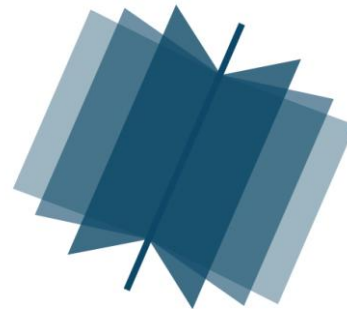

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

**ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург
2017



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: ИП Соколова М.В.
Главный редактор: Миллер А.В.
Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская,
д. 4, корп. А, оф. 17.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org

**№ 05 (59) 2017
Часть 3
Май**

Подписано в печать 19.05.2017.
Тираж 900 экз.
Заказ 26187.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Журнал входит в международную базу научного цитирования **Agris**.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПИ № ФС 77 – 51217**.

Члены редколлегии:

Филологические науки: Растягаев А.В. д-р филол. наук, Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Вербицкая О.М. к.филол.н.

Технические науки: Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Герасимова Л.Г., д-р техн. наук, Курасов В.С., д-р техн. наук, проф., Оськин С.В., д-р техн. наук, проф.

Педагогические науки: Лежнева Н.В. д-р пед. наук, Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук.

Психологические науки: Мазилев В.А. д-р психол. наук, Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук.

Физико-математические науки: Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свиштунов Ю.А., д-р физ.-мат. наук, проф.

Географические науки: Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Огуреева Г.Н., д-р геогр. наук, проф.

Биологические науки: Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Еськов Е.К., д-р биол. наук, проф., Шеуджен А.Х., д-р биол. наук, проф.

Архитектура: Янковская Ю.С., д-р архитектуры, проф.

Ветеринарные науки: Алиев А.С., д-р ветеринар. наук, проф., Татарникова Н.А., д-р ветеринар. наук, проф.

Медицинские науки: Медведев И.Н., д-р мед. наук, д.биол.н., проф., Никольский В.И., д-р мед. наук, проф.

Исторические науки: Меерович М.Г. д-р ист. наук, к.архитектуры, проф., Бакулин В.И., д-р ист. наук, проф., Бердинских В.А., д-р ист. наук, Лёвочкина Н.А., к.ист.наук, к.экон.н.

Культурология: Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

Искусствоведение: Куценков П.А., д-р культурологии, к.искусствоведения.

Философские науки: Петров М.А., д-р филос. наук, Бессонов А.В., д-р филос. наук, проф.

Юридические науки: Костенко Р.В., д-р юрид. наук, проф., Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Ергашев Е.Р., д-р юрид. наук, проф.

Сельскохозяйственные науки: Важов В.М., д-р с.-х. наук, проф., Раков А.Ю., д-р с.-х. наук, Комлацкий В.И., д-р с.-х. наук, проф., Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Наумкин В.П., д-р с.-х. наук, проф.

Социологические науки: Замараева З.П., д-р социол. наук, проф., Солодова Г.С., д-р социол. наук, проф., Кораблева Г.Б., д-р социол. наук.

Химические науки: Абдиев К.Ж., д-р хим. наук, проф., Мельдешов А. д-р хим. наук.

Науки о Земле: Горяинов П.М., д-р геол.-минерал. наук, проф.

Экономические науки: Бурда А.Г., д-р экон. наук, проф., Лёвочкина Н.А., д-р экон. наук, к.ист.н., Ламоттке М.Н., к.экон.н.

Политические науки: Завершинский К.Ф., д-р полит. наук, проф.

Фармацевтические науки: Тринева О.В. к.фарм.н., Кайшева Н.Ш., д-р фарм. наук, Ерофеева Л.Н., д-р фарм. наук, проф.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ	6
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ МОЙКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ГИДРОЦИКЛОННЫХ УСТАНОВКАХ	10
НЕВЕРБАЛЬНЫЕ КОММУНИКАЦИИ ЖИВОТНОГО МИРА: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЖЕСТОВЫХ ЯЗЫКОВ	14
К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БОЛТОВ ВО ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ	23
КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ НОВИЗНЫ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ	28
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПИСАНИЯ ЗАДЕРЖЕК СТАНДАРТНЫХ ЯЧЕЕК В ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ	32
ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПО ДИАГРАММЕ ВДАВЛИВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА ДЛЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТЗ-1	36
ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГИСТРАЦИИ И КОНТРОЛЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА LAB VIEW	39
ОЦЕНКА УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ	42
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ВЕБ-АНАЛИТИКИ.....	47
АНАЛИЗ КОМФОРТНОСТИ И УДОБСТВА СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ НЕФТЯНИКОВ	50
ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРЕЦИЗИОННОГО ПОВОРОТНОГО СТОЛА НА ПОГРЕШНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК	52
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ТРАССИРОВКИ СОБЫТИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ	59
ПРИНЦИП РАВНОПРОЧНОСТИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ.....	66
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	69
ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ	71
АЛГОРИТМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МЕМБРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	75
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИЕМОПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СЕРСОРНЫХ СЕТЕЙ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	79
РАСПОЗНАВАНИЕ СИМВОЛОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, СОДЕРЖАЩИХ ИСКАЖЕНИЯ	81
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПЕРЕМЕШИВАНИИ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ.....	86
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СОКРАЩЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ.....	94
АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ПО SCRUM МЕТОДОЛОГИИ	98
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ	103
СИНХРОНИЗАЦИЯ ВЫДЕЛЕННЫХ РАЙОНОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ	107
ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ КАЧЕСТВА МЯСНЫХ ФАРШЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ	113
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ЯЧЕЙКЕ ПРИ ПОМОЩИ 2D-НЕСТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ.....	115
ПРОБЛЕМА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ МАЛОВОДНЫХ РАЙОНОВ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	120
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЫЖИКОВО-МИНЕРАЛЬНОГО ТОПЛИВА	124
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ТЕСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	129

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	132
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И УБОРКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	138
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РИСКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА.....	141

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

THE CREATION OF THE PHONON SPECTRUM ACCORDING TO THE SPECIFIC HEAT FOR COMPOSITE MATERIALS	144
ТОКОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЕФЕКТНЫХ СОСТОЯНИЙ В СТЕКЛООБРАЗНОЙ СИСТЕМЕ As-Se	147
КОРРЕКТНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАССОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА	154
ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИНДУКЦИОННЫХ ТОКОВ	158
METRIC SPACE OF UNLIMITED CONVEX SETS AND UNLIMITED POLYHEDRON.....	162

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

ПРОБЛЕМА ЗАХОРОНЕНИЯ МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	164
--	-----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERINGDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.086>**Барышок Е.С.¹, Хорошева В.В.², Тропченко А.А.³**¹ORCID: 0000-0002-6575-0991, магистрант кафедры Вычислительной Техники,
Университет Информационных технологий механики и оптики,²ORCID: 0000-0002-3585-7739, магистрант кафедры Вычислительной Техники,
Университет Информационных технологий механики и оптики,³ORCID: 0000-0001-9812-7947, кандидат технических наук, доцент кафедры Вычислительной Техники,
Университет Информационных технологий механики и оптики**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ****Аннотация**

Для реализации дополненной реальности в музейном пространстве, были рассмотрены типы построения дополненной реальности, алгоритмы и методы визуализации объектов на основе различных технологий, а также проанализированы решения построения дополненной реальности с использованием маркеров и без них. По проведенному анализу осуществляется выбор наиболее подходящих алгоритмов построения объектов и методов распознавания места их отображения для решения конкретной задачи - организации музейного пространства.

Вторым аспектом стало улучшение "качества внедрения" моделей дополненной реальности в реальный мир. То есть повышение реалистичности объектов и "стирание" границы между компьютерной графикой и объектами физического мира.

Ключевые слова: дополненная реальность, метод, маркер, методы обнаружения признаков, трекинг, визуализация.

Baryshok E.S.¹, Khorosheva V.V.², Tropchenko A.A.³¹ORCID: 0000-0002-6575-0991, Master of Science in Computer Engineering,
Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics²ORCID: 0000-0002-3585-7739, Master of Science in Computer Engineering,
Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics³ORCID: 0000-0001-9812-7947, Phd in Engineering, Associate Professor of the Department of Computing Engineering,
Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics**COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES OF ADDITIONAL REALITY CONSTRUCTION****Abstract**

In order to use augmented reality in the museum space, we have considered types of augmented reality constructions, algorithms and methods for visualizing objects on the basis of various technologies as well as solutions for building augmented reality using markers and without them. According to the results of the analysis, the most suitable algorithms for constructing objects and methods for recognizing the location of their mapping are selected to solve a specific problem – the organization of the museum space.

The second aspect of the paper is the improvement of the "quality of introduction" of models of augmented reality into the real world and namely the increase of the realism of objects and "blurring" the boundary between computer graphics and objects in the physical world.

Keywords: augmented reality, method, marker, character detection methods, tracking, visualization.

Дополненная реальность (термин, предложенный исследователем Томом Коделом в 1990 году) – технология, позволяющая человеку ощущать реальный мир вместе с виртуальными объектами, наложенными на окружающую обстановку. В настоящее время популярность и востребованность дополненной реальности набирает обороты, однако в России этой сфере пока не уделяется достаточного внимания.

Целью данного исследования является подбор наиболее подходящего принципа построения дополненной реальности для конкретной задачи – использования дополненной реальности в музейных пространствах.

В соответствии с поставленной целью исследования необходимо было решить следующие задачи:

1. Произвести поиск и анализ существующих принципов построения дополненной реальности;
2. Предложить наиболее подходящие методики для использования дополненной реальности в музейных пространствах;

3. Проанализировать основные недостатки технологий дополненной реальности в музейном пространстве.

Для построения дополненной реальности одной из важнейших составляющих в реализации является процесс отслеживания интересующего нас объекта в окружающей обстановке (так называемый Трекинг)[1, С.129].

В настоящее время выделяют следующие виды трекинга:

1. Акустический
2. Радиочастотный
3. Магнитный
4. Оптический
5. Инерциальный
6. Гибридный

Для осуществления первых трех видов трекинга необходимо специальное оборудование для отслеживания ультразвуковых волн, радиочастот и интенсивности магнитного поля. В случае реализации дополненной реальности в музейном пространстве такие виды трекинга не только сложны с точки зрения реализации, но имеют и другие недостатки. Так, например, скорость звука сильно зависит от факторов внешней среды, радиочастотные методы

недостаточно точны, а магнитные методы подвержены помехам, создаваемыми другими электронными приборами.

Инерциальные методы обнаруживают координаты местонахождения пользователя с помощью таких приборов, как гироскоп, GPS-приемник, акселерометр, которые имеются почти во всех современных смартфонах. Такой метод применим для построения навигатора для автомобиля, в котором указывающие стрелки будут строиться прямо на дороге (см.рис.1), но в музейных пространствах он не будет удовлетворять требованиям по точности (для GPS\Glonass приемника погрешность в 2-5 метров незначительна - однако может привести к отображению соседнего зала вместо текущего) . В музейном пространстве использование только координат пользователя и его местоположения будет недостаточно: повернувшись к другому экспонату, наблюдатель останется в том же месте, однако визуализировать необходимо уже совсем другую модель.



Рис. 1 – Пример использования инерциального метода для построения маршрута в дополненной реальности

Оптические методы определяют местоположение объекта с помощью камер и с использованием различных алгоритмов компьютерного зрения. В этом виде трекинга камера может определять положение объекта по характерным точкам, располагаясь при этом статически (см.рис. 2а). Второй возможный вариант, когда камера будет отслеживать неподвижные точки окружающего пространства, двигаясь при этом вместе с наблюдателем (см.рис. 2б) [3, С. 3].

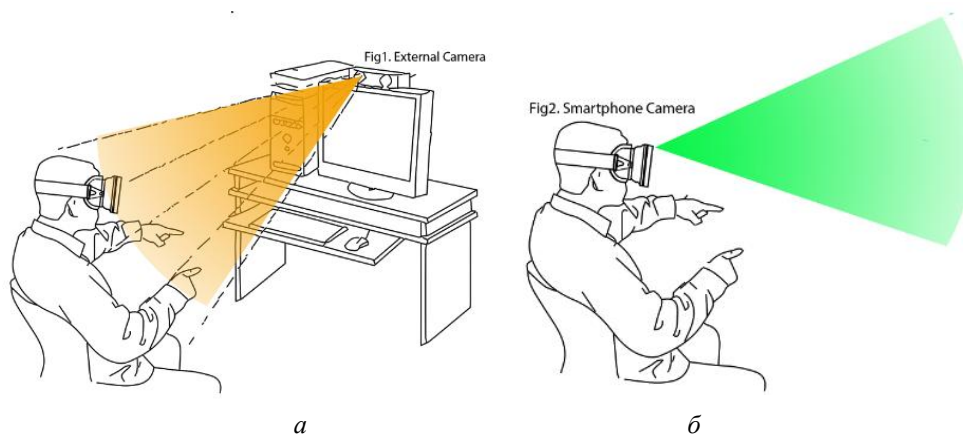


Рис. 2 – Расположение камеры статически (а) и на наблюдателе (б)

В музейном пространстве подразумевается, что посетителей будет большое количество, и каждому из них необходимо построить дополненную реальность с учетом местоположения каждого человека в отдельности. Поэтому второй рассмотренный вариант выглядит наиболее подходящим. В качестве камеры может использоваться смартфон или очки дополненной реальности, в качестве наблюдателя – посетитель.

Все описанные методы далеко не идеальны и имеют свои недостатки, поэтому для решения многих задач применяется так называемый гибридный метод. Он заключается в объединении и комбинации различных видов отслеживания.

Так как оптический метод кажется наиболее простым и подходящим для решения поставленной задачи, то остановимся подробнее именно на нем. Помимо различий в расположении камеры, оптический метод разделяется еще на два вида трекинга:

1. Трекинг на маркерной основе;
2. Трекинг без использования маркера.

Второй способ обычно не учитывает масштабы объектов дополненной реальности и его местоположение. Пользователю необходимо вводить дополнительную информацию для построения объектов, что уменьшает эффект погружения в дополненную реальность. А учитывая, что большинство посетителей музеев - люди, не обладающие необходимыми компетенциями, такой интерфейс может быть чересчур сложен и непонятен. Поэтому процесс обучения и познания мира, что является первоочередной задачей музея, превратится в игровой процесс, отвлекающий посетителей.

В то же время для реализации трекинга на основе маркера потребуются только камера посетителя и заранее подготовленное место на платформе экспоната. Учитывая, что подготовка происходит всего один раз, для всех пользователей и не зависит от них, данный способ выглядит более приоритетным [2, С.2].

Под маркером понимается некий физический (не виртуальный) объект, расположенный в окружающем пространстве, который распознается и анализируется с помощью специально реализованных алгоритмов и служит для визуализации заранее заданных виртуальных моделей. Маркером может быть любой объект или его часть, но чаще всего в качестве маркера используется распечатанное на бумаге специальное изображение, такое, чтобы алгоритмы компьютерного зрения могли безошибочно и однозначно его распознать. Такой вид трекинга возможен только в пределах прямой видимости маркера.

Различные типы создания и распознавания маркеров, привели к появлению различных технологий поиска. Основными являются: генетические алгоритмы поиска и методы обнаружения признаков (feature detection).

Генетические алгоритмы используются для поиска определенного объекта на статическом изображении или видеопотоке, путем предварительно обучения алгоритма на большом количестве верных и ложных изображений. Такой алгоритм может быть применим к рассматриваемой задаче, так как с его использованием сразу решается проблема неверного распознавания объекта, например, при просмотре экспоната посетителем с различных ракурсов.

Группа методов, основанная на обнаружении признаков (feature detection), в качестве маркеров использует объекты реального мира или какую-то их часть. К таким методам относятся распознавание контуров, опорных точек или поиск по шаблону. Эти методы наряду с другими могут быть использованы для распознавания специальных изображений или объектов - маркеров, заранее подготовленных и расположенных на месте визуализации объектов дополненной реальности.

Таким образом в музейном пространстве есть возможность использования различных типов маркеров и алгоритмов построения. Например, в качестве примера для маркера можно использовать платформу динозавра, и перед посетителями визуализируется модель динозавра в практически натуральную величину, позволяя представить себе масштабы этого древнего животного. Или скелета рыбы на которой появится ее “живой” образ.

Однако не стоит забывать и об основных недостатках дополненной реальности в общем и существующих приложений в музейной среде в частности. Непонятный интерфейс, ограниченное использование технологий дополненной реальности, низкая реалистичность и отсутствие освещенности, теней и низкая детализация могут легко оттолкнуть пользователей от использования данных технологий.

Одним из факторов отталкивающих от дополненной реальности является вывод дополнительной информации об экспонате на экране и так перегруженного информацией смартфона, хотя информация распечатанная на листе бумаги рядом с экспонатом будет гораздо удобнее. Но явным преимуществом является то, что производительность мобильных устройств и технологии компьютерной графики позволяют визуализировать полномасштабную модель экспоната, которого нет возможности представить в данном музее. При этом можно рассмотреть экспонат со всех сторон в мельчайших деталях и подарить посетителям возможность хотя бы частично прикоснуться к истории.

Однако для достижения такого эффекта необходимо помнить и о реалистичности модели. А для этого, в первую очередь, необходимо уделить внимание освещенности модели, его падающей тени и отражениям. Например, использование метода Ambient Occlusion, который применяется в компьютерной графике и игровой индустрии, даст возможность повысить реалистичность модели, за счет затененности (см.рис.3), при сравнительно незначительных затраченных ресурсах.

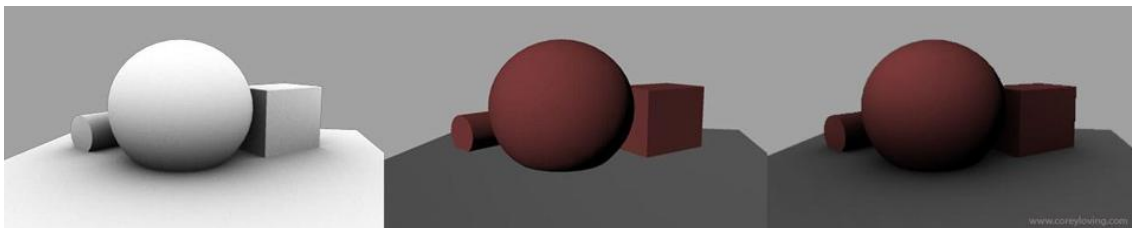


Рис. 3 – Метод Ambient Occlusion

Ambient Occlusion - глобальная модель затенения, позволяющая создать внутреннюю тень объекта, за счет использования расчета интенсивности света доходящего до каждой точки. Интенсивность вычисляется путем построения лучей во всех направлениях из определенной точки и анализа пересечения лучей с другими объектами или частями самого объекта (см.рис.4).

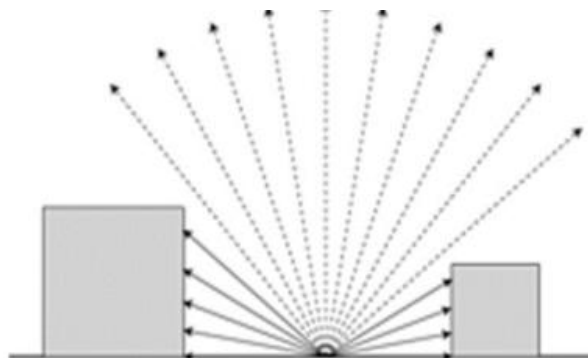


Рис. 4 – Принцип работы метода Ambient Occlusion

Модель АО позволяет более реалистично передать объемность объекта, нежели модель прямого освещения. Значение A_b в точке p поверхности с нормалью N может быть рассчитано путём интегрирования функции видимости по полусфере Ω :

$$A_b = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} V_{p,\omega}(N \cdot \omega) d\omega$$

Еще одним методом, способный добавить объекту реалистичность, является метод построения освещения и отражения на основе изображения (Image Based Lighting). Принцип работы основывается на законе оптики об углах падения и отражения. Вокруг модели дополненной реальности строится сфера на которую проецируется изображение с камеры. И относительно наблюдателя возможно наложить на объект часть изображения, которое должно отражаться, симулируя поведение объектов в реальном мире.

Однако, так как мы не можем получить изображение за спиной наблюдателя, то на сферу будет накладываться только видимая часть. Из-за этого возможны неточности в отражениях и невозможность отражать объекты невидимые в камеру.

Но, несмотря на это, использование данного метода, поможет визуализировать объект компьютерной графики в изображение реального окружения с большей реалистичностью (см.рис.5). Повышая эффект погружения пользователя в дополненную реальность.



Рис. 5 – Пример использования Image Based Lighting

Таким образом, можно выделить, что для построения дополненной реальности в музейных пространствах из всех возможных рассмотренных методов выделяется оптический метод трекинга с использованием маркеров, как наиболее подходящий. При этом необходимо акцентировать внимание на повышении реалистичности (освещенность, блики, отражение окружающего пространства) объектов дополненной реальности и удобном интерфейсе. Для этого необходимо рассмотреть существующие методы в компьютерной графике, применение которых в дополненной реальности может существенно повысить качество, распространенность и доступность для простого пользователя приложений дополненной реальности в музейном пространстве.

Список литературы / References

1. Благовещенский И.А., Демьянков Н.А. Технологии и алгоритмы для создания дополненной реальности / Благовещенский И.А., Демьянков Н.А. // Моделирование и анализ информационных систем. – 2013. – С.129–138.
2. Xiang Zhang, Stephan Frönz, Nassir Navab. Visual Marker Detection and Decoding in AR Systems: A Comparative Study. / Xiang Zhang, Stephan Frönz, Nassir Navab // Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002. – С. 1–7.
3. Bimber O., Raskar R. Modern approaches to augmented reality / Bimber O., Raskar R. //ACM SIGGRAPH 2006 Courses. – ACM, 2006. – С. 3–5.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Blagoveschenskij I.A., Dem'jankov N.A. Tehnologii i algoritmy dlya sozdaniya dopolnenoy real'nosti [Technologies and algorithms for creating augmented reality] / Blagoveschenskij I.A., Dem'jankov N.A. // Modelirovanie i analiz informacionnyh sistem [Modeling and analysis of information systems]. – 2013. – P.129–138. [in Russian]
2. Xiang Zhang, Stephan Frönz, Nassir Navab. Visual Marker Detection and Decoding in AR Systems: A Comparative Study. / Xiang Zhang, Stephan Frönz, Nassir Navab // Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002. – P. 1–7.
3. Bimber O., Raskar R. Modern approaches to augmented reality / Bimber O., Raskar R. //ACM SIGGRAPH 2006 Courses. – ACM, 2006. – P. 3–5.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.135>Бусарев А.В.¹, Селюгин А.С.², Каюмов И.А.³, Бадрутдинов Р.А.⁴^{1,2,3} Кандидат технических наук, доцент КГАСУ, профессор РАЕ;⁴ Магистрант.

Казанский государственный архитектурно–строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ МОЙКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ГИДРОЦИКЛОННЫХ УСТАНОВКАХ**Аннотация**

Очистка сточных вод от мойки автомобилей с целью их повторного использования в оборотных системах автомоек является актуальной проблемой. Проведенные Казанским государственным архитектурно–строительным университетом исследования процессов очистки нефтесодержащих сточных вод в напорных гидроциклонах позволили разработать установку для очистки сточных вод от мойки автомобилей. В результате проведенных на экспериментальной гидроциклонной установке исследований по очистке сточных вод от мойки автомобилей, определены геометрические характеристики напорного гидроциклона для применения его в промышленной установке.

Ключевые слова: автомойка, сточные воды, очистка, исследования, гидроциклон, промышленная установка.

Busarev A.V.¹, Selyugin A.S.², Kayumov I.A.³, Badrutdinov R.A.⁴^{1,2,3} Candidate of technical Sciences, associate Professor KSUAE, Professor RAE, ⁴ Undergraduate student,

Kazan State University of Architecture and Engineering

STUDY OF THE PROCESSES OF PURIFICATION OF WASTE WATER FROM WASHING CARS IN HYDROCYCLONE UNITS**Abstract**

Wastewater from washing cars for their re-use in the circulating systems of car washes is an important issue. Conducted Kazan state architecture and construction University study of the process of purification of oily wastewater in the pressure hydrocyclones allowed to develop a device for the treatment of wastewater from car washing. As a result on an experimental hydrocyclone installation of the studies on the wastewater from car washing, determined by the geometrical characteristics of pressure hydrocyclone for application in an industrial setting.

Keywords: car wash, waste water, purification, research, hydrocyclone, industrial plant.

В связи с бурным ростом автомобильного транспорта увеличивается количество автомоек, которые, согласно нормативным документам, должны оборудоваться оборотной системой водоснабжения. В связи с этим актуальной проблемой является очистка сточных вод от мойки автомобилей с целью их повторного использования в оборотных системах.

Сточные воды от мойки легковых автомобилей загрязнены нефтепродуктами (бензин, дизельное топливо), твердыми взвешенными веществами, а также органическими соединениями. Концентрация взвешенных веществ достигает 400–700 мг/л, нефтепродуктов 20–75 мг/л, а БПКполн этих стоков составляет 20–40 мгО₂/л [1, С. 31]. В очищенных стоках содержание взвешенных веществ не должно превышать 2–5 мг/л, нефтепродуктов – 0,5÷1 мг/л, а БПКполн – 3÷5 мгО₂/л. Для очистки сточных воды от мойки автомобилей применяются механические и физико–химические методы [2, С. 527].

В Казанском государственном архитектурно–строительном университете (КГАСУ) в течение многих лет ведутся исследования процессов очистки нефтесодержащих сточных вод в напорных гидроциклонах, в результате которых установлено, что при обработке нефтесодержащих стоков в поле центробежных сил напорного гидроциклона происходит укрупнение капель нефтепродуктов, что значительно интенсифицирует процесс последующего отстаивания [3, С. 97]. [4, С. 42]. Для очистки нефтесодержащих сточных вод КГАСУ разработаны гидроциклонные установки различных конструкций [3, С.172], [4, С. 146], [5, С. 213].

На рис. 1 представлена схема установки для очистки от мойки легковых автомобилей, разработанная в КГАСУ.

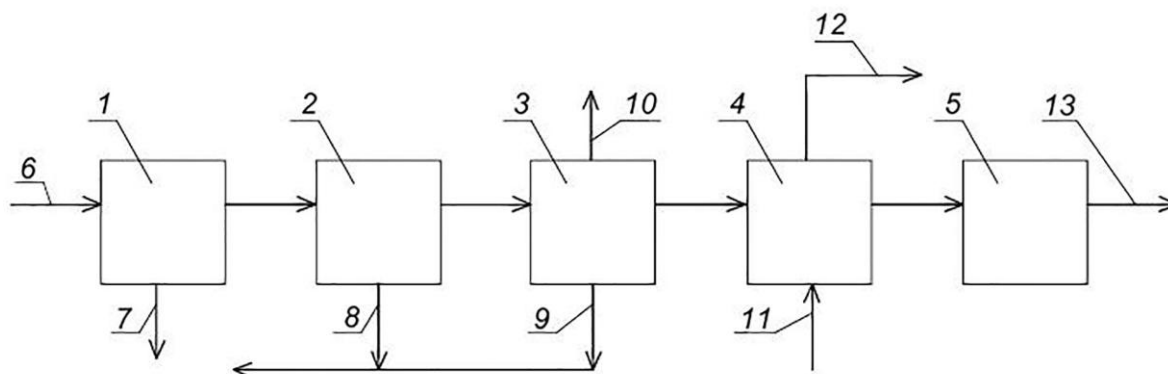


Рис. 1 – Схема установки для очистки сточных вод от мойки автомобилей: 1 – горизонтальная песколовка; 2 – батарея напорных гидроциклонов; 3 – напорный тонкослойный отстойник; 4 – фильтровальная станция; 5 – блок глубокой очистки от нефтепродуктов

Сточная вода от мойки автомобилей по трубопроводу 6 поступает в горизонтальную песколовку 1. Осадок из песколовки удаляется по трубопроводу 7. Из песколовки сточная вода подается в батарею гидроциклонов 2, работающих с противодавлением на сливах. Нижний слив гидроциклонов по трубопроводу 8 отводится в песковые бункера, а верхний слив – в отстойник 3. Осадок из отстойника 3 периодически отводится по трубопроводу 9, а уловленные нефтепродукты – по трубопроводу 10. Фильтровальная станция 4 состоит из напорных скорых фильтров с двухслойной загрузкой (дробленый керамзит и кварцевый песок) [2,3]. Вода на промывку фильтров подается по трубопроводу 11, а загрязненная промывная вода отводится по трубопроводу 12. Блок глубокой очистки 5 включает либо сорбционные фильтры, загруженные активированным углем, либо установку с мембранными разделителями [6, С.116], [7, С.49]. Очищенная вода по трубопроводу 13 подается в систему оборотного водоснабжения автомойки.

