}{ds}$; таким образом, при движении по окружности против часовой стрелки будет знак плюс, а при движении против часовой стрелки будет знак минус. Поэтому, когда $R=1$ получаем (15), а когда $R=r$ – (16) (см. (17)). Из формул (8), (15), (16) вытекает, что

$$\zeta P'(\zeta, z_0) < 0, \quad |\zeta| = 1, \quad (18)$$

$$\zeta P'(\zeta, z_0) > 0, \quad |\zeta| = r. \quad (19)$$

В дальнейшем нам потребуется следующая лемма.

Лемма 2. Пусть $y=f(x)$ - действительная функция, заданная на конечном отрезке $[a, b]$ и дважды непрерывно дифференцируемая, а x_1, x_2 - любые различные точки ($x_1 \neq x_2$), лежащие на $[a, b]$. Тогда, если $f(x_1) = f(x_2) = 0$, то

$$|f(x)| \leq \frac{1}{2} \max_{x \in [a, b]} |f''(x)| |x - x_1| |x - x_2| \quad (20)$$

при любом значении $x \in [a, b]$.

Доказательство. Рассмотрим функцию $g(x) = \frac{f(x)}{x - x_1}$, которая дифференцируема на отрезке $[a, b]$ и равна нулю в точке x_2 . Понятно

$$f(x_1) = f(x) + f'(x)(x_1 - x) + \frac{1}{2} f''(\bar{x})(x - x_1)^2,$$

где $\bar{x} \in (a, b)$. Так как

$$g'(x) = \frac{f'(x)(x - x_1) - f(x)}{(x - x_1)^2},$$

$$\text{а } f'(x)(x - x_1) - f(x) = \frac{1}{2} f''(\bar{x})(x - x_1)^2, \text{ то}$$

$$|g(x)| \leq \max_{x \in [a, b]} |g'(x)| |x - x_2| \leq \frac{1}{2} \max_{x \in [a, b]} |f''(x)| |x - x_2|.$$

Из последнего неравенства и вытекает (20).

Рассмотрим функции вида

$$\Phi(z) = P'(z, z_0) - \lambda \frac{1}{z}, \quad (21)$$

где λ - произвольный действительный коэффициент. Из формул (19), (20), (21) следует

$$\operatorname{Im} \{i \Phi(\zeta) d\zeta\} = 0, \quad \zeta \in \Gamma. \quad (22)$$

Лемма 3. Функция $\Phi(z)$ может иметь либо один нуль (однократный), лежащий внутри кольца K на действительной оси, либо два однократных симметричных относительно действительной оси нуля, лежащих на окружности γ_1 (или γ_0) с выколотыми точками - r , r (или $-1, 1$), либо нуль $\Phi(z)$ может совпасть с одной из точек $-1, -r, r, 1$; при этом кратность его равна двум.

Доказательство. Сперва заметим, что $\Phi(z)$ в силу формулы (21) (см. также (7)) обладает следующим свойством

$$\Phi(\bar{z}) = \overline{\Phi(z)} \quad (23)$$

для любой точки $z \in \bar{K}$. Из (22), (10), (11), (9) вытекает, что количество нулей функции

$\Phi(z)$ равно единице, а из свойства (23) следует, что если t - нуль функции

$\Phi(z)$, то и $\bar{t}$ также является ее нулем. Отсюда получаем, что t не может лежать внутри кольца K выше или ниже действительной оси. Значит, нуль t функции $\Phi(z)$ либо лежит на действительной оси (и имеет там кратность, равную единице), либо лежит на одной из окружностей $-\gamma_0, \gamma_1$ (тогда $\bar{t}$ - другой ее нуль; нули $\bar{t}, t$ в рассматриваемом случае - однократные), либо t совпадает с одной из точек $-1, -r, r, 1$. Докажем, что в последнем случае кратность нуля равна двум. Действительно, пусть, например, $t = -r$.

Рассмотрим семейство аналитических в кольце K функций

$$\Phi(z) = P'(z, z_0) - tP'(t, z_0) \frac{1}{z}, \quad (24)$$

где t - любая точка, лежащая на окружности $|\zeta| = r$. Легко убедиться в том, что t -нуль функции $\Phi(z)$ (в силу (19) $tP'(t, z_0)$ - вещественное число).

Функция

$$f(\varphi) = i \Phi(re^{i\varphi}) \frac{d\zeta}{ds}, \quad (25)$$

где $\varphi \in [0, 2\pi]$ согласно (22) принимает вещественные значения. Пусть $t = re^{i\varphi_0}$, $\varphi_0 \in (0, \pi)$ ($\bar{t} = re^{i(2\pi - \varphi_0)}$). Так как $f(\varphi_0) = 0$, $f(2\pi - \varphi_0) = 0$, то применяя к f лемму 2 (см. (20), (25)), получаем - для любого значения φ , $\varphi \in [0, 2\pi]$:

$$|f(re^{i\varphi})| \leq \frac{1}{2} \max_{\varphi \in [0, 2\pi]} |f''(\varphi)| |\varphi - \varphi_0| |\varphi - (2\pi - \varphi_0)| \leq C |\zeta - t| |\zeta - \bar{t}|, |\zeta| = r, \quad (26)$$

где C – некоторое постоянное положительное число, не зависящее от

ζ, t (здесь мы воспользовались ограниченностью функций $|\Phi(\zeta)|, |\Phi'(\zeta)|,$

$|\Phi''(\zeta)|$ на границе Γ – см. (24),(25) а также ограниченностью на окружности

$|\zeta| = r$ функций $\frac{|\varphi - \varphi_0|}{|\zeta - t|}, \frac{|\varphi - (2\pi - \varphi_0)|}{|\zeta - \bar{t}|}$). Функции $\frac{(z - z_0)\Phi(z)}{(z - t)(z - \bar{t})}$ являются аналитическими

в замкнутом кольце $\bar{K}$ функциями, ограниченными там постоянным числом. Последнее обстоятельство проверяется просто:

$$\left| \frac{(\zeta - z_0)\Phi(\zeta)}{(\zeta - t)(\zeta - \bar{t})} \right| \leq C \max_{\zeta \in \gamma_1} |\zeta - z_0|, \quad \zeta \in \gamma_1,$$

$$\left| \frac{(\zeta - z_0)\Phi(\zeta)}{(\zeta - t)(\zeta - \bar{t})} \right| \leq \max_{\zeta \in \gamma_0} \left| \frac{\zeta - z_0}{(\zeta - t)(\zeta - \bar{t})} \right| \max_{\zeta \in \gamma_0} |\Phi(\zeta)| \leq C_1, \quad \zeta \in \gamma_0$$

(в первом неравенстве мы воспользовались оценкой (26)).

Отсюда, в силу компактности класса ограниченных одним числом аналитических функций в кольце K найдется такая последовательность чисел $\{t_n\}$, $|t_n| = r$, $t_n \rightarrow -r$, для которой соответствующее ей семейство аналитических функций $\frac{(z - z_0)\Phi(z)}{(z - t_n)(z - \bar{t}_n)}$ равномерно сходится внутри

K к некоторой аналитической, ограниченной в K функции $f^*(z)$. Но, когда $t_n \rightarrow -r$

$$\frac{(z - z_0)\Phi(z)}{(z - t_n)(z - \bar{t}_n)} \rightarrow \frac{(z - z_0) \left[P'(z, z_0) + rP'(-r, z_0) \frac{1}{z} \right]}{(z + r)^2}$$

Для любого фиксированного числа $z \in K$. Значит

$$f^*(z) = \frac{(z - z_0) \left[P'(z, z_0) + rP'(-r, z_0) \frac{1}{z} \right]}{(z + r)^2}.$$

Отсюда и вытекает, что нуль $-r$ функции $P'(z, z_0) + rP'(-r, z_0) \frac{1}{z}$ имеет кратность, равную двум (ибо в противном случае $f^*(z)$ не будет ограниченной в K).

Для остальных точек $-1, r, 1$ утверждения леммы доказывается аналогично. Лемма доказана.

Обозначим через γ_1^+, γ_0^+ – верхние, а через γ_1^-, γ_0^- – нижние замкнутые полуокружности окружностей γ_1 и γ_0 , соответственно. Обозначим также через $K^+ = \{z: z \in \bar{K}, \operatorname{Im} z \geq 0\}$ – верхнее полукольцо, а через $K^- = \{z: z \in \bar{K}, \operatorname{Im} z \leq 0\}$ – нижнее полукольцо. Через L^+ обозначим границу верхнего полукольца

($L^+ = J_0 \cup \gamma_0^+ \cup \gamma_1^+$), а через L^- – границу нижнего полукольца ($L^- = J_0 \cup \gamma_0^- \cup \gamma_1^-$); здесь $J_0 = [-1, z_0), (z_0, -r] \cup [r, 1]$. Зададим положительное направление обхода на кривых L^+ и L^- (например, на кривой L^+ точка t пробегает последовательно участки:

$$(z_0; -r), \gamma_1^+, (r; 1), \gamma_0^+, (-1, z_0).$$

Теорема 1. Пусть $-1 < z_0 < -r$. Тогда функция $W = zP'(z, z_0)$ конформно отображает кольцо K на плоскость, с вырезанными отрезками

$$[-P'(-1, z_0), P'(1, z_0)], [rP'(r, z_0), -rP'(-r, z_0)],$$

лежащими на вещественной оси. Причем, верхнее полукольцо K^+ отображается на нижнюю полуплоскость ($\operatorname{Im} w \leq 0$), а нижнее полукольцо K^- отображается на верхнюю полуплоскость ($\operatorname{Im} w \geq 0$). Граница каждого полукольца отображается на вещественную прямую. Отрезки

$$[-P'(-1, z_0), P'(1, z_0)], [rP'(r, z_0), -rP'(-r, z_0)]$$

вещественной прямой при отображении $W = zP'(z, z_0)$ обходятся дважды (когда t пробегает окружность γ_0 точка $W = tP'(t, z_0)$ дважды обходит отрезок

$$[-P'(-1, z_0), P'(1, z_0)]$$

и, аналогично, когда t пробегает окружность γ_1 точка $W = tP'(t, z_0)$ дважды обходит отрезок $[rP'(r, z_0), -rP'(-r, z_0)]$.