Для совершенствования установок очистки сточных вод от мойки легковых автомобилей необходимы исследования процессов их очистки в напорных гидроциклонах. Исходя из поставленной задачи, проведены исследования на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис.2.

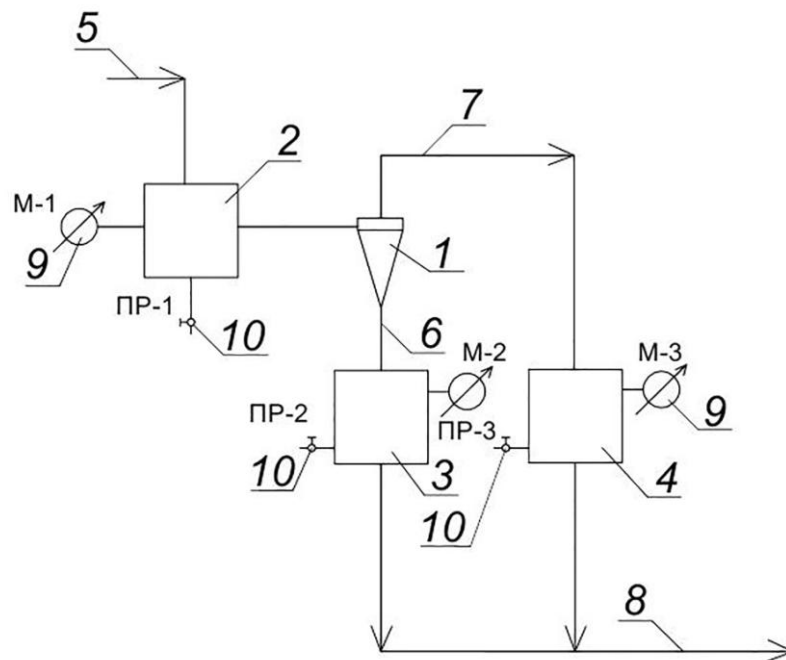


Рис. 2– Схема экспериментальной установки

1– напорный гидроциклон; 2 – успокоительная емкость; 3,4 – емкости нижнего и верхнего сливов; 5 – подача стоков на очистку; 6,7 – трубопроводы нижнего и верхнего сливов; 8 – дренаж; 9 – манометр; 10 – пробоотборник

В работе [8, С.56] для очистки сточных вод от взвешенных веществ рекомендуется применять гидроциклоны диаметром от 50 до 250 мм. Для очистки сточных вод от взвешенных веществ КГАСУ рекомендует гидроциклоны диаметром от 40 до 100 мм.

В таблице 1 приведены геометрические характеристики испытанных гидроциклонов.

Таблица 1 – Геометрические характеристики гидроциклонов

Тип гидроциклона	Диаметры, мм				Угол конусности, град	Высота цилиндрической части, мм	Общая высота гидроциклона, мм
	гидроциклона	входного патрубка	верхнего слива	нижнего слива			
ГЦ-40-I	40	15	10	5	5	40	565
ГЦ-75-I	75	15	20	10		80	815
ГЦ-80-I	80	20	20	10		80	745
ГЦ-100-I	100	20	20	10		100	1120

При проведении опытов давление на входе в гидроциклон контролировалось по показаниям манометра М-1 и варьировалось от 0,3 до 0,6 МПа, а давление на сливах гидроциклона контролировалось по показаниям манометров М-2 и М-3 – от 0,1 до 0,4 МПа [6, С.116]. Концентрация загрязнений определялась в пробах, одновременно отбираемых из пробоотборников ПР-1 (исходная вода), ПР-2 (очищенная от нефтепродуктов вода) и ПР-3 (очищенная от взвеси вода). Содержание нефтепродуктов в пробах определялось фотокалориметрическим методом, а взвешенных веществ – весовым методом [7, С. 49].

Результаты исследований по очистке сточных вод от мойки легковых автомобилей в напорных гидроциклонах представлены в таблице 2. При проведении опытов концентрация взвешенных веществ в исходной сточной воде находилась в пределах 319–484 мг/л, а нефтепродуктов 25–69 мг/л.

Таблица 2–Результаты испытаний гидроциклонов

Тип гидроциклона	Давление, МПа		Концентрация взвеси, мг/л		Эф-фekt очист-ки от взвеси, %	Концентрация нефтепродуктов, мг/л		Эф-фekt очист-ки от нефте-продуктов, %
	на входе в гидроциклон	давление на сливах	в исходной воде	в очищенной воде		в исходной воде	в очищенной воде	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ГЦ-40-I	0,3	0,1	481	196	59	69	32	54
	0,4	0,1	465	157	66	65	25	62
	0,4	0,2	472	188	60	60	26	57
	0,5	0,1	484	141	71	51	16	68
	0,5	0,2	437	139	68	57	21	63
	0,5	0,3	429	149	65	59	24	59
	0,6	0,1	456	144	68	64	22	66
	0,6	0,2	460	155	66	60	24	60
	0,6	0,3	438	161	63	54	24	56
	0,6	0,4	453	175	61	53	26	51
ГЦ-75-I	0,3	0,1	389	191	51	47	25	47
	0,4	0,1	422	189	55	41	18	56
	0,4	0,2	376	187	50	56	27	52
	0,5	0,1	385	139	64	59	21	64
	0,5	0,2	357	138	61	62	24	61
	0,5	0,3	338	148	56	55	24	56
	0,6	0,1	361	133	63	50	20	60
	0,6	0,2	381	148	61	49	20	59
	0,6	0,3	344	141	59	53	24	55
	0,6	0,4	353	155	56	64	30	53
ГЦ-80-I	0,3	0,1	319	147	54	28	15	46
	0,4	0,1	358	146	59	36	16	55
	0,4	0,2	389	183	53	31	16	48
	0,5	0,1	406	145	66	37	14	62
	0,5	0,2	392	152	63	34	14	59
	0,5	0,3	413	169	59	42	20	53
	0,6	0,1	385	119	69	39	17	56
	0,6	0,2	377	124	67	25	12	52
	0,6	0,3	350	122	65	53	27	49
	0,6	0,4	374	141	62	40	22	45
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ГЦ-100-I	0,3	0,1	425	216	49	62	36	42
	0,4	0,1	382	183	57	58	28	52
	0,4	0,2	370	186	47	51	28	45
	0,5	0,1	327	137	58	55	30	55
	0,5	0,2	353	159	55	48	26	46
	0,5	0,3	378	181	52	54	31	43
	0,6	0,1	394	134	66	68	29	57
	0,6	0,2	410	147	64	43	20	53
	0,6	0,3	445	169	62	47	24	49
	0,6	0,4	376	145	61	58	32	45

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

- а) эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ составил 47–71%, а от нефтепродуктов – 42–68%;
- б) увеличение диаметра гидроциклона ведет к снижению эффекта очистки;
- в) рост давления на входе в гидроциклон ведет к увеличению эффективности очистки сточных вод, а увеличение противодавления на сливах гидроциклона приводит к ее снижению.

Таким образом, можно считать, что напорные гидроциклоны конструкции КГАСУ эффективно работают при очистке сточных вод от мойки легковых автомобилей. Для установки очистки (рис.1) в качестве рабочего может быть рекомендован гидроциклон марки ГЦ-80-I, обладающий высокой эффективностью.

Список литературы / References

1. Завьялов С.Н. Мойка автомобилей: Технология и оборудование/С.Н. Завьялов. –М.: Транспорт, 1994. –176 с.

2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика/ Под. ред. В.Н. Самохина.— М.: Стройиздат, 1981.—639 с.
3. Адельшин А.Б. Энергия потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод: монография: часть 1 «Гидроциклоны»/А.Б. Адельшин.—Казань: КГАСА, 1996.—203 с.
4. Адельшин А.А. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков: монография /А.А. Адельшин, А.Б. Адельшин, Н.С. Урмитова.—Казань: КГАСУ, 2011.—245 с.
5. Адельшин А.Б. Исследование гидродинамических насадок с крупнозернистой загрузкой для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод: монография/ А.Б. Адельшин, Н.С. Урмитова.—Казань: КГАСА, 1997. —249 с.
6. Исследование процессов очистки поверхностных стоков / А.Б. Адельшин [и др.] // Вода: химия и экология.—2014.—№8.—С.113–118.
7. Глубокая очистка сточных вод от мойки легковых автомобилей с применением адсорбционных фильтров / А.В. Бусарев [и др.] //Евразийское научное объединение.—2015.—№10.—С.48–49.
8. Найденко В.В. Применение математических методов и ЭВМ для оптимизации и управления процессами разделения суспензий в гидроциклонах/В.В. Найденко.—Горький: Волго-Вятское книжное издательство, 1976. — 287 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zavijalov S.N. Mojka avtomobilej :Tehnologija i oborudovanie [Car wash: Technology and equipment]/ S.N. Zavijalov. — М.: Transport, 1994.—176 P. [in Russian]
2. Kanalizacija naselennyh mest i promyshlennyh predpriyatij: spravochnik proektirovshhika [Sanitation of settlements and industrial enterprises: a Handbook of the designer] / Pod. red. V.N. Samohina.— М.: Strojizdat, 1981.—639 P. [in Russian]
3. Adelshin A.B. Jenergiya potoka v processah intensifikacii ochistki neftesoderzhashhih stochnyh vod: monografija: chast 1 «Gidrociklony» [The energy flow in the processes of intensification of oil-containing wastewater treatment: monograph: part 1 "Hydrocyclones"]/ A.B. Adelshin. —Kazan: KGASA, 1996.—203 P. [in Russian]
4. Adelshin A.A. Gidrodinamicheskaja ochistka neftepromyslovyh stochnyh vod na osnove primenenija zakruchennyh potokov: monografija [Hydrodynamic cleaning of oil field wastewater on the basis of application of swirling flows: a monograph] /A.A. Adelshin, A.B. Adelshin, N.S. Urmitova.—Kazan: KGASU, 2011.—245 P. [in Russian]
5. Adelshin A.B. Issledovanie gidrodinamicheskikh nasadok s krupnozernistoj zagruzkoj dlja intensifikacii ochistki neftesoderzhashhih stochnyh vod: monografija [Hydrodynamic nozzles with a coarse download for intensification of oil-containing wastewater treatment: monograph] / A.B. Adelshin, N.S. Urmitova.—Kazan: KGASA, 1997. — 249 P. [in Russian]
6. Issledovanie processov ochistki poverhnostnyh stokov [Study of the processes of clearance of surface sewage] / A.B. Adelshin [i dr.] // Voda: himija i jekologija [Water: chemistry and ecology].—2014.—№8.—P.113–118. [in Russian]
7. Glubokaja ochistka stochnyh vod ot mojki legkovyh avtomobilej s primeneniem adsorbcionnyh filtrov [Deep purification of sewage from washing cars with the use of adsorption filters] / A.V. Busarev [i dr.] //Евразийское научное объединение [Eurasian scientific unity]. —2015.—№10.—P.48–49. [in Russian]
8. Najdenko V.V. Primenenie matematicheskikh metodov i JeVM dlja optimizacii i upravlenija processov razdelenija suspenzij v gidrociklonah [Application of mathematical methods and computers for optimization and control of separation processes of suspensions in hydrocyclones] / V.V. Najdenko. — Gor'kij: Volgo-Vjatskoe knizhnoe izdatel'stva, 1976.— 287 P. [in Russian]



ПРИМЕР DOI:
10.18454/IRJ.2015.0001

Начиная с ноябрьского выпуска 2015 года /10 (41) Ноябрь 2015/, каждой статье, опубликованной в Международном научно-исследовательском журнале, **редакция издания будет присваивать идентификатор цифрового объекта DOI:**

- DOI облегчает процедуры цитирования, поиска и локализации научной публикации;
- DOI повышает авторитет журнала, а также свидетельствует о технологическом качестве издания;
- DOI является неотъемлемым атрибутом системы научной коммуникации за счет эффективного обеспечения процессов обмена научной информацией.

(Digital Object Identifier) — идентификатор цифрового объекта, стандарт обозначения представленной в сети информации.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.116>Василова Е.В.¹, Власов А.И.², Евдокимов Г. М.³¹Бакалавр,²ORCID: 0000-0001-5581-4982, Кандидат технических наук, Доцент,³магистр,

Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана

НЕВЕРБАЛЬНЫЕ КОММУНИКАЦИИ ЖИВОТНОГО МИРА: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЖЕСТОВЫХ ЯЗЫКОВ**Аннотация**

Представленная работа является первой работой из цикла, посвященного системному анализу подходов к реализации универсального мобильного коммуникатора для обработки визуальных невербальных языков животного мира. Рассмотрены особенности автоматизированной обработки жестового языка животного мира на примере Игуана Зелёная (Iguana Iguana). Выбор объекта исследований обусловлен тем, что Игуана Зелёная имеет достаточно сложное для рептилий поведение, хорошую топографическую память, способность к различению людей, направления взгляда и т.д. Предлагаемый интеллектуальный мобильный коммуникатор обеспечивает возможность автоматизированного определения состояния объекта, предсказания стратегии его поведения и намерений, формирование рекомендаций о необходимых мерах ответного поведения. В первой статье цикла подробно проанализированы поведенческие формы Игуаны Зелёной (Iguana Iguana). Дана постановка задачи для создания интерактивного мобильного приложения со встроенной экспертной системой, реализующее распознавание визуального поведенческого языка Игуаны Зелёной (Iguana Iguana) и формирование рекомендаций по поведенческим стратегиям для коммуникации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, язык жестов, Игуана Зеленая, Iguana, мобильные приложения.

Vasilova E.V.¹, Vlasov A.I.², Yevdokimov G.M.³¹Bachelor,²ORCID: 0000-0001-5581-4982, PhD in Engineering, Associate Professor,³Master's Degree Student,

Bauman Moscow State Technical University,

NON-VERBAL COMMUNICATION IN THE ANIMAL WORLD: MAPPING THE ELEMENTS OF SIGN LANGUAGES**Abstract**

The second series of works on non-verbal communication in the animal world is dedicated to the concept of a mobile communicator implementation aimed at the processing of sign languages in the animal world. Features of the automated processing of sign language of Iguana Iguana are considered in detail. The behavioral forms of Iguana Iguana have been analyzed as well. The main features of skeletonization and image recognition of sign language elements are studied. The concept of interactive mobile application with a built-in expert system is presented. It contains visual behavioral language recognition of Iguana Iguana and the formation of recommendations for communication on behavioral strategies.

Keywords: artificial intelligence, sign language, Iguana Iguana, mobile applications.

Введение

Развитие современных технологий неразрывно связано с увеличением и ускорением объемов обрабатываемой информации. Несмотря на развитие современных технологий электронной обработки данных межличностные коммуникации (осуществляемые между субъектами в ситуациях «лицом к лицу» и в группах с помощью слов и несловесных средств общения) остаются эффективными и востребованными [1, С.18]. Одной из основных проблем межличностных коммуникаций является правильная интерпретация обратной связи, что позволяет оценивать эффективность коммуникации (передано, получено ли сообщение, правильно ли понято и принято получателем и т.п.) [2, С.21]. Данной статьей мы начинаем цикл работ, посвященных исследованию способов невербальных коммуникаций животного мира и средств их автоматизированной, комплексной интерпретации. В первой статье основное внимание будет уделено системному подходу к формализации элементов жестовых языков и постановке задачи их автоматизированной обработки.

На эффективность межличностных коммуникаций влияют различные факторы (социальная среда, личные предпочтения и т.п.). По форме выделяют вербальные коммуникации – коммуникации, осуществляемые с помощью устной речи как системы кодирования (передача информации) и невербальные – сообщения, передаваемые без применения устной речи (например, с помощью жестов, мимики, поз, взгляда и т.п. – передача отношения). Основная проблема невербальных коммуникаций – их слабая стандартизованность и формализованность, что влечет за собой сложность их интерпретации [3, С.10].

Преимуществами вербальных коммуникаций являются быстрота и возможность комплексного воздействия с применением невербальных способов. По данным А. Мейрабиана лишь 7 % сообщений определено их вербальным содержанием, 93 % имеет невербальную природу, из которых 38% определено модуляцией голоса, а 55 % – выражением лица.

Одним из базовых компонентов невербальных форм коммуникации являются жестовые языки – это сложные лингвистические системы, обладающие собственной лексикой и грамматикой, которые используют для общения через жестовые конструкции [4, С.101]. В отличие от вербальных языков, внимание к жестовым языкам возросло только в последнее время. Начиная с середины XX века жестовые языки стали исследовать с позиции систем коммуникаций [5, С.15].

Сложность анализа жестовых языков обусловлена проблемой их формализации и интерпретации [6, С.57].

Например, известный постулат "один рисунок заменяет 1000 слов, а одна схема заменяет 1000 рисунков", определяет, что упорядоченный (со своей интерпретационной легендой) визуальный образ на много информативнее простой кодопередачи информации [7, С.134], [8, С.20]. Анализируя картины окружающего мира, приходится ограничиваться восприятием конкретного индивидуума, схемы же имеют свои условные графические изображения (УГО), однозначно интерпретируемые по принятым в конкретном сообществе правилам. Аналогично и в жестовом языке, его элементы строго классифицированы и определены в рамках фонетического словаря. Компоненты жеста (фонемы) для жестового языка человека делятся на пять типов: форма руки, ориентация ладони, движение, место артикуляции и немануальный компонент (выражение лица) [9, С. 8], [2, С.106]. Внимание к исследованиям жестовых языков постоянно возрастает, можно констатировать, что американский и британский жестовые языки изучены уже достаточно глубоко [10, С.139]. В последнее время появилось значительно число работ и по исследованиям русского жестового языка [11, С.10], в них показано, что грамматика русского жестового языка разительно отличается от грамматики классического русского языка (отсутствие падежей и предлогов, наличие системы выражения пространственных отношений и т.п.). Отдельным, бурно развивающимся направлением исследований в последнее время стало исследование жестового языка животных [12, С.261], [13, С.1266], [14, С.100], [15, С.389]. Для субъектов животного мира без возможности (или с ограниченными возможностями) вербального общения жестовые (поведенческие) языки приобретают важнейшее значение при формировании основ социализации. Такие жестовые языки многообразны по форме и содержанию, но пока еще очень слабо изучены и сложно поддаются интерпретации не носителями языка. Несмотря на широкий спектр исследований в данном направлении следует отметить существование проблемы анализа поведенческих форм особенно экзотических животных. Популярность таких животных в качестве домашних питомцев постоянно возрастает, чему способствуют значительно возросшая доступность экзотических видов ввиду роста числа заводчиков и объемов поставок животных в Российскую Федерацию, так и гипоаллергенность многих животных без шерсти. Ввиду малого опыта содержания многих видов в домашних животных владельцами и малого количества профильной литературы существует проблема анализа поведенческих форм таких экзотических животных. Одним из популярных к содержанию в домашних условиях виду относится Игуана Зелёная (Iguana Iguana) [16]. Рассмотрим подходы к построению интеллектуальной, мобильной системы интерпретации жестового языка животных на ее примере. Игуана Зелёная (Iguana Iguana) – крупная (длинной до 2м, массой до 5-7кг) травоядная ящерица [17, С.12]. Она имеет достаточно сложное для рептилий поведение (основы социализации), хорошую топографическую память, способность к различению людей, направления взгляда и т.д. Не анализируя поведение можно допустить ошибки в содержании данного вида животных [18, С.23].

Целью работы является разработка интеллектуальной системы в виде мобильного приложения для распознавания поведенческого языка Игуаны Зелёной. Создаваемая система должна обеспечивать возможность пользователю определять состояние объекта, предсказывать его намерения и формировать рекомендации по необходимым действиям со стороны пользователя приложения для обеспечения коммуникации с объектом [19, С.925], [20, С.470]. Актуальность настоящей работы заключается в решении задачи анализа поведенческих форм Игуаны Зелёной, необходимого для благополучного и правильного содержания данного вида. Результатом работы является мобильное приложение Iguafon, обеспечивающее элементы интерпретации поведенческого языка Игуаны Зелёной.

1. Анализ методов невербальных коммуникаций

1.1. Классификация и общие характеристики мимико-жестовых языков

Мимико-жестовая речь – речь, совокупность неязыковых средств общения, связанных с движением рук, тела и мускулов лица. Принято подразделять мимико-жестовую речь на два подтипа: условно мимико-жестовая речь и безусловная мимико-жестовая речь.

К условному подтипу жестовой речи относят стандартизированные, кодифицированные жесты, значения которых, а также правила применения и интерпретации (включая синтаксис, семантику и лексику, но не ограничиваясь ими) оговорены между субъектами взаимодействий заранее, до непосредственного начала передачи информации с помощью установленного словаря. Такие жесты непонятны "непосвящённым" (не обладающим словарём и знаниями о правилах применения и значениях) участникам обмена информацией. Условная мимико-жестовая речь может быть интернациональной, национальной, узкоспециальной (например, условные жесты военных или жестовый язык монашеских орденов) и т.п.

Неусловный (иначе говоря, *неусловленный* заранее) подтип мимико-жестовой речи, напротив, формализуется стихийно и на момент начала процесса передачи информации, не имеет ни строгих правил применения (лексических, синтаксических, морфологических, семантических и др.), ни установленного словаря значений жестов. Конечно, учитывая единство человечества как биологического вида, в целом стихийное формирование правил и значений жестов в каждом конкретном случае передачи информации приводит к одним и тем же результатам. Например, практически в любой культуре указывающий жест указательным пальцем, при котором субъектам передачи информации сообщается, что нужно обратить внимание на объект на линии указания, интерпретируется вполне однозначно (лексическое значение), однако в некоторых культурах показывать пальцем считается невежливым в определённых случаях (семантика/синтаксис).

Жесты, относящиеся к безусловному подтипу мимико-жестовых языков, можно разделить на 4 группы:

- указывающие;
- показывающие (передающие), а также проявления эмоций;
- подчёркивающие;
- ритмические.

Классификация безусловных жестов в виде ментальной карты (майтмеп) представлена на рис. 1.



Рис. 1 – Классификация неусловных жестов

Множество жестов, однако, совсем не универсальны и едины лишь для определённого языкового коллектива. Например, европейский жест высовывания языка, лексическим значением которого на территории постсоветского пространства, Западной Европы, Североамериканских Соединённых Штатов, а также некоторых других регионов, является поддразнивание, у народов Китая имеет значение угрозы, в различных социальных группах народов Индии – гнева и злости, у исторического народа майя – высокую оценку слов говорящего) [2, С.20], [5, С.100]. Мимико-жестовая речь во многих случаях может комбинироваться с обычной речью. Она связана также с темброво-голосовыми характеристиками.

В человеческом обществе получили широкое распространение коммуникативные жестовые языки слабослышащих. Они возникли и развиваются как самостоятельные языки и пригодны для передачи любой сколь угодно сложной информации, подобно звуковым языкам. Такие жестовые языки базируются на мимико-жестовой речи человека. Для взаимодействия между различными индивидами требуется единый стандарт (“интерфейс”) взаимодействия, в мировой практике мимико-жестовая речь де-факто описывается по системе HOLME (*Handshape, Orientation, Location, Movement, Facial Expression*), в соответствии с которой каждый жест как единица языка (слово) является комбинацией следующих составляющих [4, С.102]:

- handshape (форма руки);
- orientation (ориентация ладони);
- location (местоположение руки, артикуляция);
- movement (движение);
- facial Expression (мимика, иногда: неручные маркеры).

Система HOLME однозначно разделяет сложные жесты человеческих жестовых языков на элементарные составляющие, что делает её пригодной для создания на её основы системы описания жестовых языков животных. Мимико-жестовая речь присутствует практически у всех видов животных, имеющих зрение и коммуникацию между особями хотя бы для продолжения рода.

1.2. Классификация визуальных методов передачи информации животного мира

Несмотря на многообразие животного мира, большинство его представителей не способны к генерации широкого спектра акустических коммуникационных сигналов. Очень часто звуковой сигнал животного имеет не более одного–двух различных вариаций. Например, полевой сверчок (*Gryllus Campestris*) и другие представители семейства "Настоящие сверчки" (*Gryllidae*), используют акустические сигналы, называемыми в общей лексике стрекотанием, для привлечения половых партнеров в сезон размножения в сумеречное и ночное время. Развитые органы для генерации звуков – эволюционно сложный результат длительного развития вида под действием внешних факторов и, как следствие, чрезвычайно редкий. С другой стороны, зрением обладает большая часть животных, имеющих социальные контакты, что наряду с распространенной высокой подвижностью создает почву для появления визуальных методов передачи информации от особи к особи.

Визуальные методы основаны на кодировании передаваемой информации посредством изменения внешнего вида передающей особи. Существует несколько основных параметров состояния тела живого объекта [2, С.25], [5, С.125], статическое состояние или динамическое изменение которых применяется для кодирования информации, предназначенной для другого объекта (или их группы):

- окрас или ориентация кожи/шерсти/перьев/чешуи;
- поза;
- динамика движения;
- состояние головы.

Описанную классификацию можно представить в виде ментальной карты на рис. 2.

Изменение окраса может происходить разными способами и в разном диапазоне. В самом простом случае изменение цвета может происходить из-за разного кровотока через подкожные капилляры. Примером такого изменения является покраснение или побледнение кожных покровов человека в зависимости от эмоционального фона и физических параметров окружающей среды. Часто встречается комбинация вышеперечисленных методов, что усложняет задачу анализа, так как отдельные методы не являются аддитивными: например, “сумма” позы и динамики движения не обязательно означают сумму тех значений, которые вкладываются в динамику движения и позу по отдельности.

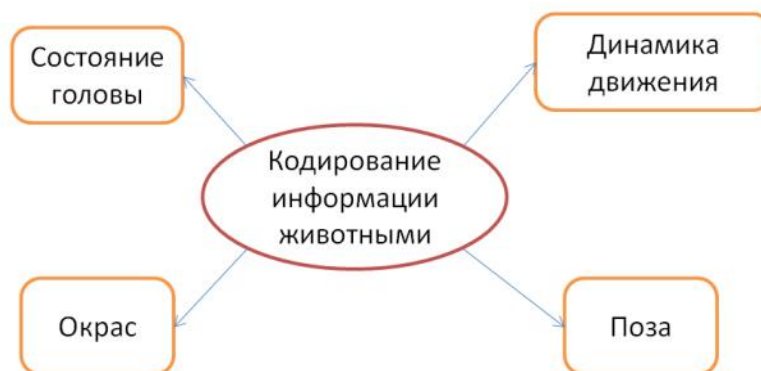


Рис. 2 – Классификация визуальных средств передачи информации животными

Сложные и циклические комбинации поз и динамики для некоторых биологических видов могут интерпретироваться, как танец, что в общем случае тоже является способом коммуникации.

1.3. Особенности формализации визуальных методов передачи информации животного мира

Основной трудностью формализации визуальных методов передачи информации животного мира является видовое многообразие. Каждый вид имеет множество поведенческих особенностей, в ряде случаев поведенческие особенности могут варьироваться в зависимости от места обитания вида в ареале. Получение универсального метода для решения поставленной задачи – трудоемкий процесс, положительный результат от которого не гарантирован. Гораздо более простой задачей является разработка множества специализированных методик, пригодных для одного или группы видов, разработанных по единому маршруту.

Общий маршрут можно обозначить в следующем виде:

- анализ множества эмоциональных состояний заданного вида и их формализация;
- анализ лексического набора (понятий) заданного вида и его формализация;
- анализ элементов жестового языка и его формализация;
- сведение полученных данных в единую методику.

Для быстрой реализации обозначенного маршрута необходимо привлечение к работам эксперта в области поведения изучаемого вида.