Функция $W = tP'(t, z_0)$ на кривой L^+ строго убывает, а на кривой L^- – строго возрастает (здесь $t = t(u), W = W(u), u$ – действительный параметр).

Доказательство. Сперва убедимся в том, что верхнее полукольцо K^+ функцией $W = zP'(z, z_0)$ конформно отображается на нижнюю полуплоскость ($\text{Im } w \leq 0$). Для этого докажем, что его граница L^+ с

помощью этой функции отображается взаимно однозначным образом на вещественную прямую.

В самом деле, функция $W = tP'(t, z_0)$ действительна на кривой L^+ : это вытекает из формул (см. введение, (18), (19)). Далее, если t - любая точка, лежащая на кривой L^+ , то t является нулем функции

$$\Phi(z) = P'(z, z_0) - tP'(t, z_0) \frac{1}{z}.$$

Для любых двух различных точек t_1, t_2 , лежащих на кривой L^+

$t_1P'(t_1, z_0) \neq t_2P'(t_2, z_0)$, потому что в противном случае функция $\Phi(z)$ будет иметь различные нули при одном и том же значении действительного параметра $\lambda = t_1P'(t_1, z_0) = t_2P'(t_2, z_0)$. Поскольку см. (9))

$$\lim_{t \rightarrow z_0+0} tP'(t, z_0) = +\infty, \text{ а } \lim_{t \rightarrow z_0-0} tP'(t, z_0) = -\infty,$$

то кривая L^+ взаимно однозначным образом отображается на вещественную прямую. Поэтому верхнее полукольцо K^+ отображается на полуплоскость. Так как $rP'(r, z_0) > 0$, а $P'(1, z_0) < 0$ (см. (19), (18)), то функция

$W = tP'(t, z_0)$ на кривой L^+ строго убывает, а отсюда вытекает, что K^+ отображается на нижнюю полуплоскость.

Аналогично доказывается, что полукольцо K^- отображается на верхнюю полуплоскость ($\text{Im } w \geq 0$). Значит, функция $W = zP'(z, z_0)$

конформно отображает кольцо K на плоскость, с вырезанными отрезками:

ими, очевидно, будут отрезки $[-P'(-1, z_0), P'(1, z_0)]$, $[rP'(r, z_0), -rP'(-r, z_0)]$, т.к. строго убывающая функция $W = zP'(z, z_0)$ на кривой L^+ отображает окружность γ_1 на отрезок $[rP'(r, z_0), -rP'(-r, z_0)]$, а окружность γ_0 - на отрезок $[-P'(-1, z_0), P'(1, z_0)]$; причем, когда t пробегает окружность γ_1 (или γ_0), то ее образ (т.е. точка $w = tP'(t, z_0)$) пробегает дважды отрезок $[rP'(r, z_0), -rP'(-r, z_0)]$ (или $[-P'(-1, z_0), P'(1, z_0)]$). Лемма доказана.

Следствие. Пусть $-1 < z_0 < -r$. Когда параметр λ пробегает интервал $(-\infty, -P'(-1, z_0))$ функция $\Phi(z) = P'(z, z_0) - \lambda \frac{1}{z}$ имеет единственный простой нуль t , который пробегает интервал $(z_0, -1)$; когда параметр λ пробегает отрезок $[-P'(-1, z_0), P'(1, z_0)]$ $\Phi(z)$ имеет два простых нуля t и $\bar{t}$, один из которых пробегает верхнюю полуокружность γ_0^+ , а другой - нижнюю γ_0^- (в точках $-1, 1$ нули двукратны); когда λ пробегает интервал $(P'(1, z_0), rP'(r, z_0))$ нуль t однократен и пробегает интервал $(1, r)$; когда параметр λ пробегает отрезок $[rP'(r, z_0), -rP'(-r, z_0)]$ $\Phi(z)$ имеет два (однократных) нуля, один из которых пробегает верхнюю полуокружность γ_1^+ , а другой - нижнюю γ_1^- (в точках $-r, r$ нули двукратны); и, наконец, когда λ пробегает интервал $(-rP'(-r, z_0), +\infty)$ нуль t функции $\Phi(z)$ однократен и пробегает интервал $(-r, z_0)$.

Предложение. Пусть $-1 < z_0 < -r$ ($0 < r < 1$). Тогда функция $W = zP'(z, z_0)$ имеет единственный простой нуль α ($\alpha \in (r, 1)$) и

$$zP'(z, z_0) = C \Psi(z, z_0, \alpha) \quad z \in \bar{K}, \quad (27)$$

где C - некоторое комплексное число.

Доказательство. Из (18) и (19) следует, нуль α функции $W = zP'(z, z_0)$ лежит внутри кольца K ; кроме того, так как $P'(1, z_0) < 0, P'(r, z_0) > 0$, то α - действительный нуль ($r < \alpha < 1$). Убедимся теперь в справедливости равенства (27). Для этого рассмотрим функцию

$$Q(z) = \frac{zP'(z, z_0)}{\Psi(z, z_0, \alpha)}.$$

Понятно, что функция $Q(z)$ аналитична в замкнутом кольце $\bar{K}$ и имеет на границе кольца $\bar{K}$ постоянные аргументы (см. (18), (19)). Значит, $Q(z) = C$, где C – некоторое постоянное число. Тем самым мы убедились в справедливости формулы (27).

Возрастание функции Грина на окружности

Рассмотрим окружность $|z| = \rho$, $\rho \neq |z_0|$, где $r < \rho < 1$. Эта окружность разбивается точками $-\rho \frac{z_0}{|z_0|}$ и $\rho \frac{z_0}{|z_0|}$ на две полуокружности, которые мы обозначим через γ^1 и γ^2 .

Теорема 2. Пусть z_0 – некоторая точка, принадлежащая кольцу K . Тогда функция Грина $g(z, z_0)$ строго возрастает, когда точка z пробегает любую из полуокружностей γ^1 или γ^2 , соединяющих точки $-\rho \frac{z_0}{|z_0|}$ и $\rho \frac{z_0}{|z_0|}$ с центром в начале координат. Минимум функции Грина $g(z, z_0)$ на окружности $|z| = \rho$ достигается в точке

$$z_* = -\rho \frac{z_0}{|z_0|}. \quad (28)$$

Доказательство. Без ограничения общности будем считать $-1 < z_0 < -r$.

Возьмем две различные точки $z_1 = \rho e^{i\varphi_1}$, $z_2 = \rho e^{i\varphi_2}$ такие, что $0 \leq \varphi_1 < \varphi_2 \leq \pi$. Докажем, что $g(\rho e^{i\varphi_1}, z_0) < g(\rho e^{i\varphi_2}, z_0)$.

Действительно, применяя формулы (17) и $ds = \rho d\varphi$, получаем

$$\begin{aligned} g(\rho e^{i\varphi_2}, z_0) - g(\rho e^{i\varphi_1}, z_0) &= \operatorname{Re} \left\{ \int_{z_1}^{z_2} P'(z, z_0) dz \right\} = \\ &= \operatorname{Re} \left\{ i \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} z P'(z, z_0) d\varphi \right\} = - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \operatorname{Im} (z P'(z, z_0)) d\varphi > 0 \end{aligned}$$

(мы воспользовались предыдущей теоремой 1, в силу которой $\operatorname{Im} \{z P'(z, z_0)\} < 0$, когда $z \in K^+$). Аналогично, если $z_1 = \rho e^{i\varphi_1}$, $z_2 = \rho e^{i\varphi_2}$, где $-\pi < \varphi_2 < \varphi_1 < 0$, то

$$\begin{aligned} g(\rho e^{i\varphi_2}, z_0) - g(\rho e^{i\varphi_1}, z_0) &= \operatorname{Re} \left\{ i \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} z P'(z, z_0) d\varphi \right\} = \\ &= \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \operatorname{Im} (z P'(z, z_0)) d\varphi > 0 \end{aligned}$$

(т.к. $\operatorname{Im} \{z P'(z, z_0)\} > 0$, когда $z \in K^-$). Понятно, что минимальное значение $g(z, z_0)$ достигается в точке z_* (см. (28)).