1.4 Постановка задачи распознавания физического и эмоционального состояния Игуаны Зелёной

Игуана Зелёная (*Iguana Iguana*) [17, С.10] имеет сложную, по меркам других ящериц, социальную организацию. У особей Игуаны Зелёной отсутствует стадный инстинкт, однако ввиду разделения общих ресурсов (корм, водопой, территория, самки) имеет необходимость в элементарных социальных контактах. Особи Игуаны Зелёной практически лишены способности к генерации звуков, исключением является только шипение, вызванное особенностью дыхательной системы, проявляющейся при демонстрации открытой пасти, что является частью предупреждения других особей своего или другого биологического вида о готовности к ответной атаке [18, С.20]. Во всех случаях, когда особь Игуаны Зелёной сигнализирует о своем состоянии или о своих намерениях, ей используется язык жестов, распознаваемых другими особями на уровне рефлексов или особыми другими видами интуитивно (например, ответная агрессия или требование покинуть территорию).

При домашнем содержании владельцу особи Игуаны Зелёной важно распознать не только агрессию, но и множество других оттенков эмоционального состояния особи [21, С.21]. Для самостоятельного распознавания эмоционального состояния и потребностей объекта необходим опыт (рис.3а). Однако, в процессе получения данного опыта и накопления экспертных знаний возможно совершение значительного количества ошибок трактовки поведения особи Игуаны Зелёной со значительными негативными последствиями, включая травмы. Предлагаемая система распознавания элементов жестового языка для владельцев особей Игуаны Зелёной является актуальным. Применение интерактивного интеллектуального инструмента помогает неопытному владельцу определять эмоциональное состояние и потребности животного по внешнему виду и поведению.



Рис. 3 – Межличностные коммуникации "Кто в доме хозяин" (а),
общий вид приложения Iguafon (б)

Экспертная система распознавания жестового языка Игуаны Зелёной Iguafon`а является эффективным средством коммуникации и обладает следующими свойствами (рис. 3б):

- интуитивно понятный интерфейс;
- минимум интерфейсных переходов;
- независимость от подключения к сети Интернет;
- возможность быстро портировать систему на различные платформы.

Интуитивно понятный интерфейс необходим для сведения к минимуму времени на обучение пользователя. Минимизация интерфейсных переходов максимально увеличивает скорость взаимодействия с пользователем. Значительное количество платформ, включая мобильные, диктует необходимость в возможности быстрого перенесения разработанной системы на другие платформы.

В рамках данной работы основное внимание уделено особенностям экспертной оценки намерений особи Игуаны Зелёной. К основным функциональным возможностям системы можно отнести:

- возможность использования пользователем без знаний особенностей поведения Игуаны Зелёной;
- возможность трактовки поведения особи Игуаны Зелёной по результатам экспертного анализа;
- возможность замены интерфейсной машины ввода на систему технического зрения, в том числе на базе фотокамер смартфонов и планшетов;

На основе проведенной классификации методов жестовых языков и основных средств мимико-жестовой речи можно сделать вывод о том, что возможно анализировать жестовые языки животных методами мимико-жестовых языков человека. На основе проведенной классификации безусловных жестов выявлено высокое сходство жестовых языков животных с множеством безусловных жестов человека. Общее понимание визуальных элементов жестового языка исследуемого объекта необходимо для грамотного разбиения общего жестового языка на атомарные составляющие.

2. Анализ поведенческих и коммуникативных аспектов Игуаны Зелёной

Игуана зелёная (*Iguana iguana*) – крупное позвоночное животное, в основном растительоядная ящерица семейства игуановых, ведущая дневной древесный образ жизни, представитель отряда чешуйчатых (рисунок 4) [22], [23, С. 100].



Рис. 4 – Место Игуаны Зелёной в биологической систематике

Длина тела от носа до кончика хвоста у взрослых особей обычно не превышает 1,5 м, хотя в истории известны отдельные особи длиной более 2 м и весом до 8 кг. Благодаря яркой расцветке, спокойному нраву и уживчивости, обыкновенных игуан часто разводят и содержат в помещениях как домашних животных [17, С.200]. Историческая эволюция вида Игуаны Зелёной привела к изоляционистскому, самостоятельному характеру жизнедеятельности конкретной особи. Игуана Зелёная, например, не строят колонии, не заботятся о детёнышах и яйцах после их откладывания, не занимаются совместным выживанием, охотой, предупреждением друг друга о хищниках, а также другими видами сложной социальной деятельности, характерной для более высокоорганизованных животных. Такая пониженная социальная активность и повышенный самостоятельный образ жизни в целом обычны для представителей ящериц и других чешуйчатых холоднокровных. По сравнению с другими чешуйчатыми, Игуана Зелёная проявляют более сложные формы социальной активности при всей их примитивности [17, С.30], что, вероятно, и обуславливает их популярность в качестве домашних животных.

Игуана Зелёная ведет дневной древесный образ жизни. Мощные длинные пальцы, эволюционно приспособленные для зацепления за ветки, лианы и прочные листья представителей данного вида позволяют им легко перемещаться по деревьям в любом направлении и надолго замирать на них в неподвижности, переваривая полученную с питательных листьев тропической растительности пищу.

Первую половину солнечного дня особи Игуаны Зелёной проводят за принятием солнечных ванн с целью нагрева тела и выработки витамина D3. Витамин D3 в теле особи Игуана Зелёная отвечает за прочность скелета, что является критическим фактором выживания в дикой среде. После нагрева тела и повышения активности Игуана Зелёная отправляется на поиски пищи, как правило, начиная с того же дерева, на котором уже находится. Насытившись растительной пищей, особи Игуаны Зелёной продолжают прием солнечных ванн до окончания светового дня. Коррективы в данный распорядок дня могут вносить хищники, угрожающие представителем вида Игуана Зелёная, естественные изменения поведения самцов и самок в брачный период, связанные с эволюционно необходимой тягой к

размножению, и непогода, вынуждающая представителей вида спускаться с деревьев. В домашних условиях цикл в целом не меняется – обеспечение обязанностей по управлению “световым днём” переходит на хозяина особи, включающего и выключающего источник ультрафиолетового излучения, что при отсутствии синхронизации с внешним световым днём может привести к расхождению с астрономическими часами. Практически для одомашненной Игуаны Зелёной расхождение светового дня с астрономическими часами значения не имеет.

3. Концепция интеллектуального, мобильного приложения Iguafon

В природе Игуана Зелёная занимает место важного источника пищи для многих хищных птиц, что обуславливает, во-первых, широкий набор возможностей самообороны у каждой особи вида, а во-вторых, готовность направлять и применять агрессию по какому-либо источнику опасности, будь то представитель вида *Buteo magnirostris* - дорожный канюк – или неудачливый хозяин одомашненной особи [17, С.300].

В качестве основного оборонительного приёма Игуана Зелёная использует бегство, однако при его невозможности особями вида применяются:

- удары хвостом, построенные на принципе, схожим с кнутом, причиняющие тупые травмы;
- удары когтями на пальцах; значительная сила лап игуаны, на которых они расположены, могут причинить противнику глубокие травматические рваные раны
- укусы, характеризующиеся значительными рассечениями кожных покровов оппонента и большой продолжительностью и силой (“мёртвая хватка”), способные, кроме нанесения противнику опасных ранений, травмировать и зубы самой Игуаны Зелёной.

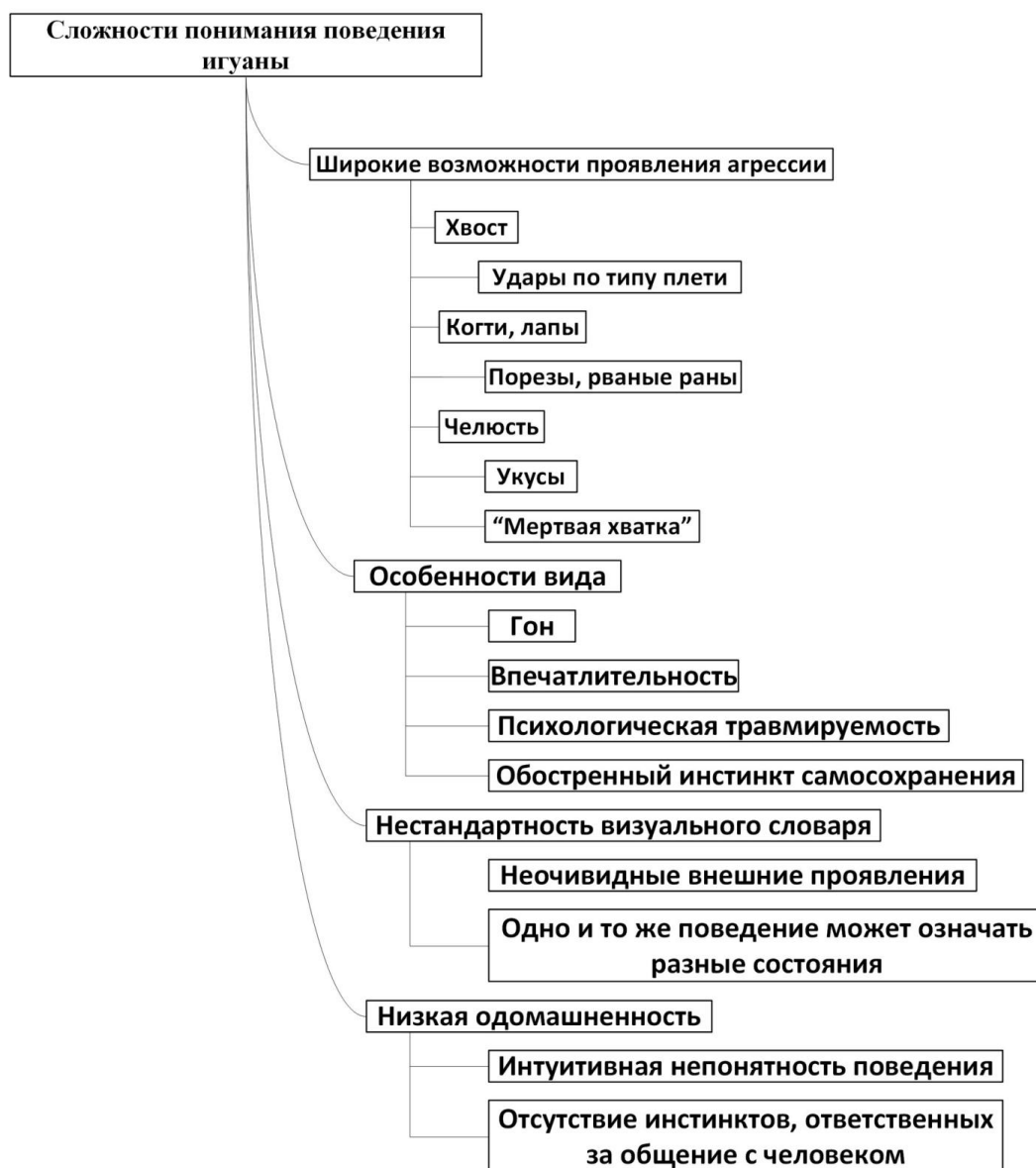


Рис. 5 – Иерархическая проблемная диаграмма (поведенческая интерпретация Игуаны Зелёной)

Кроме того, в период размножения, зависящий от внутренних “биологических часов” представителя вида, и самцы, и самки Игуаны Зелёной становятся более агрессивными, в том числе в домашних условиях, даже в случае отсутствия представителей противоположного пола. Системный анализ сочетания вышеперечисленных поведенческих факторов Игуаны Зелёной представлен на рис. 5.

Данная иерархическая проблемная диаграмма позволяет идентифицировать опасное для хозяев сочетание интуитивно непонятных человеку паттернов поведения (т. е. внешних признаков эмоционального состояния Игуаны Зелёной), возможностей нанесения значительных (требующих профессионального медицинского вмешательства) травм хозяину, возможность самотравмирования особи при избыточно отчаянной самообороне, и, наконец, невозможности социализации особи в человеческой среде, что равносильно потере положительных эмоций для хозяина Игуаны Зелёной. Последний исход полностью лишает смысла ее содержание в качестве домашнего животного.

Данное состояние так же важно распознать, так как в поведении животного, по наблюдению авторов работы, происходят сильные изменения, а именно:

- повышенная активность, повышенная агрессия, самцы ищут самок для спаривания, агрессивно отбиваясь от других самцов в эволюционной конкуренции на размножение (в домашних условиях в том числе от мнимых угроз, например, отражений в зеркалах);
- изменение аппетита;
- самцы предпринимают попытки рыть норы при купании;
- самки ищут норы в тёмных углах вольера, террариума или квартиры.

Брачный период у разных особей при содержании в неволе может со временем разойтись с естественным годичным циклом, следовательно, брачный период необходимо определять по поведенческим признакам.

Следует также отметить, что для неподготовленного человека большинство имеющих социальный смысл сигналов животных всяких видов неочевидны [18, С.10], даже для давно одомашненных и хорошо известных видов, например, собак. Игуана Зелёная, с одной стороны, как представитель биологически далёкого от человека вида по сравнению с более “традиционными” домашними питомцами, и, с другой, животные с неразвитой социальной стороной, особенно сложны в плане интерпретации их текущего психического состояния, а также, что ещё более важно, предсказания дальнейших действий особи по анализу её текущих поведенческих паттернов. Интуитивное человеческое понимание состояния Игуаны Зелёной, в отличие от упомянутого случая с домашними собаками, практически невозможно.

Чтобы избежать подобных негативных результатов от взаимодействия человека и Игуаны Зелёной, требуется предоставить хозяину животного возможность однозначно оценивать эмоциональное состояние питомца, неочевидным и неинтуитивным образом отражающееся в его поведении. Знание о текущем эмоциональном состоянии позволит хозяину:

- избегать опасных ситуаций с возможностью получения травмы им самим или питомцем;
- вовремя обнаруживать нестандартные состояния животного, например, брачное поведение (“гон”);
- выбирать и модифицировать стратегию “общения” с животным таким образом, чтобы обеспечить плодотворностью социализации игуаны зелёной в обществе человека.

В целом “психология” и коммуникативные возможности Игуаны Зелёной подробно исследованы в [17, С.10, 20 С.15], ориентированных в первую очередь на заводчиков животных. Для использования в бытовых условиях данные инструкции сложны, они имеют линейный, не структурированный формат изложения информации: последовательно описываются состояния Игуаны Зелёной и внешние признаки, которые могут проявлять эти состояния. Отсутствует представление знаний в структурированной форме, при которой владелец Игуаны Зелёной может получить информацию о ее состоянии и рекомендаций по необходимым действиям, сформированным на основе анализа внешних проявлений, а не наоборот. Практически не используются визуальные средства представления информации, что, для хозяина, значительно осложняет поиск по представленным в них знаниям, снижает оперативность доступа к информации, и, из-за неточности текстового представления знаний, может приводить к ошибкам.

Подобных недостатков лишено специализированное программное обеспечение - мобильный коммуникатор Iguafon с визуальным представлением информации, предоставляющий пользователю-хозяину Игуаны Зелёной структурированные знания о ее состоянии по её поведенческим характеристикам немедленно по запросам пользователя (статическая база типовых жестов, анализ видеоряда в реальном масштабе времени). Это позволяет пользователю оперативно отслеживать поведение Игуаны Зелёной, предотвращать опасные ситуации ещё до их возникновения, наилучшим образом социализировать особь, при этом не тратя время на обработку информации, представленной в “традиционных” текстовых пособиях.

Разработка подобного программного обеспечения значительно повышает качество владения Игуаной Зелёной для не имеющего опыта заводчика, способствует улучшению качества жизни самого питомца, позволяет исключить ошибки в воспитании и взаимодействии с Игуаной Зелёной со стороны владельца (так как знания уже представлены в визуальном, структурированном виде, а система обучена квалифицированным экспертом по поведению Игуан Зелёных) и обеспечить получение положительных эмоций и хозяином, и питомцем.

Заключение

В рамках данной работы основное внимание уделено методике формализации элементов жестового языка животных на примере Игуаны Зелёной. Проведен анализ поведенческих и коммуникативных аспектов Игуаны Зелёной, заложенных в реализацию интеллектуальной подсистемы мобильного приложения Iguafon. В следующей работе будут подробно рассмотрены особенности формализации жестовых языков для формирования базы знаний коммуникатора Iguafon'a, направления развития его интерактивных компонентов, позволяющим пользователю анализировать жестовый язык анимационного образа Игуаны Зелёной в различных жизненных ситуациях, изучать и взаимодействовать с ним.

Список литературы / References

1. Гавра Д. П. Основы теории коммуникации. 1-е изд. – СПб.: Питер, 2011. – 288 с.
2. Ниренберг Д., Калеро Г. Как читать человека, словно книгу. – Баку: Сада, 1992. – 37 с.

3. Лабунская В. А. Невербальное поведение. – Ростов н/д., Издательство Ростовского университета, 1986. – 136 с.
4. Девятков В.В., Алфимцев А.Н. Интеллектуальные мультимодальные интерфейсы. . – Калуга, ООО «Полиграф-Информ», 2011. – 325 с.
5. Пиз Алан Язык телодвижений. – М.: Изд-во Эксмо, 2006. – 272 с. (Серия «Психологический бестселлер»).
6. Девятков В.В., Алфимцев А.Н. Распознавание манипулятивных жестов // Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Серия «Приборостроение». 2007. №3. – С. 56-60.
7. Журавлева Л.В., Власов А.И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). – С. 133-140.
8. Власов А.И., Ганев Ю.М., Карпунин А.А. Системный анализ "Бережливого производства" инструментами визуального моделирования // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 4 (160). – С. 19-24.
9. Девятков В.В., Алфимцев А.Н. Система распознавания жестов человека / Труды конференции «Информатика и системы управления в XXI веке» – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – С. 8.
10. Кирилленко Г.Л. Проблема исследования жестов в зарубежной психологии // Психологический журнал. 1986. №4. – С.138-146.
11. Русский жестовый язык: Первая лингвистическая конференция. Сборник статей / Под ред. О.В. Фёдоровой. – М., 2012. – 144 с.
12. Ж.И. Резникова Язык животных: подходы, результаты, перспективы // «Языки науки – языки искусства», Сборник трудов VII Международной конференции «Нелинейный мир». – Москва, Изд-во Института компьютерных исследований. 2004. – С. 260-278.
13. Mansourian L. et al. Evaluating Classification Strategies in Bag of SIFT Feature Method for Animal Recognition //Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2015. Т. 10. №. 11. С. 1266-1272.
14. Valentin G. et al. Creating collar-sensed motion gestures for dog-human communication in service applications //Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers. ACM, 2016. С. 100-107.
15. Pons P., Jaen J., Catala A. Towards Future Interactive Intelligent Systems for Animals: Study and Recognition of Embodied Interactions //Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces. ACM, 2017. С. 389-400.
16. Зелёная игуана // Международный клуб террариумистов «Моя рептилия». Эл. ресурс. URL: <http://myreptile.ru/>. Проверено 23.05.2016.
17. Allison C. Alberts, Ronald L. Carter, William K. Hayes, Emilia P. Martins. Iguanas: Biology and Conservation. – University of California Press, 2004. – 372 p.
18. Konrad Lorenz. Das sogenannte Böse. Zur Naturgeschichte der Aggression. – DTV Verlagsgesellschaft. 1998.
19. Alcacidinho J. et al. Mobile Collaboration for Human and Canine Police Explosive Detection Teams //Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing. ACM, 2017. С. 925-933.
20. Kumar S., Singh S. K. Biometric recognition for pet animal //Journal of Software Engineering and Applications. 2014. Т. 7. №. 5. С. 470.
21. Witzany G. Biocommunication of Animals. – Springer Science, Dordrecht. 2014. – PP. 21-39 (chapter 3).
22. Taming and Training. The Green Iguana Society. Электронный ресурс [greenigsociety.org](http://www.greenigsociety.org). Режим доступа <http://www.greenigsociety.org/taming.htm>. Проверено 23.05.2016.
23. Терентьев П. В. Герпетология. – М.: Высш. шк. 1961. – 336 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gavra D. P. Osnovy teorii komunikacii [Bases of the theory of communication] / Gavra D. P. – SPb.: St. Petersburg [SPb.: St. Petersburg], 2011. – 288 pages. [in Russian]
2. Nirenberg D., Kalero G. Kak chitat' cheloveka, slovo knigu [How to read the person as if the book] – Baku: Sada [Baku: Sada], 1992. – 37 P. [in Russian]
3. Labunskaja V. A. Neverbal'noe povedenie. [Nonverbal behavior] – Rostov n/d., Izdatel'stvo Rostovskogo universiteta [Publishing house of the Rostov university], 1986. – 136 P. [in Russian]
4. Devjatkov V.V., Alfimcev A.N. Intellektual'nye mul'timodal'nye interfejsy. [Intelligent multimodal interfaces] – Kaluga, ООО «Poligraf-Inform» [LLC Poligraf-Inform], 2011. – 325 P. [in Russian]
5. Piz Alan Jazyk telodvizhenij [Language of gestures]. – М.: Izd-vo Jeksmo [Eksmo's publishing house], 2006. – 272 P. (Serija «Psihologicheskij bestseller»).
6. Devjatkov V.V., Alfimcev A.N. Raspoznavanie manipuljativnyh zhestov [Recognition of manipulative gestures] // Vestnik MGTU im.N.E.Baumana. Serija «Priborostroenie» [Bulletin of MSTU of N. E. Bauman. Instrument making series]. 2007. №3. – P. 56-60. [in Russian]
7. Zhuravleva L.V., Vlasov A.I. Vizualizacija tvorcheskikh strategij s ispol'zovaniem mental'nyh kart [Visualization of creative strategy with use of mental maps] // Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii [Caspian log: control and high technologies]. 2013. № 1 (21). – P. 133-140. [in Russian]
8. Vlasov A.I., Ganey Ju.M., Karpunin A.A. Sistemnyj analiz "Berezhlivogo proizvodstva" instrumentami vizual'nogo modelirovanija [Systems analysis of "Economical production" instruments of visual simulation] // Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve [Information technologies in design and production]. 2015. № 4 (160). – P. 19-24. [in Russian]
9. Devjatkov V.V., Alfimcev A.N. Sistema raspoznavanija zhestov cheloveka [System of recognition of gestures persons] / Trudy konferencii «Informatika i sistemy upravlenija v XXI veke» [Works of the "Informatics and Management Systems in the 21st Century" conference] – М.: MGTU im. N.E. Bauman [MSTU of N. E. Bauman], 2006. – P. 8. [in Russian]
10. Kirillenko G.L. Problema issledovanija zhestov v zarubezhnoj psihologii [A problem of a research of gestures in foreign psychology] // Psihologicheskij zhurnal [Psychological log]. 1986. №4. – P.138-146. [in Russian]

11. Russkij zhestovyy jazyk: Pervaja lingvisticheskaja konferencija [Russian sign language: First linguistic conference]. Sbornik statej [The collection of articles] / Pod red. O.V. Fjodorovoj. – M., 2012. – 144 P. [in Russian]
12. Zh.I. Reznikova Jazyk zhivotnyh: podhody, rezul'taty, perspektivy [Language of animals: approaches, results, perspectives/"Science languages – art languages"] // «Jazyki nauki – jazyki iskusstva», Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoj konferencii «Nelinejnyj mir» [the Collection of works VII of the International conference "Non-linear World"]. – Moskva, Izd-vo Instituta komp'juternyh issledovanij [Publishing house of Institute of computer researches]. 2004. – P. 260-278. [in Russian]
13. Mansourian L. et al. Evaluating Classification Strategies in Bag of SIFT Feature Method for Animal Recognition // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2015. T. 10. №.11. P. 1266-1272.
14. Valentin G. et al. Creating collar-sensed motion gestures for dog-human communication in service applications // Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers. ACM, 2016. P. 100-107.
15. Pons P., Jaen J., Catala A. Towards Future Interactive Intelligent Systems for Animals: Study and Recognition of Embodied Interactions // Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces. ACM, 2017. P. 389-400.
16. Zeljonaja iguana [Green iguana] // Mezhdunarodnyj klub terrariumistov «Moja reptilija» [International club of terrariumist "My reptile"]. Jel. resurs. URL: <http://myreptile.ru/>. It is checked 23.05.2016. [in Russian]
17. Allison C. Alberts, Ronald L. Carter, William K. Hayes, Emilia P. Martins. Iguanas: Biology and Conservation. – University of California Press, 2004. – 372 P.
18. Konrad Lorenz. Das sogenannte Böse. Zur Naturgeschichte der Aggression. – DTV Verlagsgesellschaft. 1998. 200 P.
19. Alcadinho J. et al. Mobile Collaboration for Human and Canine Police Explosive Detection Teams // Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing. ACM, 2017. P.925-933.
20. Kumar S., Singh S. K. Biometric recognition for pet animal // Journal of Software Engineering and Applications. 2014. T. 7. №. 5. P. 470.
21. Witzany G. Biocommunication of Animals. – Springer Science, Dordrecht. 2014. – P. 21-39 (chapter 3).
22. Taming and Training. The Green Iguana Society. Electronic [greenigsociety.org](http://www.greenigsociety.org/taming.htm) resource. Mode of access <http://www.greenigsociety.org/taming.htm>. It is checked 23.05.2016.
23. Terentyev P. V. Gerpetologija [Herpetology] – M.: Vyssh. shk. [Higher school] 1961. – 336 pages. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.073>

Вдовенко Н.В.

Магистрант, Академия строительства и архитектуры,
Донской государственный технический университет**К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БОЛТОВ
ВО ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ****Аннотация**

Рассмотрен принцип расчета предельного изгибающего момента возникающего в высокопрочных болтах фланцевых соединений стальных рамных конструкций. Выявлены опечатки в существующей нормативной документации. Выполнена оценка значимости указанных опечаток и их влияние на величину предельного изгибающего момента. Установлено, что погрешность в результатах вычислений по исправленным формулам и выражениям, приведенным в нормативных документах, может достигать 24,24 %. Приведены исправленные формулы расчета предельного.

Ключевые слова: изгибающий момент, фланцевое соединений, усилие в болтах, разрушающие усилия, болты наружной зоны, болты растянутой части стенки.

Vdovenko N.V.

Undergraduate student, Don State Technical University

**ON THE PROBLEM OF LIMITING CAPACITY OF BOLTS DETERMINATION IN FLANGE CONNECTIONS
OF BENDING STRUCTURES****Abstract**

The article considers the principle of calculation of the limiting moment of tilt of the flanged joints of steel in frame structures occurring in forced bolts. Misprints in the existing regulatory documentation are identified. The significance of these misprints and their influence on the magnitude of the limiting moment of tilt are estimated. It is established that the misprint in the results of calculations based on the corrected formulas and expressions given in the normative documents can reach 24.24%. Corrected formulas for calculating the limits are given.

Keywords: moment of tilt, flange connections, bolt force, destructive forces, external zone bolts, bolts of the stretched wall section.

Фланцевые соединения элементов рамных конструкций достаточно часто встречаются в современной практике строительства, так как имеют определенные преимущества перед сварными соединениями. Подходы к их проектированию в различных странах отличаются друг от друга, поэтому необходимо рассматривать достоинства и недостатки этих подходов и разрабатывать некоторую интегральную методику расчета фланцевых соединений. В рамках настоящей статьи остановимся на отечественной практике конструирования таких узлов.

В настоящее время расчет таких соединений ведется либо по рекомендациям, либо по серии, таким как: «Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных конструкций» [1]; серия 2.440-2 «Узлы стальных конструкций производственных зданий промышленных

предприятий» выпуск 7 «Болтовые фланцевые рамные соединения балок с колоннами стальных каркасов зданий и сооружений» [2].

Так, например, в серии 2.440-2 [2] приведены формулы для расчета предельного момента, который может быть воспринят фланцем. Он может быть определен как минимальный изгибающий момент, который необходимо приложить к соединению, чтобы в каком-либо его конструктивном элементе наступило предельное состояние. Во фланцевом соединении ригелей с колоннами в работе участвуют болты, фланец, полка и стенка колонны.

Соответственно за предельное состояние для этих конструктивных элементов принимаем:

- достижение разрушающих (или расчетных) усилий в стержнях наиболее нагруженных болтов при действии момента $M_1(M_{1p})$;
- образование пластического механизма во фланце при действии на соединение момента M_2 ;
- образование пластического механизма в полке колонны при действии на соединение момента M_3 ;
- достижение напряжений текучести на всем участке стенки колонны, воспринимающем растягивающую нагрузку при наличии ребер жесткости в колонне или без них при действии на соединение момента M_4 ;
- достижение напряжений текучести на всем участке стенки колонны, воспринимающем сжимающую нагрузку при наличии ребра жесткости или без него, либо потеря устойчивости стенки колонны, воспринимающей сжимающее усилие, если стенка не ужесточена ребрами жесткости, при действии на соединение изгибающего момента M_5 ;
- достижение напряжений текучести на участке стенки колонны, работающем на сдвиг, при действии момента M_6 .

Таким образом, величина предельного момента, воспринимаемого соединением, может быть получена по формуле:

$$M_{\text{и}} = \min(M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6). \quad (1)$$

Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что болты во фланцевом соединении нагружены весьма неравномерно и это учтено при разработке расчетов фланцевых соединений на прочность по болтам. Изгибающий момент, действующий на соединение, должен быть таков, чтобы в этих болтах развивались разрушающие (M_1) или расчетные (M_{1p}), усилия (в зависимости от цели расчета). Нейтральная ось фланцевого соединения при изгибе может, с достаточно большой степенью точности, принята совпадающей с нейтральной осью примыкающего сечения ригеля. В болтах остальных рядов действующие усилия уменьшаются пропорционально отношению расстояния от данного ряда до нейтральной оси двутавра к расстоянию первого ряда болтов до этой же оси. Для фланцевого соединения без ребер жесткости предельные усилия развиваются в болтах первого и второго ряда. В болтах остальных рядов расчетные усилия уменьшаются пропорционально отношению расстояния данного ряда до нейтральной оси к расстоянию второго ряда болтов до этой же оси.

Выражения для определения момента, который может быть воспринят болтами фланцевого соединения, имеют следующий вид:

Для фланцевых соединений с ребрами жесткости:

$$M_1 = (2B_p + N_{nj}n_{n1})(h_1 + h_2) + (2B_p + N_{nj}n_{n2}) \cdot (h_1 + h_{01}) \frac{h_2}{h_1} + 2N_{nj}n/h_1 \cdot (h_3 + h_4 + \dots h_n)/(h_n + h_{01}) \quad (2)$$

Для фланцевых соединений без ребер жесткости:

$$M_1 = N_{nj}n_{n1}(h_1 + h_{01}) + (2B_p + N_{nj}n_{n1})(h_1 + h_{01}) + \frac{2N_{nj}n}{h_2} \cdot (h_3 + h_4 + \dots h_n). \quad (3)$$

Для фланцевых соединений с внутренним расположением болтов:

$$M_1 = (2B_p + N_{nj}n_{n1})(h_2 + h_{01}) + 2N_{nj}n/h_2 \cdot (h_3 + h_4 + \dots h_n) \quad (4)$$

Для болтов наружной зоны:

$$N_{nj} = \lambda_j B_p, \quad (5)$$

где M_1 – предельный изгибающий момент; N_{nj} – усилия, воспринимаемые болтами; n_{n1}, n_{n2} – число болтов наружной зоны; n – число болтов растянутой части стенки; B_p – разрушающие или расчетные усилия в болтах; λ_j – параметр жесткости болта; h – высота двутавра; b_1 – расстояние от оси болта до полки двутавра; t_b – толщина полки двутавра.

Рассматриваемая серия имеет один существенный недостаток – наличие в ней большого количества опечаток.

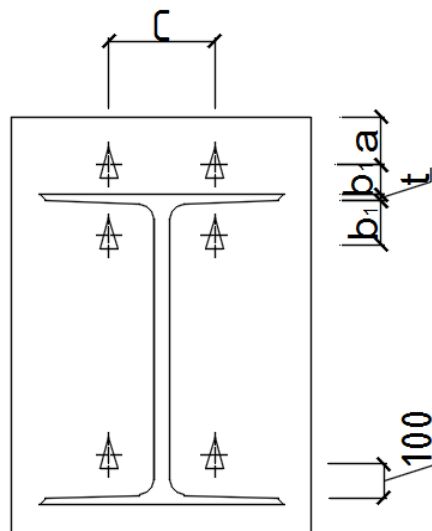


Рис. 1 – Расчетная схема фланцевого соединения 2-го вида

Рассмотрим для примера фланцевое соединение на высокопрочных болтах без ребер жесткости (Рис. 1). Формула в [2] для расчета его предельного момента M_1 , выглядит следующим образом:

$$M_1 = 2B_p(h + b_1 - t_b) + 2B_p(h - 2b_1 + 2t_b) \quad (6)$$

Для проверки правильности выражения (6) выполним подстановку B_p вместо N_{nj} (формула (5)), а также h_{01} , h_1 , h_2 , h_n , h_{n1} в (3), и получим формулу следующего вида:

$$M_1 = 2\lambda B_p(h + b_1 - t) + 2B_p(h - b_1 - 2t) \quad (7)$$

При сравнении численных результатов формул (6) и (7), принимая $b_1 = 0,045$, $h = 0,593$ мм, $t = 0,0155$ мм, $B_p = 266$ кН, $\lambda = 0,577$ (Рис.2), получим следующие значения с разницей вычислений 24,24%:

- по (6) $M_1 = 615,26$ кНм;
- по (7) $M_1 = 466,13$ кНм.

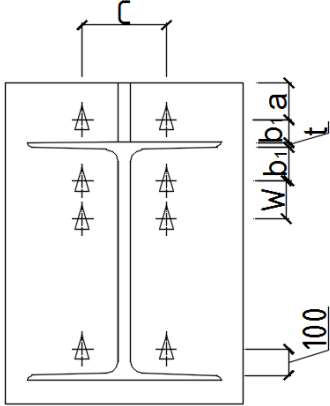
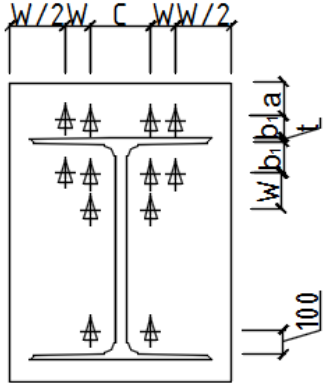
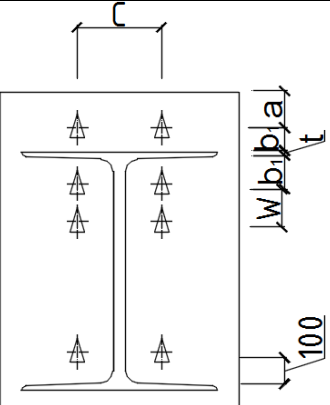
Определено, что из всех типов фланцевых соединений, рассматриваемых в серии, опечатки имеются в схемах: 2, 3, 4, 6, 7, 9. В таблице 1 приведены формулы серии и откорректированные выражения для перечисленных соединений.

Таблица 1 – Типы фланцев и определение предельного изгибающего момента по наиболее нагруженным болтам

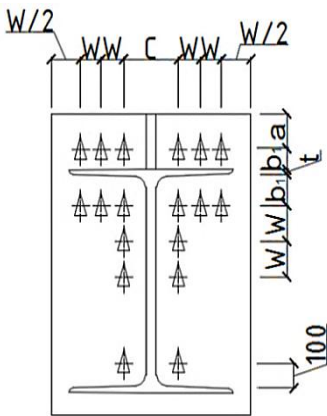
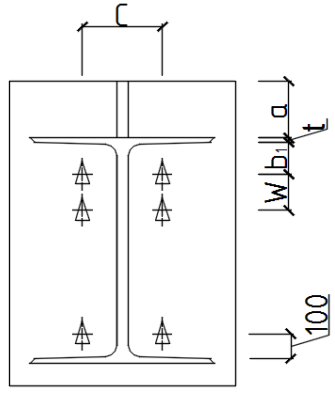
Тип фланца	Схема	Формула для вычисления изгибающего момента
2.		а) $M_1 = 2B_p(h + b_1 - t_b) + 2B_p(h - 2b_1 + 2t_b)$
		б) $M_1 = 2\lambda B_p(h + b_1 - t) + 2B_p(h - b_1 - 2t)$

Продолжение табл. 3 на стр. 26

Продолжение табл. 2 – Типы фланцев и определение предельного изгибающего момента по наиболее нагруженным болтам

Тип фланца	Схема	Формула для вычисления изгибающего момента
3.		$a) M_1 = 2B_p(h + b_1) + 2B_p(h - b_1 - t) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t)}{\frac{h}{2} + b_1} + 2\lambda B_1(h - b_1 - t - W) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t)}{\frac{h}{2} + b_1}$
		$б) M_1 = 2B_p(h + b_1) + 2B_p(h - b_1 - t) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t)}{\frac{h}{2} + b_1} + 2\lambda B_p(h - b_1 - t - W) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t - W)}{\frac{h}{2} + b_1}$
4.		$a) M_1 = 2\lambda B_p(h_\delta + b_1 - t) + 2B_p(h_\delta - 2b_1 - 2t_\delta) + 2\lambda B_p \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t_\delta - W)}{\frac{h}{2} - b_1 - t_\delta} \cdot (h_\delta - 2b_1 - 2t_\delta - W)$
		$б) M_1 = 2\lambda B_p(h + b_1 - t) + 2B_p(h - b_1 - 2t) + 2\lambda B_p \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t - W)}{\frac{h}{2} - b_1 - t} \cdot (h - 2b_1 - 2t - W)$
6.		$a) M_1 = 4\lambda B_p(h_\delta - b_1 - t_\delta) + 2B_p(1 + \lambda)(h_\delta - 2b_1 - 2t_\delta) + 2B_p \frac{(\frac{h_\delta}{2} - b_1 - t_\delta - W)}{\frac{h}{2} - b_1 - t_\delta} \cdot (h_\delta - 2b_1 - 2t_\delta - W)$
		$б) M_1 = 4\lambda B_p(h + b_1 - t) + 2B_p(1 + \lambda)(h - b_1 - 2t) + 2\lambda B_p \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t - W)}{\frac{h}{2} - b_1 - t} \cdot (h - 2b_1 - 2t - W)$

Окончание табл. 3 – Типы фланцев и определение предельного изгибающего момента по наиболее нагруженным болтам

Тип фланца	Схема	Формула для вычисления изгибающего момента
7.		$a) M_1 = (2B_p + 4\lambda B_p)(h + b_1) + (2B_p + 4\lambda B_p)(h - b_1 - t) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t)}{\frac{h}{2} + b_1} + 2\lambda B_p(h - b_1 - t - W) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t - W)}{\frac{h}{2} + b_1} + 2\lambda B_p(h - b_1 - t - 2W \cdot h - b_1 - t - Wh + b_1)$ $б) M_1 = (2B_p + 4\lambda B_p)(h + b_1) + (2B_p + 4\lambda B_p)(h - b_1 - t) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t)}{\frac{h}{2} + b_1} + 2\lambda B_p(h - b_1 - t - W) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t - W)}{\frac{h}{2} + b_1} + 2\lambda B_p(h - b_1 - t - 2W \cdot h - b_1 - t - 2Wh + b_1)$
9.		$a) M_1 = 2B(h - b_1 - 2t) + 2\lambda B(h - b_1 - t - W) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t - W)}{\frac{h}{2}}$ $б) M_1 = 2B_p(h - b_1 - 2t) + 2\lambda B_p(h - b_1 - 2t - W) \cdot \frac{(\frac{h}{2} - b_1 - t - W)}{(\frac{h}{2} - b_1 - t)}$

Примечание: а) первоначальная формула серии; б) откорректированная формула серии.

Согласно таблице 1 были сделаны расчеты, показывающие разность вычислений по формулам [2] и по полученным выражениям. Числовые результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнения численных результатам по формулам [2] и по откорректированным выражениям

Тип соединения	Предельный момент, кНм		%
	По [2]	По откорректированным формулам	
2	615,26	466,13	24,24
3	639,74	633,30	1,01
4	528,99	552,93	4,33
6	873,34	902,71	3,26
7	1280,37	1255,68	1,93
9	354,53	371,53	4,58

Проведенный анализ [2] показал необходимость тщательной проверки остальных расчетных формул типовой серии, а также приведенных в ней справочных таблиц с числовыми результатами.

Кроме того в серии рассматривается только изгиб, который в рамных конструкциях встречается крайне редко, поэтому следует также рассматривать сжато-изогнутые элементы.

Список литературы / References

1. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций. - М.: Госстрой СССР, 1989. - 54 с.
2. Серия 2.440-2. Узлы стальных конструкций производственных зданий промышленных предприятий. Выпуск 7. Болтовые фланцевые рамные соединения балок с колоннами стальных каркасов зданий и сооружений. - Введ. 1994.02.01. - М.: НИИПромсталконструкция, 1994. - 83с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rekomendacii po raschetu, proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu flancevyh soedinenij stal'nyh stroitel'nyh konstrukcij [Guidelines for calculation, design, manufacture and assembly of flanged joints of steel building structures]. - М.: Gosstroj SSSR, 1989. - 54p. [in Russian]
2. Seriju 2.440-2. Uzly stal'nyh konstruktij proizvodstvennyh zdaniy promyshlennyh predpriyatij. Vypusk 7. Boltovye flantsevye soedineniya balok s kolonnami stal'nyh karkasov zdaniy i sooruzhenij [Series 2.440-2. Knots of steel structures of production buildings of the industrial enterprises. Issue 7. Bolt flange frame connections of beams with columns of steel frameworks of buildings and constructions]. - V Ved. 1994.02.01. - М.: NIIPromstal'konstruktsiya, 1994.-83p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.085>**Воробьев А.А.¹, Спицын И.Н.², Кравченко Н.В.³**¹Кандидат технических наук, доцент,²старший преподаватель,³кандидат технических наук, старший преподаватель,

Сибирский государственный аэрокосмический университет

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ НОВИЗНЫ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ**Аннотация**

В работе описана методика и представлена прикладная программа для исследования технического уровня проектируемого технологического оборудования. Особенности программы «KANP_DOO» является то, что для оперативной оценки технико-экономических показателей проектируемого оборудования используются весовые коэффициенты, а необходимое количество аналогов оборудования, используемых для анализа, задается экспертом - пользователем программы.

Ключевые слова: рабочая машина, оборудование, конкурентоспособность, технический уровень, риск, проектирование, качество, аналог, прототип.

Vorobjev A.A.¹, Spitsyn I.N.², Kravchenko N.V.³¹PhD in Engineering, associate Professor,²senior lecturer,³PhD in Engineering, senior lecturer,

Siberian State Aerospace University

CLUSTER ANALYSIS OF NOBILITY OF A DESIGN SOLUTION**Abstract**

The paper describes the methodology and presents the application for estimation of the technical level of the technological equipment developed. The main feature of KANP_DOO application is that for the quick assessment of technical and economic indicators of the equipment designed we use weight coefficients, and the required number of analogs of the equipment used for analysis is set by the expert user of the application.

Keywords: working machine, equipment, competitiveness, technical level, risk, design, quality, analog, prototype.

В процессе проектирования технологических машин, а также в ходе НИОКР инженеры сталкиваются с проблемой формирования и оценки новизны, качества и совершенства конструкции создаваемой рабочей машины в сравнении с прототипами и аналогами. Существующие методики рекомендуют реализовывать проблему решением подмножества задач [1], [2]. Чаще всего в методиках рассматриваются задачи функционально-стоимостного анализа, или описываются методы оптимизации конструкции рабочей машины, например, по критериям масс и (или) производительности.

Качественное описание конструктивных и технологических факторов, как движущих сил конкурентоспособности проекта, внешних и внутренних причинных связей, способствующих осуществлению технологической машиной рабочего процесса, в упомянутых методиках слабо отражает количественные соотношения в следственных связях, дающих однозначную приоритетную парадигму конкурирующего сопоставления. Используемые при анализе термины «сходство» и «различие» большей частью недостаточно полно обосновывают принимаемое решение, основанное на оценке численной характеристики сравнения.

Количественная оценка новизны, мер сходства и различия сравниваемых технологических машин выполняется преимущественно по методикам ГКНТ и отраслевых министерств [2].

В типажах металлорежущих и деревообрабатывающих станков, издаваемых в середине и конце 20 века, число новых конструкций практически удваивалось через десятилетие, но для сохранения индустрии станкостроения страны такие темпы обновления оказались недостаточными. Поэтому периодический системный анализ конструкций проектируемых и эксплуатируемых рабочих машин требует разработки и внедрения новых современных технологий и методик.

Суть описываемых в статье технологии оценки и методики аналитического расчета конкурентоспособности проектируемых рабочих машин заключается в том, что для отобранных на первом этапе технических показателей, описывающих конструктивные и технологические свойства конструкции, выполняется оценка их значимости – определяются весовые коэффициенты. Анализ значений весовых коэффициентов позволяет оперативно отразить преимущество и новизну проектируемого оборудования в сравнении с аналогами и прототипом.

Перед началом анализа определяется оценка индекса конкурентоспособности сравниваемых машин K_i по формуле

$$K_i = \sqrt[3]{[P(p_{mx}) \times P(p_{сис\tau}) \times P(p_{фн}) \times p_3]}, \quad (1)$$

где p_{mx} - технические параметры (вероятность безотказной работы, p ; ресурс точности, p_m ; ремонтосложность, $R_{общ}$ и др.);

$p_{сис\tau}$ - системные параметры (виброскорость, V_v ; радиальное биение, r_o ; шероховатость, Rm_{max} ; стоимость, $C_{об}$; производительность, Π и др.);

$p_{фн}$ - технологические параметры (частота вращения, n ; скорость резания, V_c ; скорость подачи, V_s и др.);

p_3 - площадь цеха, заполненного оборудованием.

По методике берутся единичные параметры K_i базового и проектируемого оборудования. Каждый единичный параметр K_i при расчете должен быть по величине больше, либо равен 1. Большее числовое значение параметра подставляется в числитель дроби.

Представим формулу (1) в развернутом виде, в которой верхние индексы, обозначают «н» - параметр проектируемого оборудования, «б» - параметр базового оборудования.

$$K_i = \sqrt[3]{\left[\frac{p^n}{p^b} \times \frac{p_m^n}{p_m^b} \times \frac{R_{общ}^n}{R_{общ}^b}\right] \times \left[\frac{V_v^n}{V_v^b} \times \frac{r_o^n}{r_o^b} \times \frac{Rm_{max}^n}{Rm_{max}^b} \times \frac{I_{об}^n}{I_{об}^b} \times \frac{I^n}{I^b}\right] \times \left[\frac{n^n}{n^b} \times \frac{V_c^n}{V_c^b} \times \frac{V_s^n}{V_s^b} \times \frac{p_3^n}{p_3^b}\right]}, \quad (2)$$

Далее по формулам (3) и (4) выполняется оценка рисков соответственно изготовителя и заказчика оборудования

$$r_{i1} = \frac{1}{K_i} + e^{\frac{1}{K_i}} + 0,01 \times (P_t + K_{nh}), \quad (3)$$

$$r_{i2} = \frac{1}{K_i} + e^{\frac{1}{K_i}} + 0,01 \times (P_t + K_{nh}), \quad (4)$$

где P_t - количество патентов в проекте;

K_{nh} - количество используемых в проекте «now how».

Далее сравниваем расчетные значения с нормативным $r_i = 0,2$.

Если полученные значения рисков меньше нормативного, то это означает, что риск постановки на производство проектируемого оборудования минимален.

Из всего множества анализируемых конструкций и соответствующих расчетных показателей индекса конкурентоспособности, характеризующих единичный объект анализа, лучшим считается тот, который имеет большее значение индекса K_i .

На основе результатов НИОКР в области металлорежущих станков [3] был создан программный продукт «KANP_DOO» позволяющий осуществлять компьютерный анализ новизны проектных решений технологического оборудования [4].

Особенностями программы «KANP_DOO» является то, что для оперативной оценки технико-экономических показателей проектируемого оборудования используются весовые коэффициенты, а необходимое количество аналогов оборудования, используемых для анализа, задается экспертом - пользователем программы.

Исходные данные для анализа, представляющие собой основные технико-экономические показатели разрабатываемой машины и их значения для выявленных моделей машин - аналогов заносят в столбцы с 1 по 10 формы 1 программы «KANP_DOO». Технически возможно задать любое количество дескрипторов и аналогов, но для достоверности анализа рекомендуется использовать не менее 10 показателей. В столбец «гносеологическая модель» вносятся значения технико-экономических показателей (дескрипторов) лучших мировых аналогов (рисунок 1).

KANP_DOO												
Файл Настройка Справка												
<div> <div>Создать</div> <div>Далее</div> <div>Настройка</div> <div>Руководство</div> <div>О программе</div> <div>Выход</div> </div>												
Таблица 1 - Базовая матрица конкурирующих показателей средств технологического ос												
Исходные данные Ввод весовых коэффициентов Результаты расчета												
№	Дескриптор (данные РЗ и П)	Разрабо- танный проект	Величина показателя									
			Аналоги, выявленные разработчиком					Аналоги, выявленные при контрольной проверке				
			Россия 400V	Россия ГФ2171	США C1 Fadal	США 3016 Haas	Тайвань VF-2	США MCV-1250	США Haas VF-3	Россия 2254BMФ	Россия 600V	Швейцария HSM-800
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ширина стола, мм	400	400	400	406	356	390	457	400	600	420	450
2	Масса заготовки, кг	480	300	400	1241	980	560	976	300	800	1000	900
3	Максимальная рабочая подача, м/мин	20	10	6	20,3	25,4	10	25,4	10	10	40	30
4	Точность позиционирования, мкм	5	5	10	5	5	10	5	12	20	5	3
5	Максимальная частота вращения МГД, т	12	8	2,5	8	7,5	8	7,5	2,5	8	36	40
6	Точность повторяемости операций, мкм	2,5	3	5	2,5	2,5	5	2,5	6	10	2,5	1
7	Мощность привода МГД, кВт	18,5	7,5	11	11	15	7,5	15	6,3	15	8,5	17
8	Радиальное биение шпинделя, отсч.ед	0,5	1	1,4	0,3	0,35	0,6	0,35	0,5	1	0,3	0,2
9	Стоимость, евро/кг	22	19	11	32	31	23	19	17	16	30	19
10	Масса станка, т	3,5	3,7	6,6	3,9	3,6	3,9	5,7	6,5	7,5	7,9	3,1

Рис. 1 – Форма 1 программы «KANP_DOO»

Далее выполняется сравнение технико-экономических показателей моделей оборудования с использованием весовых коэффициентов b_i и заполняется форма 2 программы «KANP_DOO».

Заполнение формы 2 производится построчно, путем попарных сравнений анализируемых показателей (рисунок 2). Если одному из показателей отдается предпочтение, то на соответствующем пересечении строки и столбца ему присваивается значение $b_i = 2$, а парному показателю программа автоматически выставляет значение $b_i = 0$. Если при оценке показателей эксперт определяет их как равнозначные, то соответственно программой выставляется этим показателям значение $b_i = 1$.

KANP_DOO

Файл Настройка Справка

Новый расчет Настройка Руководство О программе Выход

Таблица 2 - Матрица весовых коэффициентов проект

Исходные данные Ввод весовых коэффициентов Результаты расчета

№	Дескриптор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Всего	Весовой
1	Ширина стола, мм	X	2	2	1	1	1	1	2	0	1	11	0,2444
2	Масса заготовки, кг	0	X	1	2	1	0	1	0	2	2	9	0,2000
3	Максимальная рабочая подача, м/мин	0	1	X	2	1	0	0	1	2	2	9	0,2000
4	Точность позиционирования, мкм	1	0	0	X	0	0	1	2	2	1	7	0,1556
5	Максимальная частота вращения МГД, т	1	1	1	2	X	1	0	2	2	2	12	0,2667
6	Точность повторяемости операций, мкм	1	2	2	2	1	X	0	2	1	1	12	0,2667
7	Мощность привода МГД, кВт	1	1	2	1	2	2	X	1	2	2	14	0,3111
8	Радиальное биение шпинделя, отсч.ед	0	2	1	0	0	0	1	X	1	2	7	0,1556
9	Стоимость, евро/кг	2	0	0	0	0	1	0	1	X	0	4	0,0889
10	Масса станка, т	1	0	0	1	0	1	0	0	2	X	5	0,1111

Рис. 2 – Форма 2 программы «KANP_DOO»

Суммарный по строке весовой коэффициент ω_i дескриптора определяется по формуле

$$\omega_i = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{0,5 \cdot n(n-1)}, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n b_i$ – сумма по строкам весовых коэффициентов по оценке эксперта;

n – количество технико-экономических показателей.

Также программой рассчитываются следующие показатели:

коэффициент уровня u , который определяется по формуле

$$u = \frac{|r-g|}{g}, \quad (2)$$

где r - новая разработка;

g - гносеологическая модель.

Совокупный показатель уровня C_u , определяется по формуле

$$C_u = \sum_{i=1}^n u_i \cdot \omega_i, \quad (3)$$

Усредненный показатель уровня P , определяется по формуле

$$P = \frac{C_u}{n}. \quad (4)$$

Рекомендация разработчику проектируемого оборудования по каждому анализируемому показателю (дескриптору) определяется на основе соотношения значений показателя гносеологической модели к аналогичному значению проектируемой машины из формы 1 и сравнения полученного значения с единицей. При значении показателя меньше 1 необходимо его повышение, при значении большем 1 – снижение.

Результаты расчетов приведены в следующей форме 3 программы.

KANP_DOO

Файл

Настройка

Справка

Новый расчет

Настройка

Руководство

О программе

Выход

Таблица 3 - Сравнение показателя новизны и конкурентоспособности разработки

Исходные данные

Ввод весовых коэффициентов

Результаты расчета

№	Дескриптор (данные РЗ и П)	Весовой коэффи- циент	Направле- ние развития показа- теля	Разрабо- танный проект	Величина произведения коэффициента уровня и весового коэффициента (u/w)									
					Аналоги, выявленные разработчиком					Аналоги, выявленные при контрольной проверке				
					Россия 400V	Россия ГФ 2171 СБ	США Fadal 3016FX	США Haas VF-2	Тайвань MCV-1250	США Haas VF-3	Россия 2254BMФ4	Россия 600V	Швейцария HSM-800	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Ширина стола, мм	0.2444	снижение	0.0272	0.0272	0.0272	0.0239	0.0511	0.0336	0.0038	0.0272	0.0815	0.0163	
2	Масса заготовки, кг	0.2000	снижение	0.0933	0.1333	0.1111	0.0758	0.0178	0.0756	0.0169	0.1333	0.0222	0.0222	
3	Максимальная рабочая подача, мм/мин	0.2000	снижение	0.0667	0.1333	0.1600	0.0647	0.0307	0.1333	0.0307	0.1333	0.1333	0.0667	
4	Точность позиционирования, мкм	0.1556	увеличение	0.1037	0.1037	0.3630	0.1037	0.1037	0.3630	0.1037	0.4667	0.8815	0.1037	
5	Максимальная частота вращения МГД, т	0.2667	снижение	0.1867	0.2133	0.2500	0.2133	0.2167	0.2133	0.2167	0.2500	0.2133	0.0267	
6	Точность повторности операций, мкм	0.2667	увеличение	0.4000	0.5333	1.0667	0.4000	0.4000	1.0667	0.4000	1.3333	2.4000	0.4000	
7	Мощность привода МГД, кВт	0.3111	увеличение	0.0275	0.1739	0.1098	0.1098	0.0366	0.1739	0.0366	0.1958	0.0366	0.1556	
8	Радиальное биение шпинделя, отсчед	0.1596	увеличение	0.2333	0.6222	0.9333	0.0778	0.1167	0.3111	0.1167	0.2333	0.6222	0.0778	
9	Стоимость, евро/кг	0.0889	увеличение	0.0140	0.0000	0.0374	0.0608	0.0561	0.0187	0.0000	0.0094	0.0140	0.0515	
10	Масса станка, т	0.1111	увеличение	0.0143	0.0215	0.1254	0.0287	0.0179	0.0287	0.0932	0.1219	0.1577	0.1720	
Совокупный показатель уровня Si				1.1667	1.9618	3.1839	1.1585	1.0472	2.4168	1.0182	2.9042	4.5624	1.0924	
Усредненный показатель уровня P				0.1167	0.1962	0.3184	0.1158	0.1047	0.2417	0.1018	0.2904	0.4562	0.1092	

Минимальное значение усредненного показателя уровня P= 0.1018 для модели: Haas VF-3 производства - США

Рис. 3 – Форма 3 программы «KANP_DOO»

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработана прикладная программа «KANP_DOO» для компьютерного анализа новизны проектных решений, реализованных в рабочей машине, позволяющая ускорить разработку и постановку на производство конкурентоспособных конструкций.
2. Предлагаемая методика анализа конкурентоспособности технологического оборудования позволяет существенно сократить временные затраты в сравнении с существующими методиками.
3. Методика, реализованная в программе «KANP_DOO» позволяет прогнозировать класс точности, надежность и производительность проектируемого оборудования.
4. Значимость представленной методики моделирования и анализа технического уровня оборудования заключается в достоверности принятого решения. Использование методики снижает риск постановки на производство оборудования низкого технического уровня.
5. Прикладная программа «KANP_DOO» может быть использована при проведении НИОКР для различных объектов техники.