Замечание. Рассмотрим теперь задачу (12). Пусть экстремальная функции $f^*(z)$, имеет с заданные нули, совпадающие с точками $z_1, z_2, \dots, z_n$, лежащими в кольце K и пусть $\log_r(|z_1||z_2| \dots |z_n|)$ – не целое число, z_{n+1} – дополнительный нуль. Так как $\log_r(|z_1||z_2| \dots |z_n|) > 0$, то

$$\log_r(|z_1||z_2| \dots |z_n|) = N + \gamma,$$

где N – целое неотрицательное число (целая часть), а γ – дробная часть ($0 < \gamma < 1$). Поскольку $0 < \log_r|z_{n+1}| < 1$, то (см. введение)

$$\log_r|z_{n+1}| = 1 - \gamma.$$

Отсюда вытекает, что

$$|z_{n+1}| = \rho = \frac{r^{1+N}}{|z_1||z_2| \dots |z_n|}.$$

Так как (см. (13))

$$|f^*(z_0)| = \exp\left(-\sum_{k=1}^{n+1} g(z_0, z_k)\right) = \exp\left(-\sum_{k=1}^n g(z_0, z_k)\right) \cdot g(z_0, z_{n+1}),$$

где $|z_{n+1}| = \rho$, а наименьшее значение функция Грина $g(z_0, z)$ на окружности $|z| = \rho$ принимает в точке $-\rho \frac{z_0}{|z_0|}$, то

$$z_{n+1} = -\rho \frac{z_0}{|z_0|}$$

(сравните (14)).

После этого легко находится значение $r(z_0, z_1, \dots, z_n)$ (см. (13)).

Список литературы

1. *Хавинсон С.Я.* Основы теории экстремальных задач для ограниченных аналитических функций и их различные обобщения. -М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1981 г., -92 с.
2. *Ахиезер Н.И.* Элементы теории эллиптических функций. – М.: Наука, 1970 г. – 291 с.
3. *Курант Р., Гурвиц А.* Теория функций. – М.: Наука, 1968 г. – 648 с.
4. *Голузин Г.М.* Геометрическая теория функций комплексного переменного. – 2-е изд., М.: Наука, 1966 г. – 628 с.
5. *Овчинцев М.П.* Представление некоторых аналитических функций через тэта функцию Якоби. Научно-технический вестник Поволжья, 2021, № 5, с. 42 – 46.
6. *Овчинцев М.П.* Наилучший метод приближения регулярных ограниченных функций в кольце по их значениям в заданных точках. – Известия Вузов, 1989, № (5), с. 32-39.
7. *Осипенко К.Ю.* Наилучшее приближение аналитических функций по информации об их значениях в конечном числе точек.// Математические заметки. 1976. Т. 19. № 1. С. 29-40.
8. *Акопян Р.Р.* Оптимальное восстановление аналитической функции в двусвязной области по ее приближенно заданным граничным значениям.//Тр. ИММ УрО РАН, 21, № 4, 2015, 14 – 19.
9. *Осипенко К.Ю.* Оптимальное восстановление в весовых пространствах с однородными весами. Матем. сб., 213:3 (2022), 111-138.

2.3.5.

В.Д. Петелина

ФГБОУ НИУ «Московский Государственный Строительный Университет»,
Институт Цифровых Технологий и Моделирования в Строительстве,
кафедра высшей математики,
Москва, verapetelina51@gmail.com

КАЧЕСТВЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ

В статье рассматривается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

Ключевые слова: *система дифференциальных уравнений возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая переменная, возмущение, многочлен, приближение.*

Одной из основных задач, связанных с траекторными измерениями является приближение прямоугольных координат, составляющих скорости исследуемого тела алгебраическими многочленами низкой степени относительно вспомогательной переменной с наперед заданной степенью точности. Общие принципы построения теории возмущений в координатах рассмотрены в статье [1]. Различные варианты универсальных переменных таких, как S_k и β были рассмотрены в статье [2], намечены пути использования универсальных переменных в ряде задач механики, в частности для определения возмущений методом вариации произвольных постоянных. В работах [3-5] введены вспомогательные переменные S_k в виде степенных рядов относительно переменной β , рассмотрены вопросы использования регуляризирующих переменных при вычислении пассивных траекторий перелета. При разработке метода вычисления возмущений в координатах применялся метод малого параметра, позволяющий получить асимптотические разложения решения в окрестности исходной точки.

В статье [6] описана основная процедура, которая использовалась при составлении специальной системы дифференциальных уравнений возмущенного движения тела. Основное достоинство построенной системы дифференциальных уравнений возмущенного движения состоит в том, что коэффициенты при проекциях возмущающего ускорения X, Y, Z являются целыми функциями независимой регуляризирующей переменной ψ . Это позволяет эффективно вычислять возмущения не только первого порядка, но и более высоких порядков, используя метод последовательных приближений.

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений с малым параметром при производных:

$$\begin{aligned}\varepsilon \frac{dx}{dt} &= f(x, y), \\ \frac{dy}{dt} &= g(x, y), \\ x &= (x^1, x^2), f = (f^1, f^2),\end{aligned}\tag{1}$$

где функции f^1, f^2 и g несколько раз дифференцируемы в некоторой области пространства (x^1, x^2, y) , $\varepsilon > 0$ - малый параметр, и соответствующую ей систему «быстрых движений»:

$$\frac{dx}{d\tau} = f(x, y), \quad (2)$$

где $\tau = \frac{t}{\varepsilon}$, y - параметр.

Предположим, что система (2) при $y = y_0$ имеет вырожденный предельный цикл L_0 ($x = \varphi_0(\tau)$, $\varphi_0 = (\varphi_0^1, \varphi_0^2)$) с периодом T_0 и при переходе y через точку y_0 , ($|y - y_0| < \delta$) происходит бифуркация: при $y < y_0$ система (2) имеет два грубых предельных цикла (устойчивый и неустойчивый), при $y = y_0$ они сливаются в L_0 , который при $y > y_0$ исчезает.

Обозначим $\nu = \chi(u, y)$ - функцию последования, построенную на дуге без контакта, проведенной в какой-нибудь точке L_0 .

Пусть u_0 - корень уравнения $u - \chi(u, y) = 0$, соответствующий предельному циклу L_0 , тогда $\chi'_u(u_0, y_0) = 1$. Предположим, что в точке (u_0, y_0) функция $\chi(u, y)$ удовлетворяет условиям:

$$\chi''_u(u_0, y_0) = \dots = \chi^{(m-1)}_u(u_0, y_0) = 0, \chi^{(m)}_u(u_0, y_0) \neq 0, \quad (3)$$

причем m - четные числа ($m = 2n$). Наиболее типичный случай, когда $m = 2$, в случае $m > 2$ качественное поведение решений системы (1) при $\varepsilon \rightarrow 0$ остается таким же.

Обозначим устойчивый предельный цикл системы (2) $x = \varphi(\tau, y)$, его период - $T(y)$. Введем при $y \leq y_0$ осредненное уравнение:

$$\frac{d\bar{y}}{dt} = \bar{g}(\bar{y}), \quad (4)$$

где:

$$\bar{g}(\bar{y}) = \frac{1}{T(\bar{y})} \int_0^{T(\bar{y})} g[\varphi(\tau, \bar{y}), \bar{y}] d\tau, \quad \bar{y} < y_0, \quad (5)$$

$$\bar{g}(y_0) = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} g[\varphi_0(\tau), y_0] d\tau, \quad \bar{g}(y_0) = g_0 \quad (6)$$

и предположим, что $g_0 > 0$.

Пусть $\bar{y}(t)$ - решение уравнения (4), удовлетворяющее условию $\bar{y}(t_1) = y_1$, где $y_1 < y_0$ - достаточно близкая точка к y_0 . В силу условия $g_0 > 0$ решение $\bar{y}(t)$ при $t = t_2$ попадет в точку y_0 .

Сформулируем теорему: Если $x(t, \varepsilon), y(t, \varepsilon)$ - решение системы (1), удовлетворяющее условиям:

$$|x(t_1, \varepsilon) - \varphi(\frac{t_1}{\varepsilon}, \varepsilon)| = o(\varepsilon), \quad (7)$$

$$|y(t_1, \varepsilon) - y_1| = o(\varepsilon),$$

то существует такая функция $\theta(t, \varepsilon)$ и такие значения:

$$t_2(\varepsilon) < t_2 < t_3(\varepsilon), \quad \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} t_2(\varepsilon) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} t_3(\varepsilon) = t_2, \quad (8)$$

что на интервале $t_1 \leq t \leq t_2(\varepsilon)$ при $\varepsilon \rightarrow 0$ имеем:

$$\begin{aligned} |\varepsilon \frac{d\theta}{dt} - \frac{1}{T[\bar{y}(t)]}| &\rightarrow 0, \\ |x(t, \varepsilon) - \varphi[T(\bar{y}(t)) \cdot \theta(t, \varepsilon), \bar{y}(t)]| &\rightarrow 0, \\ |y(t, \varepsilon) - \bar{y}(t)| &\rightarrow 0, \end{aligned} \quad (9)$$

а точка $(x(t_3(\varepsilon), \varepsilon), y(t_3(\varepsilon), \varepsilon))$ лежит за пределами малой, но не зависящей от ε

окрестности кривой $x = \varphi_0(\tau), y = y_0$, при этом $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} y(t_3(\varepsilon), \varepsilon) = y_0$.