Список литературы / References

1. Кац, Г.Б. Техничко-экономический анализ и оптимизация конструкций машин [Текст] / Г.Б. Кац, А.П. Ковалев.- М.: Машиностроение, 1981. - 214 с.
2. Балясников, В.А. Исследование технического уровня разработок и промышленной продукции с помощью ЭВМ // Автоматика и телемеханика, №3, 1984.
3. Спицын, И.Н., Воробьев, А.А., Егоров, Ю.В., Филиппов, Ю.А. Аналитический расчет конкурентоспособности ленточнопильных станков [Текст] // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГИТА, 2009, Выпуск 24. – с. 151-155.
4. Воробьев, А.А., Спицын, И.Н., Филиппов, Ю.А. «KANP_DOO» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2013612382 Российская Федерация. ФГБОУ ВПО «СибГТУ». Заявка № 2013610101 от 09.01.2013; зарег. 26.02.2013.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kac, G.B. Tehniko-jekonomicheskij analiz i optimizacija konstrukcij mashin [Tekst] [Techno-economic analysis and optimization of machine designs] / G.B. Kac, A.P. Kovalev.-M.: Mashinostroenie, 1981. - 214 s. [in Russian]
2. Baljasnikov, V.A. Issledovanie tehničeskogo urovnja razrabotok i promyshlennoj produkcii s pomoshh'ju JeVM [The analysis of the technical level of development and industrial products with the help of computers] // Avtomatika i telemehanika [Automation and remote control], №3, 1984. [in Russian]
3. Spicyn, I.N., Vorob'ev, A.A., Egorov, Ju.V., Filippov, Ju.A. Analiticheskij raschet konkurentosposobnosti lentochнопильных станков [Tekst] [Analytical calculation of the competitiveness of band saw machines] // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. Sbornik nauchnyh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii [Actual problems of forestry complex. Collection of scientific papers in the International scientific-practical conference] – Brjansk: BGITA, 2009, Vypusk 24. – s. 151-155. [in Russian]
4. Vorob'ev, A.A., Spicyn, I.N., Filippov, Ju.A. «KANP_DOO» Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM. № 2013612382 Rossijskaja Federacija. FGBOU VPO «SibGTU». Zajavka № 2013610101 ot 09.01.2013; zareg. 26.02.2013. ["KANP_DOO" Certificate of state registration of computer programs. No. 2013612382 Russian Federation. FGBOU VPO "Siberian state technological University". Application No. 2013610101 from 09.01.2013; higher. 26.02.2013.] [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.071>Геворгян А.М.¹, Оганесян О.Э.², Ахвердян Т.А.³¹Аспирант, Национальный исследовательский университет,
«Московский институт электронной техники»,²Аспирант, Московский технологический университет МИРЭА,³Аспирант, Ереванский государственный университет**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПИСАНИЯ ЗАДЕРЖЕК СТАНДАРТНЫХ ЯЧЕЕК В ЦИФРОВЫХ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ****Аннотация**

В статье предлагается новый подход расчета временных верификаций для библиотек стандартных ячеек, который основан на средствах схемотехнического моделирования и учитывает межсхемные и внутрисхемные технологические отклонения необходимые для статистического статического временного анализа. При допустимом быстродействии и точности, метод обеспечивает совместимость с нелинейными моделями задержек. В отличие от статистического статического временного анализа не является итерационного типа и делается только один раз для данного технологического процесса.

Ключевые слова: временная верификация, технологические отклонения, нелинейные модели задержек.

Gevorgian A.M.¹, Oganessian O.E.², Akhverdian T. A.³¹Postgraduate student, National Research University of Electronic Technology,
“Moscow Institute of Electronic Technology”,²Postgraduate student, Moscow Technological University MIREA,³Postgraduate student, Yerevan State University**DEVELOPMENT OF THE DESCRIPTION METHOD OF DELAYS OF STANDARD CELLS IN DIGITAL
INTEGRATED SCHEMES****Abstract**

The article proposes a new approach for calculating temporal verification for standard cell libraries based on circuit simulation tools with regard to inter-circuit and in-circuit technological deviations necessary for statistical static time analysis. With acceptable speed and accuracy, the method ensures the compatibility with non-linear delay models. Unlike statistical static time analysis, it is not an iterative type and is performed only once for a given technological process.

Keywords: time verification, technological deviations, non-linear models of delays.

Параллельно с уменьшением размеров транзисторов в сверхбольших интегральных схемах уменьшается управляемость технологических процессов, что влечет за собой увеличение влияния технологических отклонений (ТО) на параметры интегральных схем (ИС) [1, С. 338]. Временной анализ при помощи имеющихся методов не дает полного представления о реальной работе и о реальных параметрах цифровых ИС. Выполнение временного анализа на граничных случаях [2, С. 91] уже не достаточно, поскольку в субмикронных технологиях отклонения физических параметров ИС больше не являются монотонными функциями [1, С. 340],[3, С. 330]. Поэтому нужно выполнять проверки для нескольких десятков случаев, что требует очень больших машинных и человеческих ресурсов. В то же время введение коэффициента отклонения для ТО [2, С. 91] и умножение на этот коэффициент задержки схемы в субмикронных технологиях приводит к пессимистичным оценкам [2, С. 91-93],[4],[5, С. 321] и усложняет соблюдение временных параметров с техническим заданием. Даже если удастся получить параметры, удовлетворяющие техническому заданию, то усложняется структура схемы, а количество элементов увеличивается, что становится причиной увеличения площади схемы, что также приводит к уменьшению рабочей частоты. В таких условиях есть крайняя необходимость в создании новых методов средство автоматического временного анализа, которые позволили бы учитывать особенности субмикронных технологий и предоставит разработчику необходимые данные о временных параметрах в цифровых ИС. Это даст возможность во время временного анализа в цифровых ИС получить результаты, более близкие к реальности по сравнению с известными методами и средствами.

Описания стандартных ячеек при использовании традиционного статического временного анализа (СВА) в основном реализуется при помощи нелинейных моделей задержек. Но если нелинейные модели задержек содержат временную информацию для ячейки (в зависимости от входного фронта и от выходной емкости), то для проведения статистической проверки нужны модели, которые будут содержать временную информацию, которая зависит не только от выходной емкости ячейки и от входного фронта, но и от некоторых технологических параметров, как показано на рис. 1. Важно отметить, что модель статистической задержки должна учитывать как внутрисхемные (ВС), так и межсхемные (МС) отклонения. Для статистического описания используется программа Liberty-NCX [6], при помощи которого можно получить как единый файл описания, так и отдельные файлы для каждого технологического параметра для ВС и МС отклонений.

Создание модели МС отклонений для параметров А и В позволит получить информацию о величине ряда важных временных параметрах, таких, как задержка, наклон выходного сигнала, время установки и удержания.

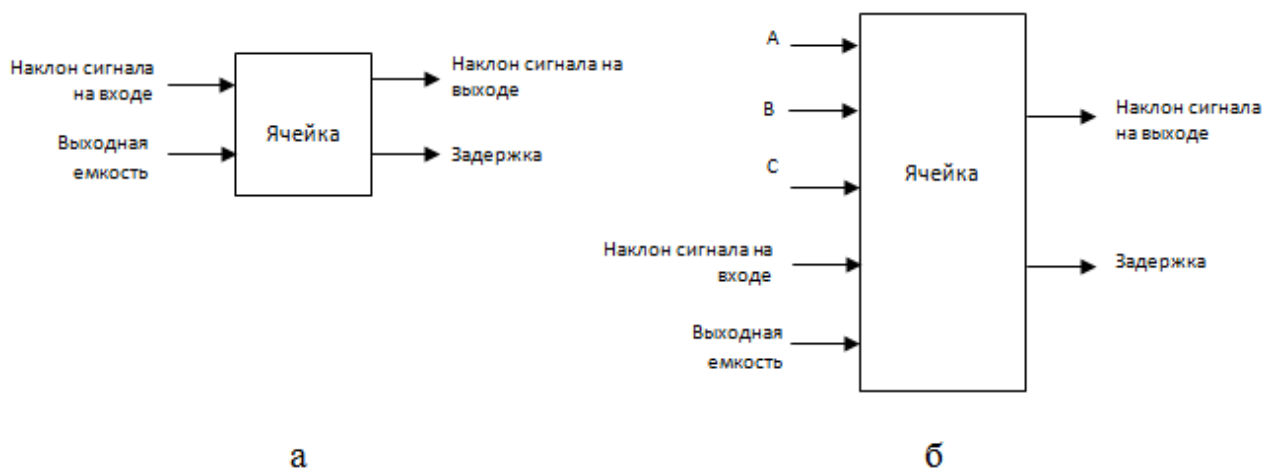


Рис. 1 - Общий вид описания ячейки при использовании CBA (а) и CCBA (б) методов

Ясно, что если для двух параметров выбрать их номинальные значения, которые будут изменяться в допустимом интервале для каждого из них, то получится определенная функциональная зависимость выходного временного параметра ячейки от изменений A или B параметров, как показано на рис. 2. Для создания модели сначала данная ячейка моделируется для номинальных значений A и B параметров. Номинальные значения для приведенных выше кривых зависимостей показаны на рис. 3. Для каждой точки на кривой, которое представляет из себя значение параметра, соответствует коллекция состоящей из всех параметров для данного значения. После моделирования для номинальных значений, задержка ячейки считается также еще в дополнительных двух точках, которые находятся в разных сторонах номинального значения.

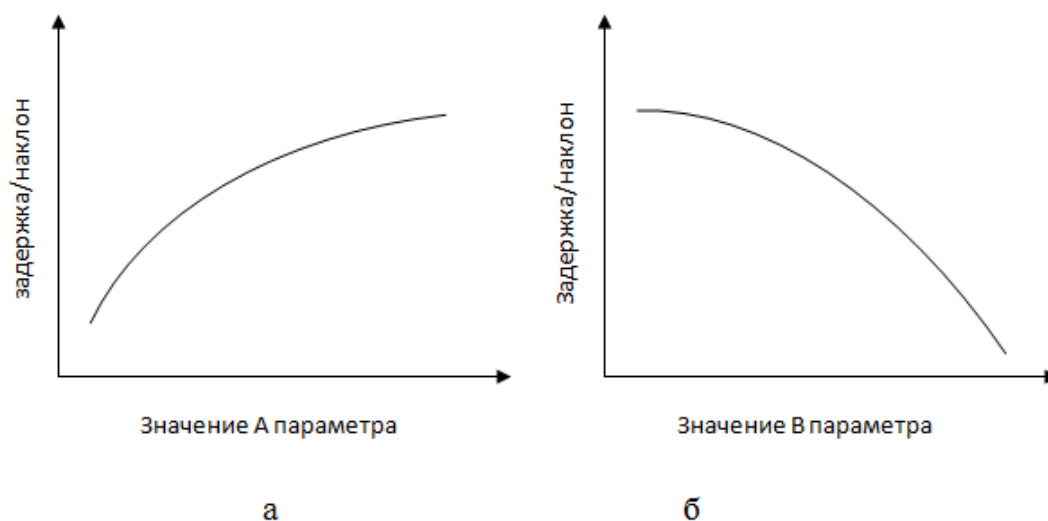


Рис. 2 - Зависимость выходной задержки ячейки от A(а) и B(б) параметров

Для нахождения задержек в этих точках, значения остальных параметров остаются равны их номинальным, меняется только значение для наблюдаемого параметра. Это позволит определить изменения значения задержки в зависимости от отклонения только данного параметра.

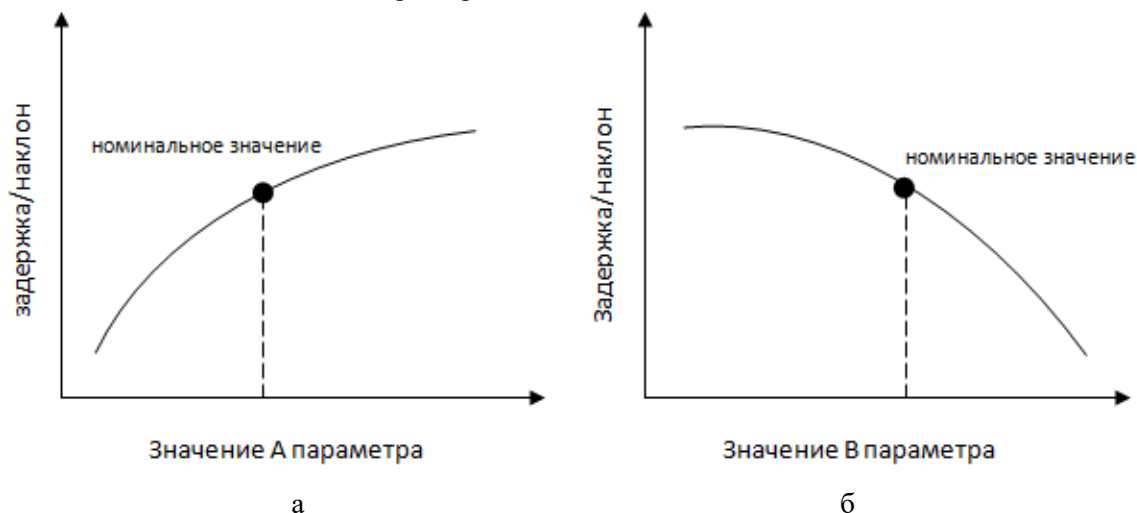


Рис. 3 - Зависимость выходной задержки ячейки от номинальных значений A(а) и B(б) параметров

Вследствие МС отклонений для меняющихся N количества параметров нужно будет $2N+1$ описаний – два описания для не номинальных значений и одно для общего описания номинальных значений. В случае двух параметров для МС отклонений описание будет иметь вид, приведенный на рис. 4

После рассмотрения влияния каждого отдельного параметра, необходимо получить общее отклонение задержки, если несколько параметров меняются одновременно. Поскольку эти параметры не зависят друг от друга, то для расчета их одновременных влияний можно использовать принцип суперпозиции. Для этого необходимо суммировать задержки всех параметров влияющих на отклонения.

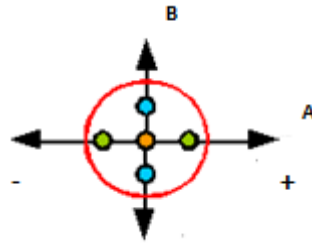


Рис. 4 - Описания N размерное пространство A и B параметров в случае МС отклонений

Кроме расчета МС ТО необходимо создать модель, которая будет содержать информацию и о ВС отклонениях. Но в отличие от МС отклонений (рис. 5а), ВС отклонения меняются по – своему (рис. 5б) для каждого параметра транзистора, следовательно, расчет при помощи предложенного выше метода не эффективен.

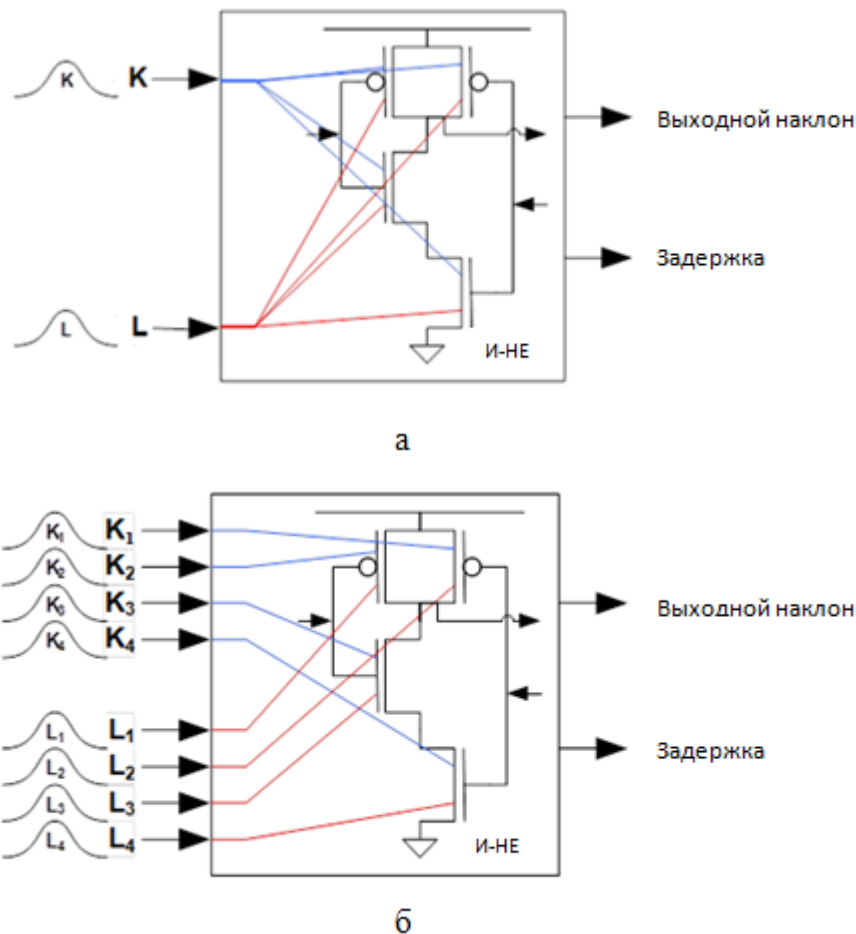


Рис. 5 – Влияния МС (а) и ВС (б) отклонений на “И-НЕ” стандартную ячейку

Вследствие этого во временных моделях ячеек будут содержаться зависимости выходных задержек от всех параметров всех транзисторов. Получение такого вида зависимости требует машинных, человеческих и временных больших затрат и на практике не применяем. Поэтому необходим другой метод для проверки временных параметров ВС отклонений. На рис.6 показан предложенный метод моделирования ВС отклонений.

В [7]-ом показано, что если в цифровой схеме все параметры каждого транзистора меняются нормальным распределением вне зависимости от других, то выходная задержка и наклон сигнала схемы также будут иметь нормальное распределение.

Предлагается при помощи средства схемотехнического моделирования сделать моделирование Монте-Карло, для нахождения значений выходной задержки и наклона ячейки.

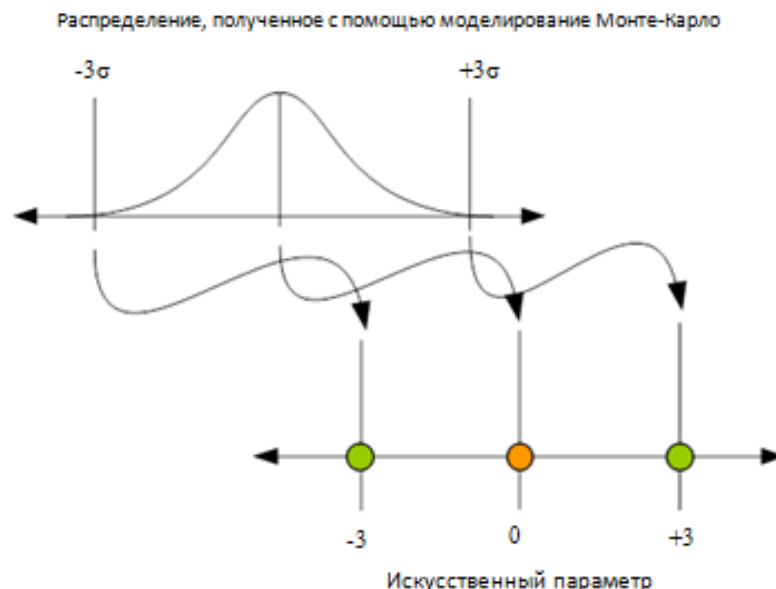


Рис. 6 - Создание искусственного параметра для моделирования ВС разбросов

После этого, имея значения среднего, а также $+3\sigma$ и -3σ распределений, приписать их к новой искусственной переменной, чьи $+3\sigma$ и -3σ значения будут соответствовать на выходе схемы $+3\sigma$ и -3σ отклонений и полученному среднему значению распределения Гаусса. Это позволит посчитать все влияния ВС отклонений при помощи одной переменной.

В таблице показаны сравнения для двухвходовых “И”, “ИЛИ-НЕ” ячеек, а также для инвертора, буфера и последовательно соединенных пяти инверторов.

Таблица 1 – Сравнение точности методов описания стандартных ячеек

Ячейка	Среднее значение задержки (μ), пс			Отклонение задержки (3σ), пс		
	Метод 1	Предложенный метод	Ошибка, %	Метод 1	Предложенный метод	Ошибка, %
И	112,20	94,64	15,65	91,53	72,90	20,35%
ИЛИ-НЕ	83,53	72,28	13,47	88,26	71,79	18,66%
Инвертор	75,59	67,13	11,19	89,87	75,01	16,53%
Буфер	105,34	92,43	12,25	95,74	77,07	19,50%
Цепь инверторов	246,44	202,45	17,83	253,71	195,18	23,07%

Как можно увидеть (табл. 1), разница точности между существующим и предложенным методами для среднего значения задержки варьируется в границах 11%-18%, а для 3σ отклонения - в границах 16%-23%. В [8]-ом такие же отличия были при сравнении предложенного метода и метода Монте-Карло. С другой стороны, описания при помощи [8] метода занимает в 1.5 раза меньше времени, чем предложенный метод. Но полученные характеристики в [8]-ом методе своим форматом несовместимы с моделями нелинейных задержек. Важно также отметить, что, в отличие от ССВА, предложенный метод не итерационного типа и делается один раз для данной технологии.

Список литературы / References

1. Parameter variations and impact on circuits and microarchitecture / S. Borkar, T. Karnik, S. Narendra et al // 40th Design Automation Conference. - Anaheim, 2003. - P. 338-342.
2. Forzan C., Pandini D. Why We Need Statistical Static Timing Analysis // IEEE International Conference on Computer Design. - Lake Tahoe, 2007. - P. 91-96.
3. Orshansky M., Nassif S. Design for Manufacturability and Statistical Design. - Springer, 2007. - 330 p.
4. Sapatnekar S. Timing. - Springer, 2004. - 910 p.
5. Gupta P., Heng F.-L. Toward a systematic-variation aware timing methodology // 41th Design Automation Conference. - San Diego, 2004. - P. 321-326.
6. Liberty NCX: The Fastest Path to Production Current-Source Libraries // www.synopsys.com

7. Petrosyan G.A. A Method of Logic Level Statistical Static Timing Analysis // Proceedings of the 8th International Conference on Semiconductor Micro- and Nanoelectronics. - Yerevan, 2011. - P. 263-266.

8. Aftabjahani S.-A. Compact Variation-Aware Standard Cell Models for Statistical Static Timing Analysis: Ph.D. dissertation / Georgia Institute of Technology. - Atlanta, 2011. - 214 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.125>

Грачев М.В.

ORCID: 0000-0002-1933-1403, Заведующий лабораторией, Соискатель

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ)

ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПО ДИАГРАММЕ ВДАВЛИВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА ДЛЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT3-1

Аннотация

Проведено исследование титанового сплава по диаграмме вдавливания сферического индентора. Рассмотрена типовая диаграмма вдавливания индентора. На диаграмме показаны типовые области, характеризующие процесс: нагружения, паузы и разгрузки. Рассмотрены математические зависимости, применяемые для расчета диаграммы вдавливания. Показана принципиальная схема установки для записи диаграммы вдавливания сферического индентора. Приведены результаты вдавливания и расчета различных показателей, характеризующих поверхностный слой для титанового сплава. Показана эффективность данного метода.

Ключевые слова: титан, технология, диаграмма вдавливания, индентор.

Grachev M.V.

ORCID: 0000-0002-1933-1403,

Head of Laboratory,

External doctorate student

Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI)

EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE SURFACE LAYER ON THE INDENTATION DIAGRAM OF A SPHERICAL INDENTOR FOR A TITANIUM ALLOY VT3-1

Abstract

A study of the titanium alloy on the indentation diagram of a spherical indenter is carried out, considering a typical indentation diagram. The diagram shows typical areas characterizing the process: loading, pausing and unloading. Mathematical dependencies used to calculate the indentation diagram are considered. A flowchart diagram of the installation for recording the indentation diagram of a spherical indenter is shown. The results of indentation and calculation of various parameters characterizing the surface layer for a titanium alloy are presented, the effectiveness of this method is shown as well.

Keywords: titanium, technology, indentation diagram, indenter.

Введение

Современные тенденции в развитии материаловедения и технологий по модифицированию поверхностных слоев направлены на получение заданных физико-механических параметров с учетом условий эксплуатации деталей. Особую значимость это приобретает, в частности, в современном авиа - двигателестроении, где задачи обеспечения износостойкости, усталостной прочности, фреттингостойкости, коррозионной стойкости и т.п. являются актуальными. Правильное их решение основано не только на обоснованном выборе режимов и методов технологического воздействия (нанесение покрытий, химико-термическая обработка и т.д.), но и возможностях достоверной оценки и прогнозирования такого воздействия.

Цель исследования Целью исследования является определение характеристик поверхностного слоя для титанового сплава с различными покрытиями по диаграмме вдавливания сферического индентора.

Методика исследований

Традиционными методами определения механических свойств материалов являются испытания на растяжение, сжатие, оценка твердости и микротвердости и т.п.. Определенный интерес представляет метод, основанный на непрерывной регистрации нагрузки и глубины внедрения индентора в испытуемый образец.

Типовая диаграмма вдавливания представлена на рис. 1.

В данном случае участок 0-1-2 описывается следующими формулами:

$$P_i = a(h_{\Sigma} - h_{\Sigma i})^n + P_{y0}, \text{ где}$$

$h_{\Sigma i}$ – текущая глубина внедрения индентора при нагружении;

P_i – текущая сила вдавливания индентора;

n – показатель

a – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала и размеров индентора.

Участок кривой 3-4 – участок разгрузки. В ходе процесса разгрузки происходит релаксация энергии. Этот участок описывается следующими зависимостями:

$$P_i = b_j(h_{pi} - h_{0j})^m,$$

где b_j – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала и размеров индентора;

h_{pi} – текущее значение глубины внедрения при разгрузке;

h_{0j} – остаточная глубина внедрения, соответствующая конечной (j -ой) точке при нагружении;

m – показатель.

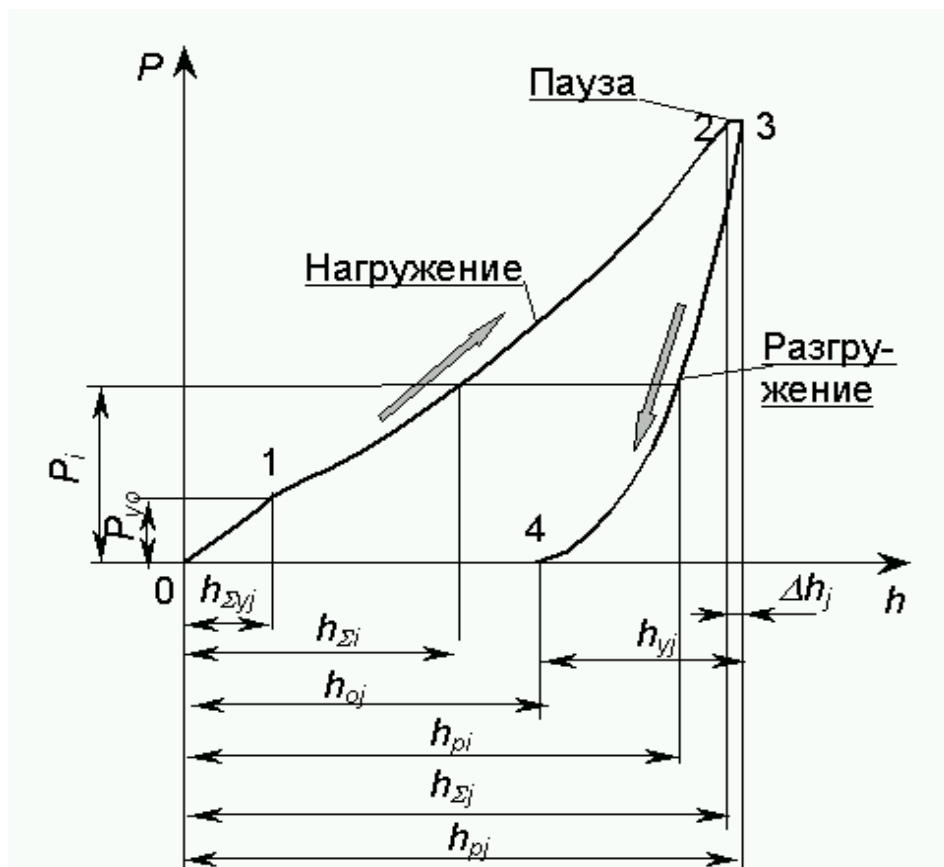


Рис. 1 – Типовая диаграмма вдавливания сферического индентора.

Определяются константы a , b , c , n , m , и g , которые подсчитываются по следующим зависимостям:

$$n = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\lg P_{i+1} - \lg P_i}{\lg h_{\Sigma(i+1)} + \lg h_{\Sigma(i)}},$$

$$a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{P_i}{h_{\Sigma i}^n},$$

где N – количество точек на соответствующих кривых, взятых для расчета; (для b , c , m , и g – формулы аналогичны).

$$E = \frac{(1-\mu^2)mP_j}{2\sqrt{2Rh_{\Sigma j}(h_{\Sigma j} - h_{\Sigma oj}) - e_1 m P_j}} - \text{модуль Юнга исследуемого материала, где, } e_1 - \text{упругая константа индентора.}$$

Средние контактные давления при нагружении и разгрузке определяются по следующим формулам:

$$q_{ni} = \frac{P_i}{A_{\text{кн}}} = \frac{a}{2\pi R} h_{\Sigma i}^{n-1},$$

$$q_{pi} = \frac{P_i}{A_{\text{кр}}} = \frac{b_j h_{\Sigma j}}{2\pi R (h_{\Sigma j} - h_{\Sigma oj})} (h_{pi} - h_{oj})^{m-1}$$

Величину контактных давлений целесообразно рассматривать в зависимости от степени деформации в отпечатке ε , которая, в отличие от конуса и пирамиды, при вдавливании сферического индентора переменна из-за нарушения геометрического подобия лунки. Кроме того, степень деформации для сравнительной оценки удобна тем, что она безразмерна. Степень деформации определяется при нагружении и разгрузке следующим образом.

$$\varepsilon_{ni} \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h_{\Sigma i}}{2R}},$$

$$\varepsilon_{pi} = \frac{h_{pi}}{2\sqrt{2Rh_{\Sigma j} - h_{\Sigma j}^2}}.$$

Результаты исследований

Для записи диаграммы вдавливания сферического индентора применялась специальная установка.

Она позволяет вдавливать индентор 1 и перемещать образец 2 в тангенциальном направлении с непрерывной регистрацией силы вдавливания P от 0 до 800 Н, глубины внедрения h , силы трения $F_{\text{тр}}$, величины смещения в тангенциальном направлении z .

Таблица 1 – Результаты испытаний по диаграмме вдавливания

№	1	4	5	7	9	11	13	15	18	20	Ti
Материал	Ag	Cu	W	Ni	Cr	Ta	Al	BK6M	Nb	Zr	Ti
B	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01
D	0,12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12	0,12
E, $\times 10^6$ МПа	0,12	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11	0,12
a	8,74	6,37	5,78	7,29	7,29	8,37	8,63	9,14	5,26	6,98	10,35
b	16,91	14,99	15,84	17,19	16,05	13,86	16,02	19,16	13,67	16,46	15,69
c	32,57	24,03	22,03	27,83	28,30	32,93	33,30	35,26	17,39	26,10	37,42
n	1,23	1,30	1,34	1,27	1,27	1,23	1,23	1,21	1,36	1,29	1,18
m	1,29	1,32	1,30	1,27	1,29	1,36	1,30	1,20	1,40	1,30	1,31
r	0,99	1,09	1,14	1,04	1,04	0,98	0,99	0,96	1,20	1,07	0,94
q, Мпа	2260	2090	2069	2155	2155	2189	2260	2248	2059	2166	2260

Установка включает в себя три основных кинематических узла : механизм нагружения (узел 1), механизм опускания и подъема индентора (узел 2) и механизм тангенциального перемещения (узел 3). Установка работает следующим образом. Образец-2 из исследуемого материала закрепляется на столе -3. Закрепление необходимо для избежания ошибки измерений из-за возможных угловых микросмещений при действии нагружающей силы. Каретка -6, в которой на тарельчатых пружинах-5 подвешен шток-10 с индуктивным преобразователем -7, упругим элементом-8 и индентором -1, перемещается вертикально. Электродвигатель Д1 и Д4 обеспечивают соответственно ускоренное и медленное движения. При достижении необходимой силы касания $P_{кас}$ (в экспериментах она составляла 1...1,02 Н), которая оценивалась по величине деформации тарельчатых пружин 5 с наклеенными на них тензорезисторами-9 (рис. 4.4), происходит останов каретки и ее фиксация электромагнитами -ЭМ.

Для исключения погрешности измерений из-за податливости в стыке образец-стол индуктивный преобразователь жестко крепился на штоке, а индентор, в качестве которого служили выглаживатели со сферической рабочей частью из природных и синтетических (АСПК-3) алмазов, соединен со штоком посредством резьбового соединения. При этом сила затяжки выбиралась так, чтобы она обеспечивала натяг на торце штока больший, чем может возникнуть от максимальной силы при вдавливании.

Вдавливание индентора (нагружение - разгружение (узел 1) обеспечивалось перемещением пиноли -11 от электродвигателей Д3 и Д2 (Д2- для ускоренного подвода, Д3- непосредственно для нагружения). Скорость нагружения определялась изменением частоты вращения Д3, а также жесткостью упругого элемента -8. Тангенциальное перемещение образца (узел 3) может осуществляться бесступенчато от электродвигателя Д5.

Для измерения и фиксации исследуемых параметров установка оснащена тензоусилителем ТА5 (измерение сил), системой электронной измерительной 214ПС (измерение глубины внедрения) и самопишущими двух координатными потенциометрами ПДС-021.

Силы оценивали по деформации упругих элементов 8, 9, 12 с наклеенными на них тензорезисторами. Для исключения влияния силы P на показания $F_{тр}$ дополнительно установлена тензобалка -13, имеющая гибкую связь-14 со столом-3 и не воспринимающая по этой причине растягивающих напряжений в отличие от упругих элементов 12. Запись тангенциального перемещения z образца 2 производилась на потенциометре по изменению напряжения на резисторе, включенного в электрическую цепь по схеме делителя напряжения. При этом ползунок резистора был жестко связан со столом. Функционирование установки в полуавтоматическом режиме обеспечивалось электросхемой.

Образцы изготавливались в виде пластин толщиной не менее 8 мм, что давало основания рассматривать их как упруго-пластическое полупространство. После нагружения осуществлялась выдержка в течение 10... 15 секунд, задаваемая с помощью реле времени, затем производилась разгрузка. В каждом случае выполнялось не менее 3-х опытов с последующим осреднением результатов. Для исключения взаимного влияния соседних отпечатков они располагались на расстоянии, превышающим их диаметр в 5 раз. Результаты тарировки обрабатывались по методу наименьших квадратов.

Для проверки правильности показаний приборов использовалась мера твердости HV5-424 к прибору ТП-2 (в дальнейшем эталон), рабочая поверхность которой обработана в пределах $Ra=0,12...0,02$ мкм.

Скорость нагружения составляла 10... 40 Н/с, а ее изменение в указанном интервале практически не сказывалось на получаемых результатах. Результаты расчетов по диаграмме вдавливания сферического индентора представлены в таблице 1.

Выводы

Можно констатировать, что оценка физико-механических свойств поверхностного слоя по диаграмме вдавливания сферического индентора, является эффективным способом исследования поверхностного слоя материалов.

Список литературы / References

1. Хворостухин Л. А. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением /Л.А. Хворостухин, С.В. Шишкин, А.П. Ковалев и др. - М.: Машиностроение, 1988.

2. Булычев С. И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С.И. Булычев, В.П. Алехин - М.: Машиностроение, 1990.
3. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович - М.: Наука. 1976.
4. Ковалев А. П. Оценка несущей способности поверхностного слоя деталей вдавливанием сферического индентора / А.П. Ковалев //Технология машиностроения. - 2007. - № 9. - С. 50 -53.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Hovorostuhin L. A. Povyshenie nesushhej sposobnosti detalej mashin poverhnostnym uprochneniem [Increasing the bearing capacity of machine parts surface hardening] /L.A. Hovorostuhin, S.V. Shishkin, A.P. Kovalev and others. - М.: Mashinostroenie, 1988. [in Russian]
2. Bulychhev S. I. Ispytanie materialov nepreryvnyim vдавливaniem indentora [Materials testing continuous indentation] / S.I. Bulychhev, V.P. Alehin - М.: Mashinostroenie, 1990. [in Russian]
3. Grigorovich V. K. Tverdst' i mikrotverdst' metallov [Hardness and micro-hardness of metals] / V.K. Grigorovich - М.: Nauka. 1976. [in Russian]
4. Kovalev A. P. Ocenka nesushhej sposobnosti poverhnostnogo sloja detalej vдавливанием sfericheskogo indentora [Evaluation of the bearing capacity of the surface layer parts indentation spherical indenter] / A.P. Kovalev // Tekhnologiya Mashinostroeniya - 2007. - № 9. - P 50-53. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.022>

Жамбаловой С.Ц.

ORCID: 0000-0003-2599-2643, Аспирант кафедры,

Санкт-Петербургский Горный университет

ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГИСТРАЦИИ И КОНТРОЛЯ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА LAB VIEW

Аннотация

Данная статья посвящена проблемам измерения и контроля высокочастотных процессов и способы решения данной проблемы. Предложен алгоритм построения новой градуировочной характеристики, которая наиболее полно будет отражать поведение высокочастотного процесса, что в свою очередь позволит повысить точность информационно-измерительной системы. Разработана модель информационно-измерительной системы для измерения и контроля высокочастотных процессов, построенная в среде графического программирования Lab View.

Ключевые слова: имитационная математическая модель, высокочастотные процессы, повышение точности.

Zhambalova S.T.

ORCID: 0000-0003-2599-2643, Postgraduate student,

Saint-Petersburg Mining University

IMITATIONAL MATHEMATICAL MODEL OF REGISTRATION AND CONTROL OF HIGHLY DYNAMIC PROCESSES WITH LAB VIEW SOFTWARE

Abstract

The paper is devoted to the problems of measure and control of highly dynamic processes and how to solve the problem. The author proposes the algorithm for construction of a new calibration curve, it most fully reflects the behavior of a highly dynamic process, which in turn improves the accuracy of the information-measuring system. The model of the information-measuring system for measure and control of high-dynamic processes, developed in the graphical programming software Lab View is developed as well.

Keywords: imitational mathematical model, highly dynamic processes, increasing accuracy.

В промышленности, в технике, в природе всегда присутствуют случайные стохастические высокочастотные процессы. Процессы, имеющие случайный характер распространения во временной плоскости и сложно предсказать их изменения в следующий момент времени, называются высокочастотными процессами. К примеру, процесс перекачки, либо транспортировки нефти можно отнести к высокочастотным процессам, рассматривая информационно-измерительную систему для определения свободного газа в нефти, т.к. содержание свободного газа при измерении, имеет случайный характер. Особенности высокочастотных процессов вызывают трудности в реализации численных моделей. Это связано, прежде всего, с требованием проведения вычислительных процедур в реальном масштабе времени. При регистрации процесса, средства измерения фиксируют измеряемую величину не непрерывно, а лишь через определенный интервал времени, что увеличивает погрешность измерительной системы. Предел допускаемой относительной погрешности измерений массы нетто добываемой нефти - 0,4%, учитывая, что средняя годовая норма нефти нетто, для одной скважины около 9000 тонн, то данная погрешность составляет 36 тонн, что соответствует приблизительной годовой норме одного из участков объекта добычи.

При изучении и моделировании измерения и контроля высокочастотных процессов необходимо решить три основные проблемы. Во первых, автоматическое управление технологическими процессами и оперативное эргономическое управление возможно на основе наиболее полной информации как о параметрах процесса, так и при наличии высокочувствительных, быстродействующих измерительных средств, способных обменивать энергию на информацию.

Вторая проблема – это сохранить сигнал, полученный при измерении физических параметров и обрабатываемый во вторичных приборах. Поскольку для стохастических процессов трудно измерить и представить этот сигнал в нужной форме (Добротность и средства $PC = \gamma^2 Pt$ - сочетает погрешность γ с быстродействием t и мощностью

измерения Р). Сочетание энергопотребления, быстродействия и точности, как правило не удовлетворяют реальной динамике процесса.

Для описания различных высокочастотных процессов применяют математическое моделирование, его рассматривают как инструмент для изучения исследуемых процессов, которые сопровождают работу системы, путем их замены на процессы более удобные для исследования, заменяемые процессы сохраняют основные требуемые свойства оригинала в зависимости от поставленной задачи. [1]

Для отображения высокочастотных процессов так же можно использовать простейшие модели, такие как: пуассоновский поток, отрицательно-биномиальный поток, поток Бернулли. Сигнал потока исследуемой плотности жидкости представляет собой белый шум, имеющий пуассоновское распределение автокорреляционную функцию в виде дельта функции. При протекании газожидкостной смеси пуассоновский белый шум модулируется коррелированным случайным процессом изменения плотности, возникающим за счет флуктуаций содержания газа в потоке.

Стационарные процессы с ограниченным спектром частот в виде периодических случайных реализаций могут быть представлены случайными колебаниями по Райсу, данная модель более универсальна. Фактически модель Райса описывает временную периодическую реализацию с периодом Т посредством гармонического ряда Фурье со случайными амплитудами и фазами составляющих гармоник (см. Рис.1). Важной является заключенная в самой модели фундаментальная связь между числом гармоник и интервалом периодичности Т. [1]

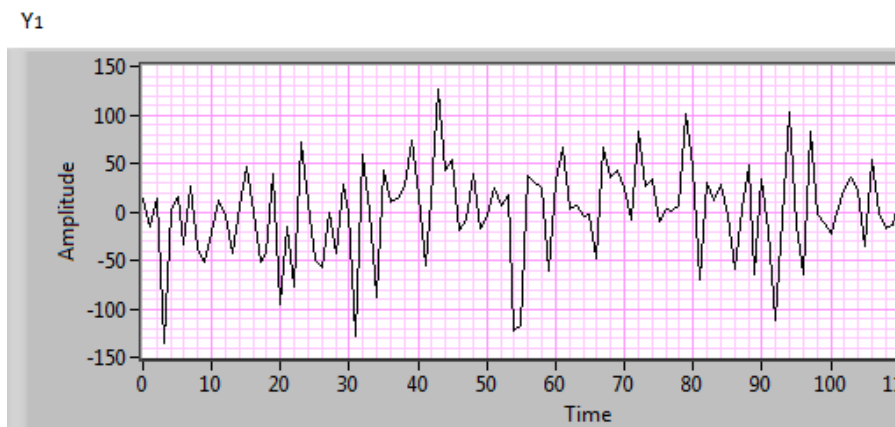


Рис. 1 – Пример реализации высокочастотного процесса в среде LabView

И третье – для измерительных систем присущи мультипликативные и аддитивные погрешности, которые периодически нужно компенсировать. В работе принят для этой цели метод скользящего окна:

$$f(x) = \frac{1}{\Delta t} \int_1^n f(t) dt, \text{ где}$$

амплитуда функции $f(x)$ автоматически измеряется бортовым компьютером, который также корректирует градуировочную характеристику и средства по методике. Автоматическая коррекция градуировочной характеристики осуществляется по двум точкам: ноль и чувствительность. Дискретизация по времени Δt для измерений и для момента корректирования подбирается экспериментально.

Алгоритм построения градуировочной характеристики измерительных приборов для измерения и контроля высокочастотных процессов (см. рис.2) состоит из следующих этапов: сбор измерительной информации, ввод данных, выбор шага дискретизации, построение градуировочной характеристики, автоматическая коррекция градуировочной характеристики, вывод данных.

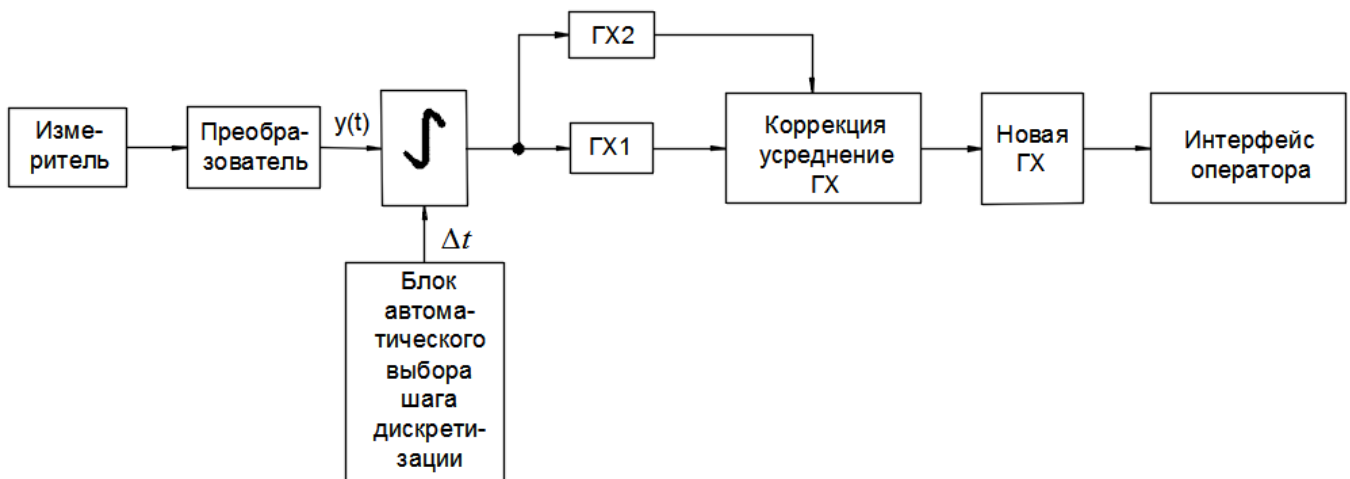


Рис. 2 – Структурная схема метода повышения точности

Для повышения точности измерений, предлагается автоматическая коррекция градуировочной характеристики. Данные с исследуемого объекта через измеритель и преобразователь поступают на блок с градуировочной таблицей, в соответствии с которой формируется градуировочная характеристика 1 (ГХ). Параллельно строится ГХ2 по методу наименьших квадратов (МНК). Затем происходит автоматическая корректировка ГХ (см. Рис3). Градуировочная характеристика описывается линейной зависимостью по формуле 1. [2,3]

$$X = f(Q), X = a_0 + a_1 Q, \quad (1)$$

где градуировочная характеристика описывается зависимостью X , a_0 , a_1 – коэффициенты описывающие прямую, Q - аргумент.

Критерий наименьших квадратов, согласно формуле 2:

$$\sum_{i=1}^n (X_i - a_0 + a_1 Q_i)^2 = \min \quad (2)$$

Результат уточняется путем усреднения и занесение в память устройства как новая уточненная градуировочная характеристика. Описанная процедура повторяется непрерывно в течение всего периода работы устройства – новая характеристика усредняется с предварительно многократно усредненной (и теперь уже являющейся базовой) градуировочной характеристикой.

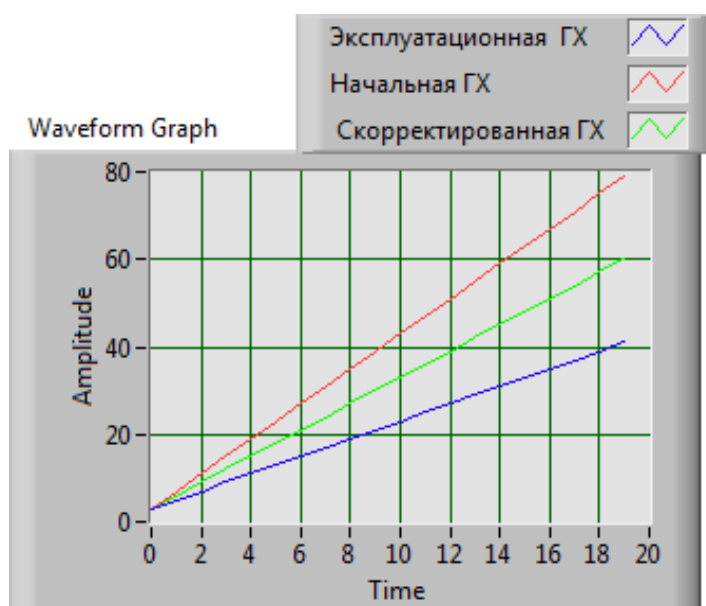


Рис. 3 – Построение ГХ в среде Лаб Вью

Зависимость синего цвета – это зависимость, характеризующая значения, снятые с датчиков ГХ1; зависимость синего цвета – вычисленное множество, которое характеризует измеряемую физическую величину (ГХ2 рассчитанная по МНК); зависимость зеленого цвета - базовая градуировочная характеристика

На блок корректировки ГХ подается сигнал с интегратора, который несет информацию о шаге дискретизации. Интервал между отсчетами выбирается автоматически в зависимости от характера поведения высокочастотного процесса. Можно выделить две основные группы методов: равномерную и неравномерную дискретизацию. При равномерной дискретизации функции $x(t)$ на всем рассматриваемом диапазоне D_t изменения аргумента интервал между отсчетами неизменен ($\Delta t = \text{const}$). Величина этого интервала (шаг равномерной дискретизации) Δt выбирается на основе априорных сведений и характеристиках сигнала, экспериментальным путем, в соответствии с характером поведения исследуемого процесса, при неравномерной дискретизации интервал между отсчетами изменяется по случайному закону или с учетом изменения характеристик сообщения (адаптивная дискретизация).

Итак, подводя итоги, можно констатировать следующее:

- 1) предложена методика автоматической корректировки градуировочных характеристик, которая позволит уменьшить статистические погрешности до минимальных значений.
- 2) разработана имитационная модель на основе вышеописанной методике. Моделирование проводилось на базе имитационной модели виртуального прибора собранного с помощью пакета Lab View.

Список литературы / References

1. Жамбалова С.Ц. Проблемы измерения высокочастотных процессов в электромеханических системах / С.Ц. Жамбалова, В.А. Шпенст//. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и Технические науки». – 2016. - № 1 – С.18-22
2. Садовский Г.А. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Г.А Садовский. - М., 2008 – 478 с.
3. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология, Часть 1 / И.Ф Шишкин. – Санкт-Петербург: Питер, 2010 – 192с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhambalova S.C. Problemy izmerenija vysokodinamichnyh processov v jelectromehaničeskikh sistemah [Problems of measuring high-dynamic processes in electromechanical systems] / S.C. Zhambalova, V.A. Shpenst//. Sovremennaja nauka:

aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya «Estestvennye i Tehnicheskie nauki» [Modern science: actual problems of theory and practice. Series "Natural and Engineering Sciences"]. – 2016. – № 1 – P.18-22 [in Russian]

2. Sadovskij G.A. Teoreticheskie osnovy informacionno-izmeritel'noj tehniki [Theoretical basis of information and measuring technology] / G.A Sadovskij. – M., 2008 – 478 p. [in Russian]

3. Shishkin I.F. Teoreticheskaja metrologija, Chast' 1 [Theoretical metrology, Part 1 / I.F Shishkin. – Sankt-Peterburg: Piter, 2010 – 192p [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.057>

Зверев Е.А.¹, Скиба В.Ю.², Вахрушев Н.В.³, Гаврилов А.К.⁴

¹ORCID: 0000-0003-4405-6623, Кандидат технических наук;

²ORCID: 0000-0002-8242-2295, Кандидат технических наук, Доцент;

³ORCID: 0000-0002-2273-5329, Аспирант; ⁴Студент,

Новосибирский государственный технический университет

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана

НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-1_17

ОЦЕНКА УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ

Аннотация

Представлены результаты исследований влияния режимов плазменного напыления на уровень остаточных напряжений в покрытиях. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в процессе напыления знак напряжений не изменяется. Величина растягивающих напряжений главным образом зависит от температуры нагрева образцов, а наибольшее влияние на нее оказывает ток дуги плазмотрона. Увеличение силы тока приводит к росту температуры основы, что объясняется ростом тепловой мощности плазменной струи. Повышение расхода плазмообразующего газа влечет за собой снижение температуры образцов, поскольку уменьшается теплосодержание плазмы. Увеличение дистанции напыления оказывает схожее воздействие, и ее увеличение приводит к снижению температуры основы. Получена функциональная зависимость уровня остаточных напряжений от режимов плазменного напыления.

Ключевые слова: остаточные напряжения, износостойкое покрытие, плазменное напыление.

Zverev E.A.¹, Skeebe V.Yu.², Vakhrushev N.V.³, Gavrilov A.K.⁴

¹ORCID: 0000-0003-4405-6623, PhD in Engineering;

²ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate professor;

³ORCID: 0000-0002-2273-5329, Postgraduate student; ⁴Student,

Novosibirsk State Technical University

This study was supported by a NSTU grant (project No. ТП-ПТМ-1_17)

ESTIMATION OF THE LEVEL OF RESIDUAL STRESS IN PLASMA COATINGS

Abstract

The article contains the results of the effect of plasma deposition regimes study on the level of residual stress in coatings. Analysis of the experimental data showed that the voltage sign does not change during the sputtering process. The magnitude of the tensile stress depends on the heating temperature of the samples in the first place, while the current in the arc of the plasma torch has the greatest influence on it. An increase in the current intensity leads to an increase in the temperature of the substrate, which is explained by the increase in thermal power of the plasma jet. An increase in the consumption of the plasma-forming gas entails a decrease in the temperature of the samples, since the heat content of the plasma decreases. The increase in the sputtering distance has a similar effect, and its increase leads to a decrease in the substrate temperature. Functional dependence of the level of residual stress on plasma deposition regimes is obtained.

Keywords: residual stress, wear-resistant coating, plasma spraying.

Эффективное развитие промышленного производства невозможно без увеличения производительности, что сопровождается интенсификацией процессов трения за счет повышения нагрузок и скоростей. Тяжелые режимы эксплуатации приводят детали механизмов к выходу из строя по причине износа рабочих поверхностей, в связи с чем возникает потребность в их упрочнении. Для формирования поверхностных слоев деталей машин с повышенными физико-механическими свойствами в настоящее время применяются различные методы упрочнения [1], [2], [3], [4]. Важное место среди них занимает плазменное напыление износостойких покрытий из порошковых материалов [5], [6], [7], [8].

Получение покрытий, обладающих необходимым уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств, в сочетании с пластичной и вязкой основой является одним из приоритетных направлений развития современного машиностроения, поскольку позволяет получить наибольший экономический эффект. Немаловажным фактом является возможность повышения качества самих плазменных покрытий на основе применения комбинированных технологий (суть которых заключается в повторном высокоэнергетическом воздействии на структуру покрытий) [9-15] и возможностью формирования многокомпонентных покрытий [16-19].

В общем случае качество покрытий характеризуется следующими показателями: адгезионной прочностью (прочностью сцепления основы и покрытия), когезионной прочностью (прочностью соединения частиц порошка между собой), пористостью, равномерностью толщины покрытия, а также уровнем остаточных напряжений.