Доказательство. Положим $T_0 = 1, y_0 = 0$. Перейдем к новым переменным ζ и ξ^1 по формулам:

$$\begin{aligned} x^1 &= \varphi_0^1(\zeta) + \xi^1(\varphi_0^2(\zeta)), \\ x^2 &= \varphi_0^2(\zeta) + \xi^1(\varphi_0^1(\zeta)), \end{aligned} \quad (10)$$

и приведем систему дифференциальных уравнений (2) к виду:

$$\begin{aligned} \frac{d\zeta}{d\tau} &= 1 + k(\zeta, \xi^1, y), k(\zeta, \xi^1, y) = o(\xi^1) + o(y), \\ \frac{d\xi^1}{d\tau} &= G(\zeta, \xi^1, y). \end{aligned} \quad (11)$$

Делим второе уравнение системы (11) на первое уравнение, получим:

$$\frac{d\xi^1}{d\zeta} = F^1(\zeta, \xi^1, y), \quad (12)$$

где $F^1(\zeta, \xi^1, y)$ - периодическая по ζ функция с периодом 1 и $F^1(\zeta, 0, 0) \equiv 0$. Разложение функции $F^1(\zeta, \xi^1, y)$ по формуле Тейлора имеет вид:

$$F^1(\zeta, \xi^1, y) = \alpha_1(\zeta)\xi^1 + \alpha_2(\zeta)(\xi^1)^2 + \dots + \alpha_{2n}(\zeta)(\xi^1)^{2n} + \beta(\zeta)y + \dots \quad (13)$$

Обозначим $\xi^1(\zeta, u, y)$ - решение уравнения (12), удовлетворяющее начальному условию $\xi^1(0, u, y) = u$. Функцией последования на отрезке $\zeta = 0$ является функция $v = \xi^1(1, u, y)$. Ее разложение по формуле Тейлора при условиях (3) имеет вид:

$$v = u + pu^{2n} + qu + \dots \quad (14)$$

Так как $\int_0^1 \alpha_1(\zeta) d\zeta = 0$, замена $\xi^1 = \xi^2 \cdot e^{\int_0^\zeta \alpha_1(\zeta) d\zeta}$ приводит уравнение (12) к виду, не

содержащему ξ^2 в первой степени, не меняя функции последования. Выполняя преобразования координат по формуле:

$$\tilde{\xi} = \xi + \gamma(\zeta) \cdot (\xi)^{2n} + \delta(\zeta) \cdot y, \quad (15)$$

где $\gamma(\zeta)$ и $\delta(\zeta)$ - периодические функции с периодом 1

$$\gamma'(\zeta) = \alpha(\zeta) - p, \quad \gamma(0) = 0, \quad \delta'(\zeta) = \beta(\zeta) - q, \quad \delta(0) = 0,$$

$$p = \int_0^1 \tilde{\alpha}(\zeta) d\zeta, \quad q = \int_0^1 \tilde{\beta}(\zeta) d\zeta, \quad (16)$$

Получим:

$$\frac{d\tilde{\xi}}{d\zeta} = p \cdot (\tilde{\xi})^{2n} + q \cdot y + \dots \quad (17)$$

Вместо y в систему (1) введем новую функцию $\eta = y + \varepsilon r(\zeta)$, где периодическая функция $r(\zeta)$ определяется из условия:

$$r'(\zeta) = g(\varphi_0(\zeta), 0) - g_0. \quad (18)$$

Тогда в новых переменных ζ, ξ, η система (1) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{\xi}}{d\zeta} &= p \cdot (\tilde{\xi})^{2n} + q \cdot \eta + o(\varepsilon) + \dots \\ \frac{d\eta}{d\zeta} &= \varepsilon(g_0 + o(\tilde{\xi}) + o(\eta)). \end{aligned} \quad (19)$$

При $\varepsilon = 0$ получим:

$$\frac{d\xi}{d\zeta} = p \cdot (\xi)^{2n} + q \cdot \eta + \dots, \quad (20)$$

где η - параметр.

Пусть $p > 0, q > 0$, тогда при $\eta < 0$ существуют две неподвижные точки, являющиеся начальными значениями невырожденных предельных циклов. Обозначим $\xi_0(\zeta, \eta)$ – устойчивый предельный цикл, его зависимость от параметра η примет вид:

$$\xi_0(\zeta, \eta) = -\sqrt[n]{-\frac{q\eta}{p}} + o(\sqrt[n]{|\eta|}). \quad (21)$$

Пусть D – множество точек, определяемое условиями:

$$|\xi - \xi_0(\zeta, \eta)| \leq M\omega(\varepsilon), \quad -\delta \leq \eta \leq \Omega(\varepsilon), \quad (22)$$

где $M - \text{const}$, $\omega(\varepsilon) \rightarrow 0$, $\Omega(\varepsilon) \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow 0$.

Следовательно, если начальная точка решения системы (19) $\xi(\zeta, \varepsilon), \eta(\zeta, \varepsilon)$ принадлежит множеству D , то решение системы (19) не может выйти из D , пока $\eta(\zeta, \varepsilon)$ удовлетворяет условию:

$$\eta(\zeta, \varepsilon) \leq -\Omega(\varepsilon), \quad (23)$$

т.е.

$$|\xi(\zeta, \varepsilon) - \xi_0(\zeta, \eta)| = o(\omega(\varepsilon)). \quad (24)$$

Заметим, что $\frac{d\xi}{d\zeta} > 0$, следовательно имеет место неравенство:

$$\xi(\zeta, \varepsilon) \geq -\Omega^{\frac{1-\gamma}{2n}}(\varepsilon). \quad (25)$$

Разделив в системе (19) первое уравнение на второе, получим:

$$\frac{d\xi}{d\eta} = \frac{p \cdot (\xi)^{2n} + q \cdot \eta + o(\varepsilon) + \dots}{\varepsilon(g_0 + o(\xi) + o(\eta))} \quad (26)$$

и предполагая, что $\eta(\zeta, \varepsilon)$ удовлетворяет условию:

$$\frac{1}{2}\Omega(\varepsilon) \leq \eta \leq \Omega(\varepsilon), \quad (27)$$

получим неравенство:

$$\frac{d\xi}{d\eta} \geq \frac{q\Omega(\varepsilon)}{4\varepsilon g_0}. \quad (28)$$

Используя неравенства (25) и (28), получим, что для $\xi(\zeta, \varepsilon)$, начиная с некоторого момента, будет выполняться неравенство $\xi(\zeta, \varepsilon) \geq \delta_0$, где δ_0 - достаточно малое, не зависящее от ε число.

Вернемся к переменным (x, y) в случае, когда $\eta \leq -\Omega(\varepsilon)$. Положим:

$$\tau(\zeta, y) = \int_0^\zeta \frac{d\sigma}{1 + k(\sigma, \xi_0^1(\sigma, y), y)}, \quad (29)$$

где $\xi_0^1(\sigma, y)$ - устойчивый предельный цикл после перехода к переменным ξ^1, y . Введем функцию $\theta(t, \varepsilon)$.

$$\theta(t, \varepsilon) = \frac{\tau(\zeta(t, \varepsilon), y(t, \varepsilon))}{T(y(t, \varepsilon))}. \quad (30)$$

Для функций $T(y)$ и $\theta(t, \varepsilon)$. справедливы оценки:

$$|\varepsilon \frac{\partial T}{\partial y}| \leq o(\frac{\varepsilon}{\Omega^{1-\frac{1}{2n}}(\varepsilon)}), \quad (31)$$

$$|\varepsilon \frac{d\theta}{dt} - \frac{1}{T(y(t, \varepsilon))}| = o(\omega(\varepsilon)) + o(\frac{\varepsilon}{\Omega^{1-\frac{1}{2n}}(\varepsilon)}). \quad (32)$$

Теперь результат (24) можно представить в виде

$$|x(t, \varepsilon) - \varphi(T(y(t, \varepsilon)) \cdot \theta(t, \varepsilon), y(t, \varepsilon))| = o(\omega(\varepsilon)). \quad (33)$$

Поскольку при некотором значении ζ_1 решение системы (19) удовлетворяет неравенству $\xi(\zeta_1, \varepsilon) \geq \delta_0$ и $\eta(\zeta_1, \varepsilon) = o(\Omega(\varepsilon))$, то в некоторый момент времени $t_3(\varepsilon)$ соответствующая точка $(x(t_3(\varepsilon), \varepsilon), y(t_3(\varepsilon), \varepsilon))$ системы (1) будет находиться вне малой, но независимой от ε окрестности кривой $x = \varphi_0(r), y = 0$. Таким образом при $\varepsilon \rightarrow 0, t_3(\varepsilon) \rightarrow t_2, y(t_3(\varepsilon), \varepsilon) \rightarrow 0$. Теорема доказана.