Одной из причин относительно низкой прочности сцепления напыленных покрытий с основой является наличие остаточных напряжений [20, 21], которые имеют знакопеременный характер (чаще всего они растягивающие). Их возникновение – следствие напыления расплавленных частиц порошка на поверхность детали, обладающую значительно более низкой температурой, различия в коэффициентах теплового расширения, усадки при кристаллизации частиц, деформации и наклепа частиц при столкновении с поверхностью. На практике уровень остаточных напряжений существенным образом зависит от режимов напыления и жесткости системы "покрытие-основа". При высокой жесткости основы и большой толщине покрытия напряжения могут привести к образованию трещин в слое и даже к его отслоению от основы.

Целью настоящих исследований является численная оценка уровня остаточных напряжений в покрытиях при различных режимах плазменного напыления.

Методика экспериментального исследования

При измерении величины остаточных напряжений в покрытиях используют разрушающие и неразрушающие методы контроля [20]. Одним из существенных недостатков первой группы методов является то, что при разрушении покрытия возникают дополнительные напряжения. Поэтому при оценке напряженно-деформированного состояния слоя было отдано предпочтение экспериментально-расчетному методу (методу "наращивания"). Метод позволяет достаточно точно определять внутренние напряжения первого рода [21]. При его реализации на плоский образец (длинную, узкую и тонкую пластину толщиной h_2) наносится слой покрытия заданной толщины h_1 , в результате чего он деформируется (рис. 1).

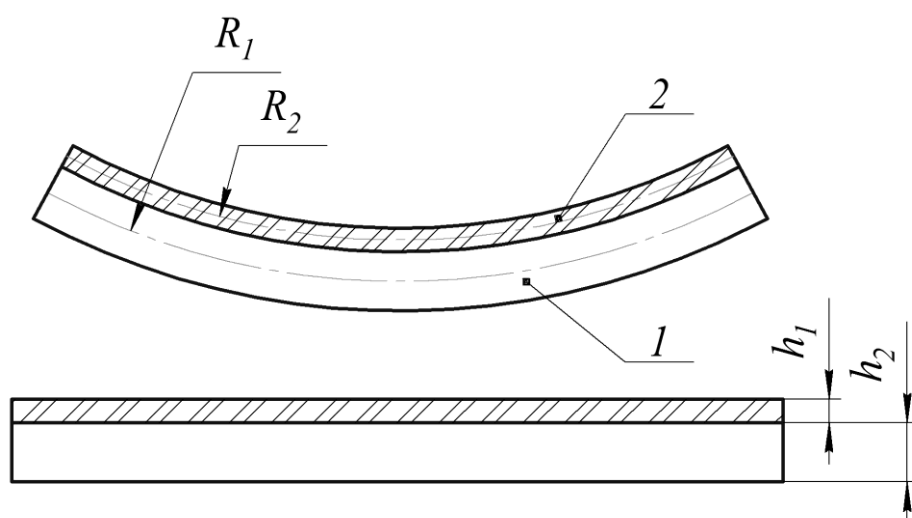


Рис. 1 – Схема определения величины остаточных напряжений:
1 – пластина, 2 – напыленное покрытие

После измерения радиуса кривизны пластины производился расчет уровня остаточных напряжений $\sigma_{ОН}$ (МПа) по формуле (1), которая учитывает толщину образца и покрытия, а также характеристики упругости их материалов:

$$\sigma_{ОН} = \left[\frac{h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2}{6 \rho h_1 (h_1 + h_2)} + \frac{E_1 (h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2)}{12 \rho^2 (h_2 E_1 + h_2 E_2)} + \frac{E_1 E_2 h_2 (h_1 + h_2)}{2 \rho (h_1 E_1 + h_2 E_2)} \right] \frac{1}{1 - \mu^2} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где h_1 и h_2 – толщины покрытия и основы, м, в данном случае приняты соответственно $6 \cdot 10^{-4}$ м и $1,5 \cdot 10^{-3}$ м; E_1 и E_2 – модули продольной упругости покрытия и основы, ГПа, были выбраны по соответственно $10 \cdot 10^9$ Па и $200 \cdot 10^9$ Па; μ – коэффициент Пуассона по данным [21] составил 0,26; ρ – средний радиус кривизны, мм, составляет среднее арифметическое значение радиусов R_1 и R_2 .

Напыление покрытий осуществлялось плазмотроном ПУН-3 мощностью 40 кВт, установленном на экспериментальной плазменной установке "Киев-7". В качестве образцов использовались пластины из стали 20 длиной 130 мм, шириной 10 мм и толщиной 1,5 мм. Материал покрытия – высокохромистый легированный чугун марки ПГ-С27 [22]. Глубина напыленного слоя выдерживалась в пределах 630...650 мкм. Контроль толщины покрытия производился цифровым контактным толщиномером индукционного типа. Перед нанесением покрытий образцы подвергались струйно-абразивной обработке (САО) [23]. Измерение температуры нагрева поверхности образцов производилось при помощи бесконтактного инфракрасного пирометра модели *Optris MiniSight*.

Основными управляемыми технологическими режимами, при прочих равных условиях, приняты: сила тока дуги плазмотрона I , изменяющаяся в интервале от 116 до 160 А; расход плазмообразующего газа (воздуха) G – диапазон варьирования 13...27 л/мин; дистанция напыления L – соответственно изменяющаяся в пределах от 80 до 160 мм.

За основу построения модели принят ортогональный центрально-композиционный план второго порядка. В каждой точке плана производилось пять опытов, а результаты определялись по среднему арифметическому значению.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлена зависимость остаточных напряжений от режимов плазменного напыления. На рис. 2 приведен типовой образец деформированной в процессе напыления пластины.



Рис. 2 – Образец с напыленным покрытием

В процессе плазменного напыления в покрытии формируются растягивающие напряжения, которые вызывают изгиб пластины в обратном направлении по сравнению с образцами подвергнутыми САО. В итоге определяемые экспериментальным путем остаточные напряжения представляют собой результат суперпозиции действия разнонаправленных сил.

Для получения достоверных результатов исследования на стадии САО лабораторные образцы обрабатывались при одинаковых условиях. При этом радиус изгиба составил порядка 650 мм, что соизмеримо с уровнем остаточных напряжений, равным 19 МПа.

В результате проведенных исследований получена математическая модель на базе уравнения регрессии.

$$\sigma_{\text{ОН}}(I, G, L) = 161,22 - 3,713I + 0,018I^2 + 3G - 0,099G^2 + 1,06L - 0,003L^2 - 0,004IL.$$

Данная модель позволяет оценить степень влияния каждого из факторов и выявить их взаимосвязь. На рис. 3 показана графическая зависимость уровня остаточных напряжений от силы тока дуги плазматрона и расхода плазмообразующего газа при дистанции напыления 120 мм.

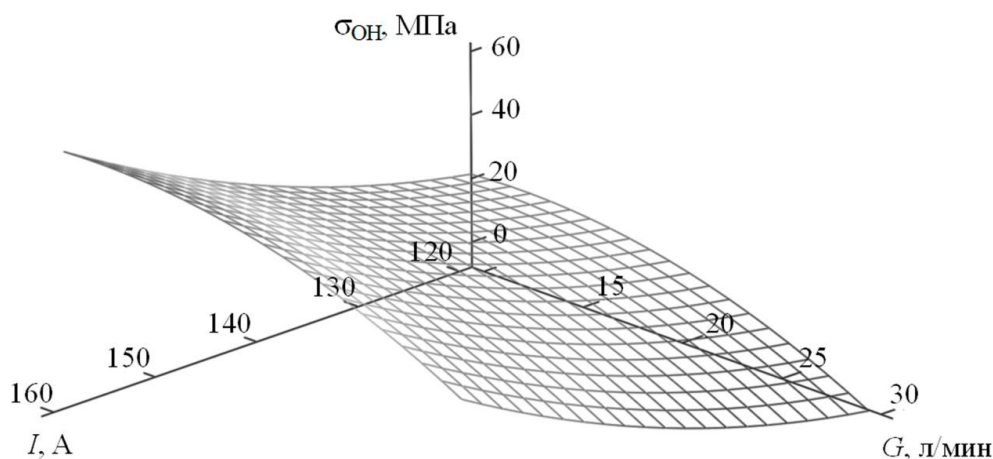


Рис. 3 – Зависимость величины остаточных напряжений в покрытиях от режимов плазменного напыления

Анализ полученных экспериментальных данных выявил, что знак напряжений не изменяется в процессе обработки. Значения растягивающих напряжений в наибольшей степени зависят от температуры нагрева образцов, подверженной наибольшему влиянию со стороны тока дуги плазматрона. Увеличение силы тока дуги способствует росту температуры основы, что объясняется увеличением тепловой мощности самой плазменной струи. Обратный эффект наблюдается при повышении расхода плазмообразующего газа: температура образцов снижается, поскольку происходит уменьшение теплосодержания плазмы. Повышение дистанции напыления оказывает аналогичное воздействие, и ее увеличение приводит к понижению температуры основы. При напылении покрытий в установленном диапазоне режимов, значения зафиксированной температуры нагрева образцов находились в пределах от 240 до 470 °С.

Выводы

Экспериментально установлено, что значения уровня остаточных напряжений образцов находятся в пределах 7...60 МПа, при изменении выбранных технологических режимов напыления в принятых диапазонах.

Получена функциональная зависимость $\sigma_{\text{ОН}}(I, G, L)$, позволяющая назначать оптимальные режимы напыления с целью минимизации уровня остаточных напряжений и, соответственно, не допускать значений превышающих адгезионную прочность покрытий.

Известно, что растягивающие напряжения неблагоприятно сказываются на эксплуатационных свойствах деталей машин и снижают ресурс их работоспособности в целом. Однако с целью обеспечения окончательных геометрической и размерной точностей, а также шероховатости поверхностей деталей с напыленными покрытиями их подвергают финишной механической обработке, как правило, шлифованию [24]. При этом происходит не только снижение уровня растягивающих остаточных напряжений, но и формирование сжимающих, что обусловлено упрочнением поверхностного слоя за счет пластической деформации, степень влияния которой зависит от режимов финишной обработки.

Список литературы / References

1. Fauchais P. L. Thermal Spray Fundamentals / P. L. Fauchais, J. V. R. Heberlein, M. I. Boulos // New York, Springer US Publ. – 2014. – 1566 p.
2. Skeebe V. Yu. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating source / V. Yu. Skeebe, V. V. Ivancivsky, N. V. Martyushev, D. V. Lobanov, N. V. Vakhrushev, A. K. Zhigulev // Key Engineering Materials. – 2016. – Т. 712. – Р. 105-111.
3. Пушнин В. Н. Обеспечение качества поверхностного слоя при алмазном выглаживании в условиях интегрированной обработки / В. Н. Пушнин, Н. В. Вахрушев, П. В. Трегубчак, Д. Ю. Корнев, В. Ю. Скиба // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 169-176.
4. Трегубчак П. В. Разработка технологической установки для плазменно-механической обработки / П. В. Трегубчак, Д. Ю. Корнев, В. Н. Пушнин, В. Ю. Скиба // Механики XXI века. – 2015. – № 14. – С. 135-141.
5. Skeebe V. Y. Integrated quality ensuring technique of plasma wear resistant coatings / V. Y. Skeebe, E. A. Zverev, N. V. Martyushev, P. Y. Skeebe // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 736. – P. 132-137.
6. Чёсов Ю. С. Плазменное напыление износостойких покрытий / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, П. В. Трегубчак // В мире научных открытий. – 2010. – № 2-3. – С. 100-102.
7. Чёсов Ю. С. Технологическое обеспечение качества плазменных покрытий / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, П. В. Трегубчак // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 1 – С. 10-13.
8. Веселов С. В. Особенности микроструктуры износостойких плазменных покрытий / С. В. Веселов, Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, П. В. Трегубчак, В. С. Ложкин, В. В. Базаркина // Обработка металлов. (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 4. – С. 35-37.
9. Skeebe V. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents / V. Skeebe, V. Pushnin, D. Kornev // Applied Mechanics and Materials: Actual Problems and Decisions in Machine Building. – 2015. – Vol. 788 – P. 88-94.
10. Зверев Е. А. Оценка работоспособности износостойких плазменных покрытий после высокотемпературного воздействия токами высокой частоты / Е. А. Зверев, В. Ю. Скиба, П. В. Трегубчак, Н. В. Вахрушев, К. А. Парц, А. К. Жигулев // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 65-70.
11. Скиба В. Ю. Моделирование процесса индукционного нагрева плазменно-напыленных износостойких покрытий / В. Ю. Скиба, Е. А. Зверев, Н. В. Вахрушев, А. К. Гаврилов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6-2(48) – С. 130-134.
12. Иванцовский В. В. Образование жидкой фазы в поверхностном слое стальных деталей в условиях закалки высокоэнергетическим нагревом токами высокой частоты / В. В. Иванцовский, И. А. Батаев, Т. Г. Мартынова, Н. В. Вахрушев, Г. О. Ча // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты) – 2016. – № 3(72). – С. 41-51.
13. Зверев Е. А. Структурные особенности износостойких плазменных покрытий после воздействия токами высокой частоты / Ю. С. Чёсов, Д. Ю. Зарубин, Е. А. Зверев, В. Ю. Скиба, П. В. Трегубчак // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 347-353.
14. Чёсов Ю. С. Качество износостойких плазменных покрытий после индукционного нагрева / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев // В мире научных открытий. – 2015. – № 2 (62). – С. 248-266.
15. Скиба В. Ю. Математическое моделирование высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты при оплавлении плазменного покрытия / В. Ю. Скиба, А. С. Кузнецов, П. Ю. Скиба // Механики XXI века. – 2016. – № 15. – С. 182-189.
16. Иванцовский В. В. Исследование химического состава плазменных покрытий из никель-керамической порошковой смеси / В. В. Иванцовский, Е. А. Зверев, Н. В. Вахрушев, А. Н. Бредихина // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 35-39.
17. Иванцовский В. В. Исследование адгезионной прочности плазменных металлокерамических износостойких покрытий / В. В. Иванцовский, Е. А. Зверев, Н. В. Вахрушев, И. В. Бандюров // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 77-81.
18. Чёсов Ю. С. Исследование структуры износостойких плазменных покрытий из механических смесей / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, Н. В. Вахрушев // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 2(80). – С. 96-105.
19. Чёсов Ю. С. Структура износостойких плазменных покрытий из никель-керамической смеси / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, Н. В. Плотнокова, Н. В. Вахрушев, А. С. Ваганов, И. В. Бандюров // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 405-409.
20. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления / А. Ф. Пузряков. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 357 с.
21. Барвинок В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий / В. А. Барвинок. – М.: Маш., 1990. – 384 с.
22. Чёсов Ю. С. Эксплуатационные свойства плазменных покрытий из износостойкого порошкового материала марки ПГ-С27 / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, А. В. Плохов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 2(47). – С. 8-12.
23. Чёсов Ю. С. Исследование процессов предварительной механической обработки под напыление газотермических покрытий / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, П. В. Трегубчак, Н. В. Вахрушев // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2014. – № 1 – С. 90-95.
24. Зверев Е. А. Определение режимов финишного шлифования при обработке износостойких плазменных покрытий / Е. А. Зверев, В. Ю. Скиба, Н. В. Вахрушев, А. Н. Бредихина // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2016. – Т. 2. – С. 36-39.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fauchais P. L. Thermal Spray Fundamentals / P. L. Fauchais, J. V. R. Heberlein, M. I. Boulos // New York, Springer US Publ. – 2014. – 1566 p.
2. Skeebe V. Yu. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating source / V. Yu. Skeebe, V. V. Ivancivsky, N. V. Martyushev, D. V. Lobanov, N. V. Vakhrushev, A. K. Zhigulev // Key Engineering Materials. – 2016. – T. 712. – P. 105-111.
3. Pushnin V. N. Obespechenie kachestva poverhnostnogo sloja pri almaznom vyglazhivanii v usloviyah integrirovannoj obrabotki [Providing high surface-layer quality in diamond smoothing under integrated processing] / V. N. Pushnin, N. V. Vakhrushev, P. V. Tregubchak, D. Yu. Kornev, V. Yu. Skeebe // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. – 2015. – N 2. – P. 169-176. [in Russian]
4. Tregubchak P. V. Razrabotka tehnologicheskoy ustanovki dlja plazmenno-mehanicheskoy obrabotki [Development of technological equipment for plasma-mechanical treatment] / P. V. Tregubchak, D. Yu. Kornev, V. N. Pushnin, V. Yu. Skeebe // Mehaniki XXI veku [Mechanical engineers to XXI century]. – 2015. – N 14. – P. 135-141. [in Russian]
5. Skeebe V. Y. Integrated quality ensuring technique of plasma wear resistant coatings / V. Y. Skeebe, E. A. Zverev, N. V. Martyushev, P. Y. Skeebe // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 736. – P. 132-137.
6. Chesov Y. S. Plazmennoe napylenie iznosostojkih pokrytij [Plasma spraying of wear-resistant coatings] / Y. S. Chesov, E. A. Zverev, P. V. Tregubchak // V mire nauchnyh otkrytij [In the World of Scientific Discoveries]. – 2010. – N 2-3. – P. 100-102. [in Russian]
7. Chesov Y. S. Tehnologicheskoe obespechenie kachestva plazmennyyh pokrytij [Technological assurance of quality of plasma coatings] / Y. S. Chesov, E. A. Zverev, P. V. Tregubchak // Obrabotka metallov (tehnologija, oborudovanie, instrumenty) [Metal working and material science]. – 2012. – N 1 – P. 10-13. [in Russian]
8. Veselov S. V. Osobennosti mikrostruktury iznosostojkih plazmennyyh pokrytij [Features of a microstructure of wear-resistant plasma coatings] / S. V. Veselov, Y. S. Chesov, E. A. Zverev, P. V. Tregubchak, V. S. Lozhkin, V. V. Bazarkina // Obrabotka metallov (tehnologija, oborudovanie, instrumenty) [Metal working and material science]. – 2010. – N 4. – P. 35-37. [in Russian]
9. Skeebe V. Quality improvement of wear-resistant coatings in plasma spraying integrated with high-energy heating by high frequency currents / V. Skeebe, V. Pushnin, D. Kornev // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788 – P. 88-94.
10. Zverev E. A. Ocenka rabotosposobnosti iznosostojkih plazmennyyh pokrytij posle vysokotemperaturnogo vozdejstviya tokami vysokoj chastoty [Operability assessment of wear-resistant plasma coatings after the high-temperature influence by high-frequency currents] / E. A. Zverev, V. Yu. Skeebe, P. V. Tregubchak, N. V. Vakhrushev, K. A. Parts, A. K. Zhigulev // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. – 2016. – N 3. – P. 65-70. [in Russian]
11. Skeebe V. Yu. Modelirovanie processa indukcionnogo nagreva plazmenno-napylenyyh iznosostojkih pokrytij [Simulation of the induction heating process of wear-resistant plasma coatings] / V. Yu. Skeebe, E. A. Zverev, N. V. Vakhrushev, A. K. Gavrilov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2016. – N 6-2(48) – P. 130-134. [in Russian]
12. Ivancivsky V. V. Obrazovanie zhidkoj fazy v poverhnostnom sloe stal'nyh detalej v usloviyah zakalki vysokojenergeticheskim nagrevom tokami vysokoj chastoty [The formation of the liquid phase in the surface layer of steel components in the high-energy heat hardening by high frequency currents] / V. V. Ivancivsky, I. A. Bataev, T. G. Martynova, N. V. Vakhrushev, G. O. Cha // Obrabotka metallov (tehnologija, oborudovanie, instrumenty) [Metal working and material science]. – 2016. – N 3(72). – P. 41-51. [in Russian]
13. Zverev E. A. Strukturnye osobennosti iznosostojkih plazmennyyh pokrytij posle vozdejstviya tokami vysokoj chastoty [Structural features of wear-resistant plasma coatings after high frequency current action] / Y. S. Chesov, D. Yu. Zarubin, E. A. Zverev, V. Yu. Skeebe, P. V. Tregubchak // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. – 2015. – N 2. – P. 347-353. [in Russian]
14. Chesov Y. S. Kachestvo iznosostojkih plazmennyyh pokrytij posle indukcionnogo nagreva [Quality of wear resistant plasma coatings after induction heating] / Y. S. Chesov, E. A. Zverev // V mire nauchnyh otkrytij [In the World of Scientific Discoveries]. – 2015. – N 2(62). – P. 248-266. [in Russian]
15. Skeebe V. Yu. Matematicheskoe modelirovanie vysoko-jenergeticheskogo nagreva tokami vysokoj chastoty pri oplavlenii plazmennogo pokrytija [Mathematical simulation of high-energy heating by high-frequency currents at melting plasma coating] / V. Yu. Skeebe, A. S. Kuznetsov, P. Yu. Skeebe // Mehaniki XXI veku [Mechanical engineers to XXI century]. – 2016. – N 15. – P. 182-189. [in Russian]
16. Ivancivsky V. V. Issledovanie himicheskogo sostava plazmennyyh pokrytij iz nikel'-keramicheskoy poroshkovojsmesi [Chemical composition research of plasma coatings of nickel-ceramic powder mixture] / V. V. Ivancivsky, E. A. Zverev, N. V. Vakhrushev, A. N. Bredikhina // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. – 2017. – Vol. 4, N 2. – P. 35-39. [in Russian]
17. Ivancivsky V. V. Issledovanie adgezionnoj prochnosti plazmennyyh metallokeramicheskikh iznosostojkih pokrytij [Adhesion strength research of wear-resistant ceramic-metal plasma coatings] / V. V. Ivancivsky, E. A. Zverev, N. V. Vakhrushev, I. V. Bandyurov // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. – 2016. – N 3. – P. 77-81. [in Russian]
18. Chesov Y. S. Issledovanie struktury iznosostojkih plazmennyyh pokrytij iz mehanicheskikh smesej [Investigation of the structure of wear-resistant plasma coatings of mechanical mixtures] / Y. S. Chesov, E. A. Zverev, N. V. Vakhrushev // Sbornik nauchnyh trudov NGTU [Sbornik nauchnyh trudov NGTU]. – 2015. – N 2(80). – P. 96-105. [in Russian]
19. Chesov Y. S. Struktura iznosostojkih plazmennyyh pokrytij iz nikel'-keramicheskoy smesi [The structure of wear-resistant plasma coatings based on the nickel-ceramic mixture] / Y. S. Chesov, E. A. Zverev, N. V. Plotnikova, N. V. Vakhrushev, A. S. Vaganov, I. V. Bandyurov // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. – 2015. – N 2. – P. 405-409. [in Russian]

20. Puzryakov A. F. Teoreticheskie osnovy tehnologii plazmennogo napylenija [Theoretical foundations of the plasma deposition technology] / A. F. Puzryakov. – М.: MGTU im. N. Je. Bauman, 2008. – 357 p. [in Russian]
21. Barvinok V. A. Upravlenie naprjazhennym sostojaniem i svojstva plazmennyyh pokrytij [Stress state control and properties of plasma coatings] / V. A. Barvinok. – М.: Mash., 1990. – 384 p. [in Russian]
22. Chesov Y. S. Jekspluatacionnye svojstva plazmennyyh pokrytij iz iznosostojkogo poroshkovogo materiala marki PG-S27 [Operational properties of plasma coatings from a wear proof powder PG-S27] / Y. S. Chesov, E. A. Zverev, A. V. Plokhov // Obrabotka metallov (tehnologija, oborudovanie, instrumenty) [Metal working and material science]. – 2010. – N 2(47). – P. 8-12. [in Russian]
23. Chesov Y. S. Issledovanie processov predvaritel'noj mehanicheskoy obrabotki pod napylenie gazotermicheskikh pokrytij [Research of mechanical preprocessing necessary for spraying of gas-thermal coatings] / Y. S. Chesov, E. A. Zverev, P. V. Tregubchak, N. V. Vakhrushev // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. – 2014. – N 1 – P. 90-95. [in Russian]
24. Zverev E. A. Opreделение rezhimov finishnogo shlifovanija pri obrabotke iznosostojkikh plazmennyyh pokrytij [Determination of grinding conditions in the processing of wear-resistant plasma coatings] / E. A. Zverev, V. Yu. Skeebe, N. V. Vakhrushev, A. N. Bredikhina // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i inzhenernye nauki [Proceedings of Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences]. – 2016. – Vol. 2. – P. 36-39. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.056>

Зюзин Р.Г.¹, Розалиев В.Л.², Драгунов С.Е.³, Тюков А.П.⁴

¹ORCID: 0000-0003-4050-4003, Магистрант, Волгоградский государственный технический университет

²ORCID: 0000-0002-7372-8364, Кандидат технических наук, доцент,
Волгоградский государственный технический университет

³ORCID: 0000-0002-8716-8476, Магистрант, Волгоградский государственный технический университет

⁴ORCID: 0000-0003-4264-6339, Кандидат технических наук, доцент,
Волгоградский государственный технический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ВЕБ-АНАЛИТИКИ

Аннотация

Актуальность работы подтверждается современными трендами развития информационных технологий, развития интернет-инфраструктуры. Современные интернет-технологии позволяют создать онлайн-платформы нового поколения, базирующихся на принципах клиентоориентированности, интерактивности и инновационных компьютерных технологиях. Целью данной работы является создание методики управления развитием онлайн-платформы для того, чтобы получать четкие представления о посетителях сайта, аттрактивности и эргономичности структуры и содержания сайта.

Ключевые слова: веб-ресурсы, веб-аналитика, онлайн-платформы, Google Analytics, Яндекс.Метрика.

Ziuzin R.G.¹, Rozaliev V.L.², Dragunov S.E.³, Tiukov A.P.⁴

¹ORCID: 0000-0003-4050-4003, Graduate Student, Volgograd State Technical University,

²ORCID: 0000-0002-7372-8364, PhD in Engineering, Associate Professor, Volgograd State Technical University,

³ORCID: 0000-0002-8716-8476, Graduate Student, Volgograd State Technical University,

⁴ORCID: 0000-0003-4264-6339, PhD in Engineering, Associate Professor, Volgograd State Technical University

PERSPECTIVES OF ONLINE-PLATFORMS DEVELOPMENT WITH THE HELP OF WEB-ANALYTIC SYSTEMS

Abstract

The paper's theme is topical which is confirmed by modern trends in the development of information technology and the development of Internet infrastructure. Modern Internet technologies enable the creation of online platforms of a new generation, based on the principles of client-oriented, interactive and innovative computer technologies. The purpose of this work is to establish a methodology for managing the development of online platforms in order to obtain clear ideas about the visitors of the site, attractiveness and ergonomics of the structure and content of the site.

Keywords: web resources, web analytics, online platforms, Google analytics, Yandex.Metrics.

В настоящее время Интернет является ведущей составляющей нашей жизни. Он - это и средство общения, и источник новостей, и доступ к нужной информации за считанные минуты, а также и многое другое.

Стремительное развитие интернета обусловило создание нового, качественно расширенного, программного обеспечения веб-ресурсов, которое направлено на расширение и оптимизацию их функциональных возможностей, с помощью которых можно оптимизировать структуру и содержание сайтов, оценивать экономическую эффективность рекламных кампаний в интернете и проводить мониторинг посещаемости сайтов.

Занимается решением данных проблем целое, не так давно возникшее, направление интернет-маркетинга – веб-аналитика. Веб-аналитика - это измерение, анализ, сбор, а также представление и интерпретацию о посетителях веб-сайтов с целью их улучшения и оптимизации. Область применения - расширение функциональной возможности сайтов, оценка эффективности рекламных кампаний в интернете и измерение активности пользователей. [1, С.2]

Веб-аналитика – молодая отрасль интернет-маркетинга, но в ней сформировался свой аппарат методологий. И он включает:

- анализируется поведение на странице самого пользователя;
- количество посещаемости сайта;

- usability;
- бенчмаркинг.

Анализ посещаемости – один из ведущих методов веб-анализа. Позволяет при помощи уникальных программ (счетчиков) установить показатели посещаемости сайта (как абсолютные, так и относительные), а также вести и анализировать статистику.

Юзабилити – второй по частоте компонент веб-анализа. Он исследует конверсионные пути посетителя по сайту. Этот термин является синонимом «эргономичности», но разница есть. Юзабилити определяет только нематериальные качества услуг (это степень удобства пользования и понятности клиенту). Юзабилити может повысить конверсию сайта в десять и более раз, наряду с лучшим его продвижением.