Таким образом в статье изучается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

Список литературы

1. Goodyear W.H. A general method of variation of parameters for numerical integration // Astron. J. – 1965. Vol. 70, №5. – P. 524-526.
2. Herrick S. Universal variables // Astron. J. – 1965. Vol. 70, №4. – P. 309-315.
3. Broucke R. Perturbations in rectangular coordinates by iteration // Celest. Mech. – 1969. Vol. 1, №1. – P. 110-129.
4. Szebehely U., Pierce D., Standish S. A group of Earth to Moon trajectories with consecutive collisions // Celest. Mech. and Astrodyn. – 1964. Vol.14. – P. 35-51.
5. Яров-Яровой М.С. Аналитическая теория движения космического корабля к Луне // Труды гос. астроном.инст. им. П. К. Штернберга. – 1967. – Т. 36. – С. 24-160.
6. Petelina V.D. About choosing the form of perturbed body motion differential equations system // IOP Conf. Ser: Mater. Sci. and Eng. – 2018. Vol. 456 – P. 012123.

**АННОТАЦИИ
ABSTRACTS**

Р.В. Андронов, Е.Э. Леверенц, В.О. Доманский, Б.П. Елькин
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ
НА СТАЦИОНАРНОСТЬ МЕТОДОМ
ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

Ключевые слова: стационарность транспортного потока, городские улицы, адаптивное управление, дисперсионный анализ, *t*-статистика Стьюдента, распределение вероятностей.

В статье производится проверка транспортных потоков, движущихся по городским улицам на локальную стационарность, с последующей задачей подбора релевантного закона распределения вероятностей для возможности управления ими с применением адаптивного светофорного регулирования. Ставится гипотеза, что наличие регулируемых пересечений на городской улице делают транспортный поток локально нестационарным по коротким промежуткам времени (5 сек) и требует для описания применения двух и более распределений (смеси распределений).

Оценивается возможность применения как непараметрических тестов (Манна-Уитни, Уилкоксона), так параметрических методов: дисперсионного анализа и *t*-статистики Стьюдента. В заключении статьи делается предварительный вывод о возможности описания транспортного потока бета-распределением при отсутствии значимой нестационарности.

М.С. Муравьев, Г.М. Алимурзоев, А.А. Недошивин,
А.Д. Недошивина, Д.А. Литовский
КОНСТРУИРОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ДЕТЕКТОРА

Ключевые слова: детекторная секция СВЧ, CST Studio, AWR Microwave office, смесительно-детекторный диод, радиационная стойкость.

В работе построена модель СВЧ детектора и получены характеристики регулировочных элементов. Оценена возможность расчета радиационной стойкости на этапе проектирования. Проведён синтез конкретного схемотехнического решения в виде волноводной конструкции на основании полученных данных. Экспериментально исследованы изготовленные детекторы, результаты совпадают с теоретическими с достаточной точностью.

К.А. Насеткин, А.Д. Недошивина, М.С. Муравьев,
Г.М. Алимурзоев, Д.А. Литовский, А.А. Недошивин
КОМПЛЕКСНЫЙ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЙ И ФИЗИКО-
ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УВЕЛИЧЕНИЮ
РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ

Ключевые слова: «кремний на изоляторе», радиационная стойкость, комплексный подход.

В работе предложен комплексный схемотехнический и физико-топологический подход к увеличению радиационной стойкости интегральных схем и частей радиоэлектронной аппаратуры, основанный на новой компактной математической модели короткоканальных полевых транзисторов, изготовленных по технологии «кремний-на-изоляторе». Данный подход позволяет повысить эффективность прогнозирования и повышения радиационной стойкости цифровых микросхем высокой степени интеграции.

Р.З. Хайруллин
ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ НЕКОТОРЫХ
ТИПОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова: испытания, разрушающий контроль, измерительная техника.

Описано применение полумарковской модели к моделированию процесса испытаний измерительной техники с разрушающим контролем в агрессивных средах. Дается методика построения оценок продолжительности испытательного процесса и необходимого числа образцов измерительной техники для проведения испытаний.

R.V. Andronov, E.E. Leverents, V.O. Domanskiy, B.P. Elkin
RESEARCH OF TRAFFIC FLOWS OF THE STREET
NETWORK FOR STATIONARITY BY THE METHOD
OF DISPERSION ANALYSIS

Keywords: stationary traffic flow, city streets, adaptive control, dispersion analysis, Student *t*-statistics, probability distribution.

The article checks traffic flows on city streets for local stationarity. Then the relevant probability distribution law is selected for the possibility of using adaptive traffic light regulation. The hypothesis is put forward that the presence of regulated intersections on a city street makes the traffic flow locally unsteady for short periods of time (5 seconds) and requires two or more distributions (mixtures of distributions) to describe.

Evaluation of the possibility of using both nonparametric tests (Mann-Whitney, Wilcoxon) and parametric methods: analysis of variance and Student *t*-statistics.

In conclusion, it is concluded that it is possible to describe the transport flow by a beta distribution in the absence of significant non-stationarity.

M.S. Muravyev, G.A. Alimirzoev, A.D. Nedoshivina,
A.A. Nedoshivin, D.A. Litovsky
DESIGN AND MATHEMATICAL MODELING
OF A MICROWAVE DETECTOR

Keywords: microwave detection section, CST Studio, AWR Microwave office, mixing-detection diode, radiation resistance. In this paper, a model of a microwave detector is constructed and the characteristics of the adjustment elements are obtained. The possibility of calculating radiation resistance at the design stage is evaluated. The synthesis of a specific circuit solution in the form of a waveguide structure based on the data obtained was carried out. The manufactured detectors have been experimentally investigated, the results coincide with the theoretical ones with sufficient accuracy.

K.A. Nasetkin, A.D. Nedoshivina, M.S. Muravyev,
G.M. Alimirzoev, D.A. Litovsky, A.A. Nedoshivin
PHYSICO-TOPOLOGICAL AND CIRCUIT ENGINEERING
COMPREHENSIVE APPROACH TO INCREASE
RADIATION RESISTANCE

Keywords: SOI, radiation resistance, comprehensive approach. The paper proposes a comprehensive physico-topological and circuit engineering approach to increasing the radiation resistance of integrated circuits and parts of electronic hardware, based on a new compact mathematical model of short-channel field-effect transistors manufactured using "silicon-on-insulator" technology. This approach makes it possible to increase the efficiency of forecasting and increase the radiation resistance of digital chips with a high degree of integration.

R.Z. Khayrullin
SEMI-MARKOV MODEL OF TESTING
FOR SOME TYPES OF MEASURING EQUIPMENT

Keywords: testing, destructive testing, measuring equipment. The application of the semi-Markov model to modeling the process of testing measuring equipment with destructive control in aggressive environments is described. A technique is given for constructing estimates of the duration of the testing process and the required number of samples of measuring equipment for testing.

А.В. Христофорова, В.С. Попов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ
ТОРЦЕВОГО УПЛОТНЕНИЯ КОЛЬЦЕВОГО КАНАЛА

Ключевые слова: математическое моделирование, колебания, вязкая жидкость, кольцевой канал, торцевое уплотнение.

В работе представлены результаты разработки и исследования математической модели колебаний торцевого уплотнения кольцевого канала, заполненного вязкой жидкостью и установленного на вибрирующее основание. Модель исследована методом возмущений в предположении ламинарного движения жидкости в узкой щели. В результате получена амплитудно-частотная характеристика торцевого уплотнения.

Е.Г. Царькова
ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТОЙ ВЕДОМСТВЕННЫХ
СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ
ОТ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Ключевые слова: комплексная безопасность, ситуационное управление, интегрированная система безопасности, IP-видеонаблюдение, компьютерный вирус, оптимальное управление.

Целью исследования является решение актуальной задачи построения оптимальной стратегии управления системой защиты от распространения компьютерных эпидемий в системах ситуационного управления интегрированными системами безопасности охраняемых объектов. В статье предложен аппарат математического моделирования для создания адаптивной системы сетевой защиты от кибератак с использованием гибридного подхода, использующего как классическое управление, так и нейруправление на основе искусственной нейронной сети.

Ю.Г. Жеглова
РОБАСТНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВОЗВЕДЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Ключевые слова: ограждающие конструкции, нулевой цикл строительства, робастный подход, оценка эффективности возведения.

Работа посвящена описанию робастного подхода и его применению для оценки эффективности возведения ограждающих конструкций нулевого цикла строительства. Робастные процедуры могут быть положены в основу системы поддержки принятия решений по выбору технического решения ограждающей конструкции нулевого цикла строительства. Применение данного подхода позволит упростить выбор организации для выполнения строительно-монтажных работ, сократить время на обоснование экономической эффективности возведения технического решения ограждающей конструкции и снизить трудоемкость проработки вариантов.

А.В. Запорожцев, В.И. Хазова, В.И. Хазова
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СВЯЗНОСТЬ КАК СРЕДСТВО
КОНКРЕТИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ СТЕЙКХОЛДЕРОВ

Ключевые слова: стейкхолдер, требование, формулировка требований, улучшение процесса, модернизация, целевая система.

В статье рассматривается вопрос согласования требований различных стейкхолдеров к системе. Этот процесс осложняется тем, что формулировки требований, предъявляемых стейкхолдерами, очень часто обобщенны, не конкретны, в них отсутствует объект, воздействуя на который можно достичь желаемого результата. Для исключения этой особенности предлагается использовать функциональную связность деятельности различных стейкхолдеров, которая может быть выявлена в процессе анализа модели системы.

A.V. Christoforova, V.S. Popov
MATHEMATICAL MODELING OF THE OSCILLATIONS
OF THE ANNULAR CHANNEL END SEAL

Keywords: mathematical modeling, oscillations, viscous fluid, annular channel, end seal.

The paper presents the results of development and research of a mathematical model of vibrations of a face seal of an annular channel filled with viscous fluid and mounted on a vibrating base. The model has been investigated by perturbation method under the assumption of laminar motion of liquid in a narrow slot. As a result, the amplitude-frequency characteristic of end seal is obtained.

E.G. Tsarkova
DYNAMIC MODEL OF OPTIMAL MANAGEMENT OF
PROTECTION OF DEPARTMENTAL SITUATIONAL
CENTERS FROM DESTRUCTIVE INFLUENCES

Keywords: integrated security, situational management, integrated security system, IP video surveillance, computer virus, optimal management.

The aim of the study is to solve the urgent problem of constructing an optimal strategy for managing the protection system against the spread of computer epidemics in situational management systems with integrated security systems of protected objects. The article proposes a mathematical modeling apparatus for building an adaptive network protection system against cyber attacks using a hybrid approach using both classical control and neural control based on an artificial neural network.

Yu.G. Zhiglova
A ROBUST APPROACH FOR ASSESSING
THE EFFICIENCY OF CONSTRUCTION
OF ENCLOSING STRUCTURES

Keywords: enclosing structures, zero construction cycle, robust approach, evaluation of the construction efficiency.

This paper is devoted to the description of the robust approach and its application for assessing the effectiveness of the erection of building envelopes of the zero construction cycle. Robust procedures can be used as the basis for a decision support system for choosing a technical solution for the building envelope of the zero construction cycle. The application of this approach will simplify the choice of an organization to perform construction and installation works, reduce the time to justify the economic efficiency of erecting a technical solution for a building envelope and reduce the complexity of developing options.

A.V. Zaporozhtsev, V.I. Khazova, V.I. Khazova
FUNCTIONAL CONNECTIVITY AS A MEANS
OF SPECIFYING STAKEHOLDERS' REQUIREMENTS

Keywords: stakeholder, requirement, formulation of requirements, process improvement, modernization, target system.

The article considers the issue of coordination of different stakeholders' requirements to the system. This process is complicated by the fact that the formulations of stakeholders requirements is often generalized, not specific, they lack an object, influencing which it is possible to achieve the desired result. To exclude this feature it is proposed to use the functional connectivity of the activities of different stakeholders, which can be identified in the process of analyzing the model of the system.

Н.И. Зонов, Д.В. Моисеев

**АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КА.
ЧАСТЬ V. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И АСТРОИЗМЕРЕНИЙ**

Ключевые слова: спутниковые навигационные системы, численное имитационное моделирование, случайные и неопределённые неконтролируемые факторы, рекуррентные алгоритмы оценивания.

Приведён сравнительный анализ результатов имитационного моделирования процессов навигации геостационарного КА (ГКА) с использованием спутниковых навигационных систем (СНС) и астроизмерений. Проведённый анализ может быть полезен разработчикам программно-математического обеспечения (ПМО) для выбора конкретной конфигурации системы автономной навигации (САН) ГКА.

**И.М. Кузьмина, М.А. Иванова, Т.И. Васильева, И.В. Гоголева
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ
ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, методы распознавания лиц и эмоций, алгоритм распознавания эмоций человека по изображению, машинное обучение.

Работа посвящена изучению сверточных нейронных сетей для разработки алгоритма распознавания эмоций человека. В работе применялись существующие методы распознавания лиц и эмоций, а также инструменты разработки – язык программирования Python и открытая программная библиотек машинного обучения TensorFlow.

Ю.Н. Матвеев, Л.В. Лобачева

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ**

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, риск, управление.

В работе рассмотрены основные подходы к оценке экологического риска технических систем утилизации отходов. На примере свалки твердых коммунальных отходов (ТКО) расположенной в поселке Солнечный Тверской области выполнена оценка экологического риска воздействия старых свалок на окружающую среду.

М.М. Руденко, М.Г. Руденко

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ
ЛАГЕРЕЙ СИЛАМИ РАБОЧИХ БРИГАД**

Ключевые слова: оптимизация, магистральный трубопровод, строительство линейных объектов.

Тактика перемещения временных лагерей силами рабочих бригад зависит от их технической оснащенности. Рассмотрены потери рабочего времени на перемещение лагеря в зависимости от количества рейсов при перевозке. При увеличении количества рейсов минимум суммарных потерь времени увеличивается по величине, а его положение смещается в область более длительного стационарного расположения временного лагеря.

**Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский
МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ
В МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ**

Ключевые слова: авиационный двигатель, малоэмиссионная камера сгорания, эмиссия вредных выбросов, математическая модель, оптимизация.

В статье представлена постановка задачи минимизации вредных выбросов в малоэмиссионной камере сгорания. Сформулированы требования к современным камерам сгорания с точки зрения экологической чистоты. Рассмотрены факторы, влияющие на объем вредных выбросов. Приведены

N.I. Zonov, D.V. Moiseev

**AUTONOMOUS GEO-SATELLITES NAVIGATION.
PART V. COMPARATIVE ANALYSIS OF RESULTS OF
SIMULATION MODELING OF GEO-SATELLITE
NAVIGATION BY USING SATELLITE NAVIGATION
SYSTEMS AND ASTROOBSERVATION**

Keywords: navigation satellite systems, simulation modeling, random and uncertain uncontrolled factors, recurrent estimation algorithms.

The article presents comparative analysis of results of simulation modeling of geo-satellite navigation by using satellite navigation systems and astroobservation. The results obtained can be used to select the configuration of the navigation system for geo-satellites.

**I.M. Kuzmina, M.A. Ivanova, T.I. Vasilyeva, I.V. Gogoleva
DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM
FOR RECOGNITION OF HUMAN EMOTIONS USING
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS**

Keywords: convolutional neural network, face and emotion recognition methods, algorithm for recognizing human emotions from an image, machine learning. The work is devoted to the study of convolutional neural networks for the development of an algorithm for recognizing human emotions. The work used existing methods for recognizing faces and emotions, as well as development tools - the Python programming language and the TensorFlow open source machine learning software library.

**U.N. Matveev, L.V. Lobacheva
TO THE QUESTION OF THE ASSESSMENT
OF THE ENVIRONMENTAL RISK OF TECHNICAL
WASTE UTILIZATION SYSTEMS**

Keywords: solid waste landfill, risk, management. In this paper considers the main approaches to assessing the environmental risk of technical waste disposal systems. On the example of a solid municipal waste dump located in Solnechny settlement of Tver region, an assessment of the environmental risk of the impact of old dumps on the environment was made.

**M.M. Rudenko, M.G. Rudenko
MODELING THE MOVEMENT
OF TEMPORARY CAMPS BY WORK CREWS**

Keywords: optimization, main pipelines, construction. The tactics of moving temporary camps by work crews depends on their technical equipment. The losses of working time for moving the camp depending on the number of flights during transportation are considered. With an increase in the number of flights, the minimum total time loss increases in magnitude, and its position shifts to the area of a longer stationary location of the temporary camp.

**N.V. Andrievskaia, O.A. Andrievskii
MINIMIZATION OF HARMFUL EMISSIONS IN A LOW-
EMISSION COMBUSTION CHAMBER**

Keywords: aircraft engine, low-emission combustion chamber aerial cooler. emissions of harmful substances, mathematical model, optimization. The article presents the formulation of the problem of minimizing harmful emissions in a low-emission combustion chamber. The requirements for modern combustion chambers from the point of view of environmental cleanliness are formulated. The factors influencing the volume of harmful

основные расчетные параметры малоэмиссионной камеры сгорания. Разработан алгоритм минимизации вредных выбросов на основе оптимизационной модели.

emissions are considered. The main design parameters of a low-emission combustion chamber are given. An algorithm for minimizing harmful emissions based on an optimization model has been developed.

М.Б. Балданов, Н.Н. Алексеева, Н.И. Кондакова
ПРОЕКТ ОРОШЕНИЯ ДОЖДЕВАНИЕМ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ УСТЬ-АЛДАНСКОГО
УЛУСА

M.B. Baldanov, N.N. Alekseeva, N.I. Kondakova
IRRIGATION PROJECT BY SPRINKLING OF
AGRICULTURAL LANDS OF UST-ALDAN ULUS

Ключевые слова: сельскохозяйственные земли,
мелиоративные мероприятия, гидромелиорация земель.

Keywords: agricultural lands,
land reclamation measures, land reclamation.

Гидромелиорация земель состоит в проведении комплекса мелиоративных мероприятий, обеспечивающих коренное улучшение заболоченных, излишне увлажненных, засушливых, эродированных, смытых и других земель, состояние которых зависит от воздействия воды. В статье описано проектирование системы орошения дождеванием условий Усть-Алданского улуса. Практическая ценность реализации проекта может положительно отразиться на повышении продуктивности (урожайности) уже используемых сельхоз земель.

Hydro-reclamation of lands consists in carrying out a complex of reclamation measures that ensure the radical improvement of swampy, excessively moistened, arid, eroded, washed away and other lands, the condition of which depends on the impact of water. The article describes the design of a sprinkler irrigation system in the conditions of Ust-Aldan ulus. The practical value of the project implementation can have a positive impact on increasing the productivity (yield) of agricultural land already used.

М.Б. Балданов, Н.И. Кондакова
ПРОВЕДЕНИЕ ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПУТЕМ
УСТРОЙСТВА ЛЕДОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ
АВТОВОДОСБРОСА ВОДОЕМА "ИЛИН-УС-КЕЛЬ"
С. КУРБУСАХ УСТЬ АЛДАНСКОГО УЛУСА

M.B. Baldanov, N.I. Kondakova
CARRYING OUT PREVENTIVE MEASURES
BY INSTALLING AN ICE-PROTECTIVE STRUCTURE
OF THE SPILLWAY OF THE ILIN-US-KEL RESERVOIR
IN KURBUSAKH VILLAGE OF UST-ALDANSKY ULUS

Ключевые слова: ледяные нагрузки,
свайное основание, гидравлическая структура.

Keywords: ice loads, pile foundation, hydraulic structure.
Ice sheets and slush are used to protect the GTS (excess water runoff) from ice loads and to prevent clogging due to the formation of ice sludge. The article describes the protection of the spillway pipe from flood waters, in particular from ice, by building an ice protection structure on a pile foundation, as well as ensuring the safe operation of the spillway.

Ледяные щиты и слякоти используются для защиты ГТС (избыточного стока воды) от ледяных нагрузок и предотвращения засорения из-за образования ледяного шлама. В статье описывается защита водосбросной трубы от паводковых вод, в частности от льда, путём постройки ледозащитного сооружения на свайном основании, а также обеспечение безопасной эксплуатации водосброса.

М.Б. Балданов, Н.А. Лукина, С.В. Степанова
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТНЕГО ВОДОПРОВОДА
В СЕЛЕ ХАМПА ВИЛЮЙСКОГО УЛУСА РС(Я)

M.B. Baldanov, N.A. Lukina, S.V. Stepanova
DESIGN OF SUMMER WATER SUPPLY IN THE
VILLAGE OF KHAMPA VILYUYSKY ULUS RS(YA)

Ключевые слова: система водоснабжения,
водообеспечение, физико-химические процессы.

Keywords: water supply system,
water supply, physico-chemical processes.

Системы водоснабжения представляют собой комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих получение воды из природных источников, ее очистку, транспортирование и подачу потребителям. Конструкция водоснабжения нужна для удовлетворения потребителей в воде промышленности и сельского хозяйства. Водопроводные сети и водоводы занимают особенное пространство в системах водоснабжения. Водопроводная сеть запроектирована с учетом спрашиваемой прочности и водообеспечения потребителей. В статье описано создание системы водоснабжения села Хампа расположенной в Якутии.

Water supply systems are a complex of engineering structures and devices that ensure the receipt of water from natural sources, its purification, transportation and supply to consumers. The design of the water supply is needed to satisfy consumers in the water industry and agriculture. Water supply networks and conduits occupy a special space in water supply systems. The water supply network is designed taking into account the requested strength and water supply to consumers. The article describes the creation of a water supply system for the village of Khampa located in Yakutia.

Д.А. Башмаков, З.Г. Сайфутдинов, А.Т. Галиакбаров
ИССЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

D.A. Bashmakov, Z.G. Saifutdinov, A.T. Galiakbarov
RESEARCH AND MONITORING OF THE TECHNICAL
CONDITION OF HIGH-VOLTAGE MOTORS

Ключевые слова: кабели, проводники, обмотка,
технологический процесс, высоковольтный электродвигатель.
В статье описан метод автоматизации диагностики технического состояния обмоток высоковольтных электродвигателей. Рассмотрен и описан технологический процесс проверки состояния электрических обмоток электрических машин, в том числе и высоковольтных и низковольтных электродвигателей промышленного назначения. Определены причины выхода из строя обмоток электрических машин и аппаратов.

Keywords: cables, conductors, winding,
technological process, high-voltage electric motor.
The article describes a method for automating diagnostics of the technical condition of windings of high-voltage electric motors. The technological process of checking the condition of electric windings of electric machines, including high-voltage and low-voltage electric motors for industrial purposes, is considered and described. The reasons for the failure of the windings of electric machines and apparatuses are determined.

Л.Д. Ибрагимов, И.И. Нуреев,
Рин.Ш. Мисбахов, В.В. Садчиков, Л.М. Сарварова
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
МАКЕТИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КАМЕРЫ
БРЭГГОВСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Ключевые слова: оптический измерительный трансформатор напряжения; цифровой интерфейс; электрострикция в оптических волокнах; трехкомпонентная адресная волоконная брэгговская структура; имитационное моделирование; макетирование высоковольтной камеры.

В работе представлено имитационное моделирование системы опроса датчиков электрострикционных деформаций на трехкомпонентной адресной волоконной брэгговской структуре (ТАВБС) и макетирование высоковольтной камеры для установки указанных датчиков и дальнейших экспериментальных исследований оптического измерительного трансформатора напряжения (ОИТН).

А.А. Иевская, Н.А. Лукина, С.В. Степанова
РЕМОНТ ШЛЮЗ-РЕГУЛЯТОРА №1 ХОРОБУТСКОЙ СЛО»

Ключевые слова: лиманное орошение, использование земли, шлюз-регулятор, водоснабжение.

Лиманное орошение – затопление паводковыми водами сенокосных угодий – единственный вид массового увлажнения почв в Якутии. Применение данного вида увлажнения обосновано природно-климатическими условиями, техническими возможностями проекта и высокой эффективностью в годы неустойчивого увлажнения. Наряду с этим имеется ряд таких недостатков, как переувлажнения по понижениям сенокосного угодья, которые снижают коэффициент использования земли. В статье описывается ряд ремонтных работ для эксплуатации шлюз-регулятора №1 Хоробутской системы лиманного орошения.

К.И. Калашников, М.Н. Иванова, С.В. Степанова
ОРГАНИЗАЦИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ
ВОДОХРАНИЛИЩА КУОЛАГЫ С. ЧУРАПЧА

Ключевые слова: водохранилище, водопропускное сооружение, водный ресурс, гидротехническое сооружение.

Основной задачей водохранилища, является увеличение условия жизнедеятельности сельских населённых пунктов и сельскохозяйственного производства, сохранения и эффективного использования водного ресурса. В статье описываются пути улучшения и произвести расчет экономического эффекта от предлагаемых мероприятий по организации капитального ремонта водопропускного сооружения водохранилища Куолагы с. Чурапча, Чурапчинского улуса РС(Я).

Т.М. Коменданова, М.Н. Иванова, С.В. Степанова
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
В СХПК "КРЕСТЯХ" СУНТАРСКОГО УЛУСА

Ключевые слова: водохранилище, водопропускное сооружение, водный ресурс, гидротехническое сооружение.

В современном мире, есть множество решений проблемы недостатка влаги, проводят мелиоративные, осушительные, увлажнительные и оросительные мероприятия. Исходя из вышеизложенного, в статье описывается создание проекта орошения картофеля дождевальной машиной барабанного типа на земельном участке СХПК «Крестях» Сунтарского улуса Республике Саха (Якутия).

L.D. Ibragimov, I.I. Nureev,
Rin.Sh. Misbakhov, V.V. Sadchikov, L.M. Sarvarova
SIMULATION MODELING AND LAYOUT OF A HIGH-
VOLTAGE CAMERA OF A BRAGG OPTICAL VOLTAGE
MEASURING TRANSFORMER

Keywords: optical measuring voltage transformer; digital interface; electrostriction in optical fibers; three-component addressable fiber Bragg structures; simulation modeling; prototyping of a high-voltage chamber.

The paper presents a simulation of a system for interrogating electrostrictive strain sensors based on a three-component addressable fiber Bragg structure and prototyping a high-voltage chamber for installing these sensors and further experimental studies of an optical voltage measuring transformer.

A.A. Ievskaya, N.A. Lukina, S.V. Stepanova
REPAIR OF THE GATEWAY REGULATOR №1
OF THE KHOROBUTSKAYA SLO"

Keywords: estuary irrigation, land use, water regulator, water supply.

Estuary irrigation – flooding of hayfields by flood waters – is the only type of mass soil moistening in Yakutia. The use of this type of humidification is justified by natural and climatic conditions, technical capabilities of the project and high efficiency in the years of unstable humidification. Along with this, there are a number of disadvantages such as waterlogging by lowering the hayfields, which reduce the coefficient of land use. The article describes a number of repair works for the operation of the gateway regulator No. 1 of the Khorobut estuary irrigation system.

K.I. Kalashnikov, M.N. Ivanova, S.V. Stepanova
ORGANIZATION OF MAJOR REPAIRS OF
THE HYDRAULIC STRUCTURE OF THE KUOLAGI
RESERVOIR IN CHURAPCHA VILLAGE

Keywords: water storage, culvert, water resource, hydraulic engineering structure.

The main task of the reservoir is to increase the living conditions of rural settlements and agricultural production, conservation and efficient use of water resources. The article describes ways to improve and calculate the economic effect of the proposed measures for the organization of major repairs of the culvert of the Kuogaly reservoir in the village of Churapcha, Churapcha ulus RS (Ya).

T.M. Komendanova, M.N. Ivanova, S.V. Stepanova
DESIGN OF IRRIGATION SYSTEM
IN THE AGRICULTURAL COMPLEX "KRESTY"
OF SUNTARSKY ULUS

Keywords: water storage, culvert, water resource, hydraulic engineering structure.

In the modern world, there are many solutions to the problem of lack of moisture, reclamation, drainage, humidification and irrigation measures are carried out. Based on the above, the article describes the creation of a potato irrigation project with a drum-type sprinkler machine on the land plot of the agricultural complex "Krestyakh" of the Suntarsky ulus in the Republic of Sakha (Yakutia).

Е.Э. Куклина, С.В. Степанова
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШЛЮЗ-РЕГУЛЯТОРА № 5
ОРОСУНО-НЕГОДАЙСКОЙ СИСТЕМЫ ЛИМАННОГО
ОРОШЕНИЯ ВЕРХНЕВИЛЮЙСКОГО УЛУСА РС(Я)

Ключевые слова: водохранилище,
водопроточное сооружение, водный ресурс,
гидротехническое сооружение.

Система лиманного орошения в Якутии применяется для повышения урожайности сенокосных угодий. Без орошения, урожайность в среднем составляет до 1,0–1,5 тонн с гектара. При лиманном орошении с проведением всех необходимых мероприятий (своевременное орошение, культуртехнические мероприятия, внесение удобрений и др.) можно повысить урожайность до 2,5–3,5 тонн с гектара. В статье описывается восстановление (реконструкция) шлюз-регулятор № 5 Оросуно-Негодаяйской системы лиманного орошения Верхневиллюйского улуса РС (Я), площадью 566 га является актуальной задачей.

Г.Ф. Кыркунова, Ю.А. Шапошников, Л.А. Дарбасова
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТНЕГО ВОДОПРОВОДА
С. БЫТЫК-КЮЕЛЬ, ТАТТИНСКОГО УЛУСА РС(Я)

Ключевые слова: водохранилище,
водопроточное сооружение, водный ресурс,
гидротехническое сооружение.

Система лиманного орошения в Якутии применяется для повышения урожайности сенокосных угодий. Без орошения, урожайность в среднем составляет до 1,0–1,5 тонн с гектара. При лиманном орошении с проведением всех необходимых мероприятий (своевременное орошение, культуртехнические мероприятия, внесение удобрений и др.) можно повысить урожайность до 2,5–3,5 тонн с гектара. В статье описывается восстановление (реконструкция) шлюз-регулятор № 5 Оросуно-Негодаяйской системы лиманного орошения Верхневиллюйского улуса РС (Я), площадью 566 га является актуальной задачей.

А.В. Чупаев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИДЕОФИКСАЦИИ
ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: видеофиксация,
камера, обработка изображений, таймлапс.

В данной статье представлено описание системы видеофиксации, которая способна в автоматическом режиме проводить длительную съемку выбранного объекта с последующим преобразованием полученного материала в видеоролик небольшой продолжительности. Развитие электронной и фото техники привело к созданию современных систем, которые используются во всем мире для видеофиксации процессов, происходящих на протяжении разного количества времени. Подобный род систем применяется для видеофиксации процессов в различных областях, например, таких как природа, наука, строительство и т.д. Данные системы производят серию фотоснимков с одного фиксированного ракурса через равные промежутки времени, затем полученный ряд снимков сшивается в один видеоролик. Сегодня существует множество производителей таймлапс систем. Большинство из которых ориентированы на видеофиксацию определенных процессов или для строго определенных условий проведения съемки, что существенно сокращает область их применения.

М.П. Овчинцев
О НЕКОТОРОМ КОНФОРМНОМ ОТОБРАЖЕНИИ
В КРУГОВОМ КОЛЬЦЕ

Ключевые слова: функция Неймана,
тэта функция Якоби, функция Грина,
комплексная функция Грина, конформное отображение.

В представленной работе рассматривается некое конформное отображение, заданное в круговом кольце. Статья состоит из трех частей. В первой части напоминаются определения

E.E. Kuklina, S.V. Stepanova
RESTORATION OF THE GATEWAY REGULATOR № 5
OF THE OROSUNO-SCOUNDREL ESTUARY
IRRIGATION SYSTEM OF THE VERKHNEVILYUYSKY
ULUS RS(YA)

Keywords: reservoir, culvert, water resource,
hydraulic structure.

The estuary irrigation system in Yakutia is used to increase the yield of hayfields. Without irrigation, the average yield is up to 1.0–1.5 tons per hectare. With estuary irrigation with all the necessary measures (timely irrigation, cultural measures, fertilization, etc.), it is possible to increase the yield to 2.5–3.5 tons per hectare. The article describes the restoration (reconstruction) of the gateway regulator No. 5 of the Orosun–Scoundrel estuary irrigation system of the Verkhnevilyuysky ulus RS (Ya), with an area of 566 hectares, is an urgent task.

G.F. Kyrkunova, Y.A. Shaposhnikov, L.A. Darbasova
DESIGN OF THE SUMMER WATER PIPELINE
IN THE VILLAGE OF YTYK-KYUEL,
TATTINSKY ULUS RS(YA)

Keywords: reservoir, culvert,
water resource, hydraulic structure.

The estuary irrigation system in Yakutia is used to increase the yield of hayfields. Without irrigation, the average yield is up to 1.0–1.5 tons per hectare. With estuary irrigation with all the necessary measures (timely irrigation, cultural measures, fertilization, etc.), it is possible to increase the yield to 2.5–3.5 tons per hectare. The article describes the restoration (reconstruction) of the gateway regulator No. 5 of the Orosun–Scoundrel estuary irrigation system of the Verkhnevilyuysky ulus RS (Ya), with an area of 566 hectares, is an urgent task.

A.V. Chupaev, R.R. Galyamov, A.Yu. Sharifullina
SYSTEM OF AUTOMATIC VIDEO FIXING
OF LONG PROCESSES

Keywords: video recording, camera,
image processing, timelapse.

This article presents a description of the video recording system, which is capable of automatically shooting a selected object for a long time, followed by converting the resulting material into a short video clip. The development of electronic and photo technology has led to the creation of modern systems that are used all over the world for video recording of processes occurring over a different amount of time. This kind of systems is used for video recording of processes in various fields, such as nature, science, construction, etc. These systems produce a series of photographs from one fixed angle at regular intervals, then the resulting series of images is stitched into one video. Today there are many manufacturers of time-lapse systems. Most of them are focused on video recording of certain processes or for strictly defined shooting conditions, which significantly reduces their scope.

M.P. Ovchintsev
ON SOME CONFORMAL MAPPING
IN A CIRCULAR RING

Keywords: Neumann function, Theta Jacobi's function, Green's function, complex Green's function, conformal mapping.
A certain conformal mapping in a circular ring is considered in the present paper. The article consists of three parts. In the first part, the definitions of the Neumann function and the complex Green function given in a circular ring are recalled.

функции Неймана и комплексной функции Грина, заданные в круговом кольце. Во второй части изучается конформное отображение, которое круговое кольцо отображает на плоскость с двумя вырезанными на действительной оси абсцисс отрезками. В третьей части устанавливается свойство монотонности функции Грина, заданной в круговом кольце на любой окружности с центром в начале координат и лежащей в кольце.

В.Д. Петелина

КАЧЕСТВЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ
СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ

Ключевые слова: система дифференциальных уравнений
возмущенного движения тела, регуляризирующая независимая
переменная, возмущение, многочлен, приближение.

В статье рассматривается качественный характер поведения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, когда малый параметр стремится к нулю на конечном отрезке времени, на котором медленная переменная проходит через некоторую точку, соответствующую бифуркации в системе «быстрых движений»: устойчивый предельный цикл сливается с неустойчивым и исчезает.

In the second part, I study the conformal mapping that a circular ring maps to a plane with two segments cut out on the real axis of the abscissa. In the third part, the monotonicity property of the Green function is established, given in a circular ring on any circle centered at the origin and lying in the ring.

V.D. Petelina

QUALITATIVE BEHAVIOR OF SOLUTIONS
TO A NONLINEAR SYSTEMS OF DIFFERENTIAL
EQUATIONS WITH SMALL PARAMETER

Keywords: system of differential equations
of perturbed body locomotion, regularizing independent
variable, perturbation, polynomial, approximation.

This paper presents the qualitative behaviour of solutions of ordinary differential equations system when a small parameter tends to zero on a finite time interval, where the slow variable passes through some point corresponding to the bifurcation in the system of 'rapid motions': the stable limit cycle merges with the unstable one and disappears.

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**

№9 2022

Направления:

- 1.2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ
МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)**
- 2.3.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ (технические науки)**
- 2.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (физико-математические науки)**
- 2.3.5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
СЕТЕЙ (технические науки)**
- 2.3.6. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(физико-математические науки)**

www.ntvprrt.ru

Реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732
Подписано в печать 29.09.2022 Формат А4. Печать цифровая.
Дата выхода в свет 29.09.2022
8,2 усл.печ.л. 9,8 уч.изд.л. Тираж 500 экз. Заказ 4330.

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»