Главным приоритетом веб-анализа можно считать оценку и анализ поведения посетителей. Одной из проблем является не личный контакт с клиентом, что затрудняет взаимодействие с ним и выявление его главных потребностей. Но данная проблема решаема. Для этого используют инструментальный веб-аналитики, который позволяет подробно изучить поведение клиента, давая, таким образом, максимально возможные детали его работы с сайтом, включая их визуализацию (нажатия клавиш, движения мыши, скроллинга и другое). И создаются таким образом на каждой странице сайта карты активности посетителей.

Важным моментом является сравнительный анализ сайтов с мировыми тенденциями и бенчмаркинг. Бенчмаркинг, представленный такими компаниями, как Alexa, GemiusAudience и GoogleTrends, представляет собой сравнение с конкурентами из мировых и региональных рынков услуг. [2, С. 5]

Реализация на практику производится посредством установки специальных счетчиков и лог - анализаторов.

Счетчики – это внешние программы. Их главная задача – это статистика посещаемости отдельно взятой страницы сайта каждым пользователем. Они имеют свои преимущества. Это получение быстрой наглядной информации, а также простота и удобство в использовании. Но присущи и недостатки. Они снижают эффективность счетчиков (при технических сбоях – высокий риск потери данных, необходимость стороннего программного кода и т.д.). Представителями таких счетчиков можно считать LiveInternet, OpenStat, Hot Log и др.

Лог – анализатор – один из совершенных инструментов, который имеет расширенный функционал. Он отслеживает хакерские атаки, ошибки работы сервиса, а также может детализировать информацию о посещаемости сайта, закладках, скачиваемому контенту. К таким анализаторам относят WebTrends, Webalizer, AWStats. [3, С.10]

Нашей главной идеей является создание методики управления развитием онлайн-платформы, с помощью которой можно будет целенаправленно «развивать интернет-продукт». В качестве примера, на котором это будет апробироваться, можно представить игрофицированные тренажеры современных методов поиска и принятия решений. Таким тренажером может являться сайт с онлайн-тестами. Данные можно получать с помощью разных продуктов (Яндекс.Метрика, Google Analytics и др.).

Продукты, предоставляющие данные о действиях пользователей на сайте, хороши для маркетинговой составляющей, а, например, для сайта с развивающими онлайн-тестами они не предоставляют более детальной информации о возникших сложностях посетителей и непосредственно о течении самого процесса обучения. В связи с этим пользователи могут реже посещать данный сайт, что не скажется наилучшим образом для развития онлайн-платформы.

Поэтому данный проект призван предложить спроектировать программный модуль, который позволит получать информацию о каждом взаимодействии пользователя с платформой в более полном объеме.

Основным этапом работы веб-аналитика является сбор данных. Необходимо четко определять, какой массив данных подходит в каждом конкретном случае.

В рамках данного проекта для анализа были взяты несколько показателей:

- удобство для потребителей (карта ссылок, оценка конверсий и другое);
- ключевые запросы (список источников, откуда пришли потребители и другое);
- основная информация о странице (длительность, время на ответ если это тесты, правильность ответов и другое);
- информация о клиентах сайта (уникальные посетители, географическая принадлежность клиентов, ее структура и состав).

Важная особенность – предоставление сведений о посещаемости сайта на текущий момент времени. Наличие в системе инструмента «Конструктор отчетов» дает возможность детализировать информацию о посещаемости. Также возможна такая особенность, как сортировка посетителей сайта по различным параметрам (пол, возраст, географическое местоположение и другое).

Возможно также не только оценивать посещаемость сайта в целом, но и получить данные о страницах с наибольшей и наименьшей популярностью среди потребителей. К тому же, имеется такая особенность, как способность измерять конверсию сайта и рекламы, размещенной на нем. Это необходимо, чтобы достичь определенной цели - выявить информацию об эффективности продвижения и популярности сайта. [4, С.7]

В целом можно сказать, что данная методика попытается совместить в себе преимущества Google Analytics и Яндекс.Метрики, исключая негативные моменты.

Google Analytics и Яндекс.Метрика являются самыми популярными системами анализа и составления статистики посещаемости сайтов. Если говорить в целом, то функциональные возможности данных систем практически одинаковы.

«Яндекс.Метрика» имеет JS-код, который устанавливает веб-мастер на сайте для того, чтобы была возможность собирать данные о посещаемости.

Сервис интегрирован с Google AdWords. Главное отличие в том, что веб-мастер может оптимизировать маркетинговые кампании Google AdWords при помощи анализа данных, полученных при помощи сервиса Google Analytics. Этот сервис показывает источники, из которых прибыли потребители, длительность их пребывания на сайте

и географическое расположение. Также доступны дополнительные возможности включая разделение посетителей на группы.

Основные различия:

Яндекс.Метрика:

- каждые пять минут обновление данных;
- sms-доставка отчетов при технических неполадках;
- универсальный, понятный интерфейс без лишних деталей;

- имеется карта кликов, с помощью которой можно узнать, какие элементы наиболее или наименее привлекательны для посетителей.

Google Analytics:

- множество различных режимов и фильтров;
- возможность расширенной работы с многоканальными последовательностями и социальными сетями;
- сложный интерфейс для новичка.

Таким образом, сервисы веб-аналитики позволяют проанализировать социально-демографическую характеристику, а также поведение потребителей, осуществлять конверсию сайта. Ключевой инструмент - стандартные и персонализированные отчеты. Они позволяют проводить детальный анализ поведения потребителей на сайте с детализацией каждого визита и поискового запросов. Система фильтров сводок и отчетов позволяет сегментировать посетителей по различным показателям и их сочетаниям.

Список литературы / References

1. Олевинский М.А. Веб-аналитика. Сравнение систем веб-аналитики // In situ. – 2015. – № 4. – С.2–3.
2. Савельева И.П., Никулин Д.Н. Оценка эффективности интернет-рекламы с помощью систем веб-аналитики // Вестник Южно-Уральского государственного университета: Экономика и менеджмент. 2014. № 3(8). С. 5–6.
3. Шурчкова Ю.В. Основные аспекты формирования стратегии маркетинговых коммуникаций в интернет-среде [Электронный ресурс] / Ю.В. Шурчкова // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – № 5(30). – С.10–11. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/204EVN515.pdf> (дата обращения: 18.04.2017).
4. Шурчкова Ю.В. Стратегия интеллектуального лидерства при осуществлении маркетинговых коммуникаций в сети интернет. // Креативная экономика. 2011. № 11. С.5–6.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Olevinskiy M.A. Veb-analitika. Sravneniye sistem veb-analitiki [Web analytics. Comparison of web analytics systems] // In situ. – 2015. – №4. – P.2-3. [in Russian]
2. Savel'yeva I.P., Nikulin D.N. Otsenka effektivnosti internet-reklamy s pomoshch'yu sistem veb-analitiki [Evaluating the effectiveness of online advertising through web analytics] // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta: Ekonomika i menedzhment [Bulletin of the South Ural State University: Economics and Management]. – 2014. – № 3 (8). – P. 5-6. [in Russian]
3. Shurchkova YU.V. Osnovnyye aspekty formirovaniya marketingovykh kommunikatsiy v internet-srede [The main aspects of forming the strategy of marketing communications in the Internet environment] / YU.V. Shurchkova // Internet-zhurnal Naukovedeniye [Internet Journal of Science]. – 2015. – № 5 (30). – P.10-11. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/204EVN515.pdf> (accessed: 18.04.2017). [in Russian]
4. Shurchkova YU.V. Strategiya intellektual'nogo liderstva pri osushchestvlenii marketingovykh kommunikatsiy v seti internet [The strategy of intellectual leadership in the implementation of marketing communications in the Internet]. // Kreativnaya ekonomika [Creative Economy]. – 2011. – № 11. – P.5-6.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.093>Каюмова Р.Ф.¹, Будеева О.Н.²¹ORCID: 0000-0001-9028-223X, Кандидат технических наук, доцент,

Уфимский государственный нефтяной технический университет

²ORCID: 0000-0002-4447-9274, Кандидат исторических наук,

Уфимский государственный нефтяной технический университет

АНАЛИЗ КОМФОРТНОСТИ И УДОБСТВА СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ НЕФТЯНИКОВ**Аннотация**

Приведены результаты исследований основных показателей комфортности и удобства специальной одежды для нефтяников. Анализ проведённого опроса работников нефтяной отрасли Республики Башкортостан выявил неудовлетворённость самочувствием части опрошенных в процессе выполнения ими основных рабочих движений в течение рабочего времени. Оценивались комплекты специальной одежды для различных профессий. Результаты исследований позволили обосновать необходимость работы по совершенствованию конструкции и технологии специальной одежды с применением высокотехнологичных датчиков для оценки температуры и влажности в пространстве под одеждой.

Ключевые слова: специальная одежда для нефтяников, производство специальной одежды, комфортность специальной одежды, температура и влажность под одеждой, экологический подход к проектированию специальной одежды.

Kayumova R.F.¹, Budeeva O.N.²¹ORCID: 0000-0001-9028-223X,

PhD in Engineering, Associate Professor,

Ufa State Petroleum Technological University

²ORCID: 0000-0002-4447-9274,

PhD in History,

Ufa State Petroleum Technological University

ANALYSIS OF CONVENIENCE AND COMFORT OF SPECIAL CLOTHES FOR OIL-INDUSTRY WORKERS**Abstract**

The results of research on the basic parameters of comfort and convenience of special clothes for oil-industry workers are given in the paper. The survey conducted among the oil-industry workers of the Republic of Bashkortostan revealed the dissatisfaction with the state of health of some respondents during the performance of their basic workers' moves during working time. The sets of special clothes for various professions were evaluated, and the results of the research enabled to justify the need to improve the design and technology of special clothing using high-tech sensors to assess the temperature and humidity in the space under the clothes.

Keywords: special clothes for oil workers, production of special clothes, comfort of special clothes, temperature and humidity under clothes, ecological approach to special clothes designing.

Нефтяник – очень широкое понятие, оно включает в себя целый ряд профессий, от рабочего на нефтепромысле или нефтеперерабатывающем заводе до менеджера глобальной корпорации. В настоящее время в нефтегазовой отрасли насчитывают 6 областей деятельности, 26 видов трудовой деятельности и около 250 профессий [1].

Практически все работники нефтяной отрасли нуждаются в специальной одежде. Производство специальной одежды во всех странах является одним из наиболее устойчивых секторов швейной промышленности, в которую вкладываются материально-технические ресурсы. Анализ деятельности предприятий индустрии моды в республике Башкортостан с точки зрения современных стратегических подходов к управлению ассортиментом продукции показал следующее. Большинство предприятий швейной отрасли (85%) работает по гарантированным заказам государства, отдельных предприятий и учреждений на одежду специального назначения. Этот вид продукции обеспечивает быструю оборачиваемость вложенных средств и устойчивую прибыль [2, С. 77].

Приоритетными требованиями к специальной одежде являются комфортность и безопасность. Качество специальной одежды во многом определяет самочувствие и работоспособность человека [3, С. 7].

Ассортимент специальной одежды постоянно обновляется и расширяется, что во многом определяется появлением новых материалов, разработанных с использованием нанотехнологий. Важным условием является соответствие основных показателей гигиенических свойств нормативным. Потребительские, в частности, гигиенические свойства новых материалов изучены недостаточно, что приводит к снижению комфортности и ухудшению самочувствия работающих.

Это подтверждает и анализ проведённых авторами маркетинговых исследований оценки комфортности специальной одежды работниками нефтяной отрасли Республики Башкортостан. Были опрошены работники 7 профессий. Согласно проведённым исследованиям, 59% опрошенных работников нефтяной отрасли оценивая показатель комфортности, указывают, что «есть некоторые неудобства при эксплуатации». А 12,5% опрошенных работников указывают, что в специальной одежде им «неудобно и некомфортно». Причём больше всего претензий с точки зрения комфортности предъявляются к комплектам специальной одежды, эксплуатирующейся в условиях пониженных температур.

Основное назначение специальной одежды в условиях пониженных температур заключается в обеспечении нормального теплового баланса тела человека при усиленном потоотделении. В соответствии с нормативно-технической документацией [4, С.146] специальная одежда нефтяников различных специальностей для условий

пониженных температур представляет собой многослойное изделие с отсутствием естественной вентиляции. Данная ситуация усугубляется в костюмах для защиты от нефтепродуктов, где на основной материал нанесена специальная пропитка.

Отсутствие естественной вентиляции в утеплённой специальной одежде приводит к нарастанию температуры, относительной влажности и содержанию углекислоты в под одеждой пространстве, а это в свою очередь приводит к снижению комфортности. Свои тепло ощущения при эксплуатации утеплённой специальной одежды опрошенные работающие оценили как «жарко» (4%), «очень тепло» (8%), тепло (35%). При этом, для обеспечения нормального самочувствия при выполнении интенсивной работы работающий должен оценивать свои тепло ощущения как «комфортно» и «прохладно» [5, С. 137]. Кроме того, 22,5% респондентов отметили, что комплект специальной одежды для защиты от пониженных температур «слишком тяжёл», а 16% опрошенных отметили «усиленное потоотделение».

Согласно проведённым опросам, работающие в нефтяной отрасли проводят в специальной одежде без переодевания 6-7 часов (45% опрошенных), а 35% опрошенных проводят в одежде целые сутки. В такой ситуации специальная одежда является для человека «переносным микро жилищем», в котором он проводит большую часть своего времени.

Предварительный анализ характерных трудовых движений и поз работающих в нефтяной отрасли выявил их многообразие, что требует их систематизации в целях обоснования функциональной и конструктивной целесообразности моделей специальной одежды различного назначения. Согласно предварительному анализу среди характерных движений, выполняемых работающими в течение рабочего дня, преобладают следующие: «руки вперёд» (32%), «руки вверх» (19%), приседания (14%), наклон вперёд (11%) и «сидение на корточках» (6%).

Выборочный визуальный осмотр комплектов специальной одежды для нефтяников с выполнением ими характерных рабочих движений показал неудовлетворительную посадку изделий на фигуре.

Конструктивные недостатки приводят к неудобствам, возникающим при эксплуатации специальной одежды. Так, 51% опрошенных указывают, что комплект специальной одежды «затрудняет движения», 5% респондентов отмечают, что изделие «жмёт и тянет», и лишь 28% опрошенных уверены, что специальная одежда не вызывает никаких неудобств при эксплуатации.

Эргономическая оценка специальной одежды испытуемыми проводилась также с точки зрения рациональности отдельных конструктивных элементов. Было отмечено, что наибольшие неудобства при эксплуатации вызывали такие конструктивные элементы как застёжки брюк и комбинезона (35% опрошенных), бретели комбинезона (20% опрошенных) и карманы (16%). Отмечалась нехватка внутренних карманов и неудобство их расположения. Больше всего нареканий вызвал такой предмет специальной одежды как комбинезон. Комбинезон, как образец одежды закрытого типа, обеспечивает максимальную защиту от холода, но при этом ограничивает движения человека и вызывает значительные сложности при выполнении гигиенических и физиологических потребностей.

Для научно обоснованной оценки комфортности специальной одежды необходимо применение новейших компактных высокотехнологичных устройств (датчиков температуры и влажности в под одеждой пространстве). Также необходим периодический контроль давления одежды на тело человека при выполнении им основных рабочих движений в течение рабочего времени. Таким образом, необходима оценка динамического соответствия специальной одежды размерам тела испытуемых. Это в свою очередь требует оценки таких показателей как «степень ограничения движений человека» и «напряжённость участков одежды» [3, С. 16].

В настоящее время рынок высокотехнологичной «умной» одежды активно развивается. Известно применение электронных датчиков, считывающих основные параметры физического состояния человека, при изготовлении спортивной и бытовой одежды [6, С. 62]. Однако до сих пор рынок специальной одежды остаётся открытым для разработки экологического подхода к формированию комфортного микроклимата под одеждой.

Таким образом, проведённые авторами исследования комфортности и удобства специальной одежды для работников нефтяной отрасли Республики Башкортостан показали, что в ряде случаев имеет место ухудшение самочувствия и снижение комфортности человека в одежде. Также были отмечены некоторые конструктивные и технологические недостатки рассмотренных комплектов специальной одежды. Необходимо дальнейшее изучение, а также постоянный мониторинг основных гигиенических показателей микроклимата в под одеждой пространстве и эргономических показателей динамического соответствия одежды с использованием высокотехнологичных устройств и приспособлений. Это в свою очередь позволит разработать научно обоснованные рекомендации по совершенствованию конструкции и технологии изготовления специальной одежды для нефтяников с целью повышения её комфортности и удобства пользования.

Список литературы/ References

1. Перечень профессий нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] – URL: http://www.kazenergy.com/images/stories/Pravovaia_baza/perechen_professii/Perechen_professii_neftegazovoi_otrasli.pdf. (дата обращения 04.03.2017).
2. Каюмова Р. Ф. Формирование ассортиментной политики предприятий индустрии моды в Республике Башкортостан. / Р. Ф. Каюмова // Дизайн и технологии – 2011, - № 26 (68). – С. 75-80.
3. Куликов Б. П. Гигиена, комфортность и безопасность одежды: Учебное пособие / Б. П. Куликов, Н. А. Сахарова, Ю. А. Костин - Иваново: ИГТА, 2006.- 256 с.
4. Средства индивидуальной защиты: Справочник – каталог. Том 1: Одежда / С. А. Беляева, Л. А. Эглите, Т. Г. Сибилёва и др. – М.: Всероссийский центр охраны труда, 2002.- 364 с.
5. Делль Р. А. Гигиена одежды: Учебное пособие / Р. А. Делль, Р. Ф. Афанасьева, З. С. Чубарова.- М.: Легпромбытиздат, 1991.- 160 с.
6. Васильева Р. О. Экология и высокие технологии в формировании микроклимата одежды / Н. О. Васильева, Е. А. Нечушкина // Швейная промышленность - 2008. - № 3. - С. 60-65

Список литературы на английском языке / References in English

1. Perechen professiy neftegazovoy otrasli [The list of professions of the oil and gas industry] [Electronic resource] - URL: http://www.kazenergy.com/images/stories/Pravovaia_baza/perechen_professii/ Perechen_professii_neftegazovoi_otrasli.pdf (accessed 04.03.2017). [in Russian]
2. Kayumova, R. F. Formirovanie assortimentnoy politiki predpriyatiy industrii modyi v Respublike Bashkortostan [Formation of assortment policy of enterprises of fashion industry in the Republic of Bashkortostan]. / R. F. Kayumova // *Tehnologiya i dizayn* [Technology and design] – 2011. - № 26 (68). – P. 75-80. [in Russian]
3. Kulikov B. P. Gigiena, komfortnost i bezopasnost odezhdy : Uchebnoe posobie [Hygiene, comfort and safety of clothing: a Training manual] / B. P. Kulikov, N. Sakharov, Yu. A. Kostin. - Ivanovo: IGTA, 2006. - 256 p. [in Russian]
4. Sredstva individualnoy zashchity: Spravochnik – katalog. Tom 1: Odezhda [Personal protective equipment: Reference book – catalogue. Volume 1: Clothing] / S. A. Belyaeva, L. A. Eglite, T. G. Sibil'Yova and others - M.: Vserossiyskiy tsentr ohranyi truda [All-Russian center of the labour safety], 2002.- 364 p. [in Russian]
5. Dell R. A. Gigiena odezhdy: Uchebnoe posobie [Hygiene of clothing: A Training manual] / R. A. Dell, R. F. Afanaseva, Z. S. Chubarova.- M.: Legprombyitizdat, 1991.- 160 p. [in Russian]
6. Vasileva R. O. Ekologiya i vyisokie tehnologii v formirovani mikroklimate odezhdy [Ecology and high technology in the formation of the microclimate of clothing] / N. O. Vasileva, E. A. Nechushkina // *Shveytnaya promyshlennost* [The garment industry] - 2008. - № 3. - P. 60-65. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.058>Клебанов Я.М.¹, Симakov А.И.², Солдусова Е.А.³¹ORCID:0000-0003-3638-4328, Доктор технических наук, заведующий кафедрой механики, Самарский государственный технический университет,²ORCID:0000-0001-8830-0478, Аспирант кафедры механики, Самарский государственный технический университет,³ORCID:0000-0002-1621-5159, Кандидат технических наук, доцент кафедры механики, Самарский государственный технический университет*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Самарской области, Проект № 16-41-630542***ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРЕЦИЗИОННОГО ПОВОРОТНОГО СТОЛА НА ПОГРЕШНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК****Аннотация**

Рассматривается статическая задача определения искажения формы стола (деформации) влияющие на точность данного стола. Исследуется случай, когда на стол действуют нагрузки от веса заготовки и силы возникающие при обработке заготовки. Выполняется численный анализ напряженно-деформированного состояния стола при различных положениях корпуса стола. Определяется положение корпуса стола с максимальными искажениями формы. Все расчеты выполняются в пакете конечно-элементного моделирования CAE ANSYS.

Ключевые слова: упругие деформации, погрешность, прецизионный стол, конечно элементная модель стола.

Klebanov Y.M.¹, Simakov A.I.², Soldusova E.A.³¹ ORCID: 0000-0003-3638-4328, PhD in Engineering, Head of the Mechanics Department, Samara State Technical University,² ORCID: 0000-0001-8830-0478, Postgraduate Student of the Mechanics Department, Samara State Technical University,³ORCID: 0000-0002-1621-5159, PhD in Engineering, Associate Professor of the Mechanics Department, Samara State Technical University*The work was carried out with the partial financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Samara Region, Project No. 16-41-630542***INFLUENCE OF ELASTIC DEFORMATIONS OF MICROMETRIC TURN-OFF TABLE ON THE ERROR OF BLANK PARTS POSITIONING****Abstract**

The paper considers the static problem of determining the distortion of the table shape (deformation) affecting its accuracy. It studies the case when the load on the weight of the work-piece and the forces arising during the machining of the work-piece are void on the table. Numerical analysis of the stress-strain state of the table is performed at different positions of the table body. The position of the table body with the maximum distortion of the shape is determined. All calculations are performed in the CAE ANSYS finite element model.

Keywords: elastic deformations, error, micrometric table, of course, finite-element model table.

Повышение точности механической обработки является одним из основных направлений развития машиностроения. Важное место в решении этой проблемы занимает задача обеспечения стабильности точностных характеристик непосредственно в процессе обработки и, в частности, задача минимизации упругих деформаций элементов станка, обрабатываемого изделия и приспособления, возникающих под действием переменных сил резания, веса деталей и элементов оборудования, температурных полей и других факторов. Наряду с другими причинами снижения точности механической обработки: износом инструмента и элементов технологического оборудования, возникающими при обработке погрешностями базирования указанные упругие деформации могут вносить существенные погрешности в изготавливаемую деталь.

Упругие деформации, которые возникают от действия внешних сил, сил резания, изменения относительного положения узлов, усилий зажимных устройств и других нагрузок, имеют размерность от долей микрометра до тысяч микрометров, как, например, в случае ползунов токарно-карусельных станков. Возникающие при механической обработке неоднородные нестационарные температурные поля являются причиной появления термо-упругих деформаций, существенно влияющих на точность обработки, например, на точность прецизионной обработки на координатно-расточных станках.

Для снижения вызываемой перечисленными факторами неточности обработки проводят усовершенствование конструкции станка: увеличение жесткости деталей, использование рациональных схем нагружения, введение дополнительных опор и т.д. [1]. Другим методом является адаптация несущих систем станков к существующим условиям функционирования за счет управления их перемещениями [2,3]. Современной основой для реализации указанных подходов является детальный анализ напряженно-деформированного состояния конструкции с использованием метода конечных элементов, который стал эталонным методом проектирования технологического оборудования [4-17].

В данной статье методом конечного элемента выполняется анализ напряженно-деформированного состояния прецизионного универсального поворотного стола СУ50, который используется при работе на координатно-расточных и координатно-шлифовальных станках в операциях расточки, сверления, чистового фрезерования высокоточных деталей двигателей авиационных и космических аппаратов. Деформации стола приводят к погрешности базирования заготовок, снижая тем самым точность обработки. С помощью программы CAE ANSYS рассчитываются перемещения, возникающие в прецизионном столе при различных положениях опорной поверхности стола.

Конструкция прецизионного стола СУ-50, использованная для загрузки в пакет ANSYS, приводится на рисунке 1. Она состоит из массивной станины 1, которая является опорой всей конструкции, и корпуса 2, который крепится к станине через проушины 7 и 8. В проушине 8 расположен механизм поворота корпуса и планшайбы 3 относительно горизонтальной оси. Он включает цангу 9, позволяющую зафиксировать корпус после изменения положения, и зубчатое колесо 10, при помощи которого изменяется угол положения корпуса. Внутри корпуса находится механизм поворота планшайбы относительно ее центральной оси, который состоит из крышки 4, к которой крепится планшайба, подшипника 5 и зубчатого колеса 6. Через все эти элементы нагрузка с планшайбы передается на корпус.

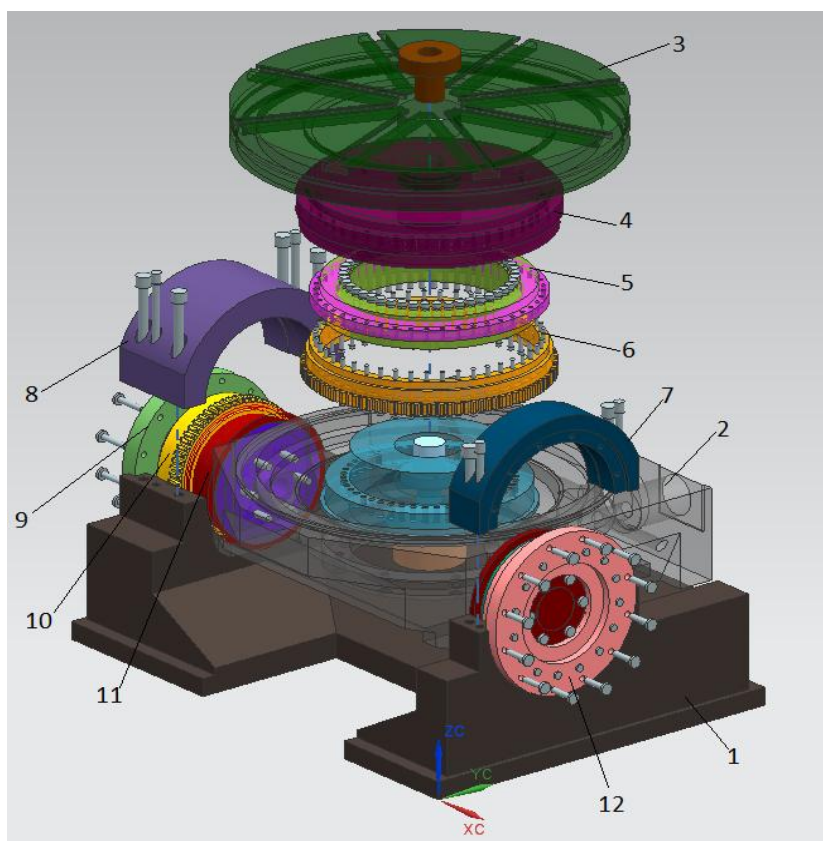


Рис. 1 – Конструкция прецизионного стола СУ-50

Модель стола аппроксимируется регулярной сеткой, состоящей из четырехугольных призматических конечных элементов и из тетраэдральных и пирамидальных конечных элементов. Конечно-элементная модель, общий вид которой приводится на рисунке 2, состоит из 5998 узлов и 123245 элементов. Станина, корпус и планшайба прецизионного стола выполнены из материала СЧ20, для которого задавали модуль упругости 100 МПа, коэффициент Пуассона 0,25 и плотность 7100 кг/м³. Остальные детали выполнены из конструкционной стали, для которой принимали модуль упругости 210 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3 и плотность 7850 кг/м³.

При изготовлении прецизионного поворотного стола доводкой контактных поверхностей обеспечивается 1-2 класс точности и 11 класс чистоты поверхности, среднее арифметическое отклонение профиля поверхностей не выше

0,1 мкм. Поэтому учет соответствующих контактных деформаций [18] не представляет практического интереса и принимается, что поверхности деталей имеют идеальную геометрию, контакт поверхностей двух деталей происходит по всей их плоскости. Фаски и скругления малого радиуса в модель не переносятся.

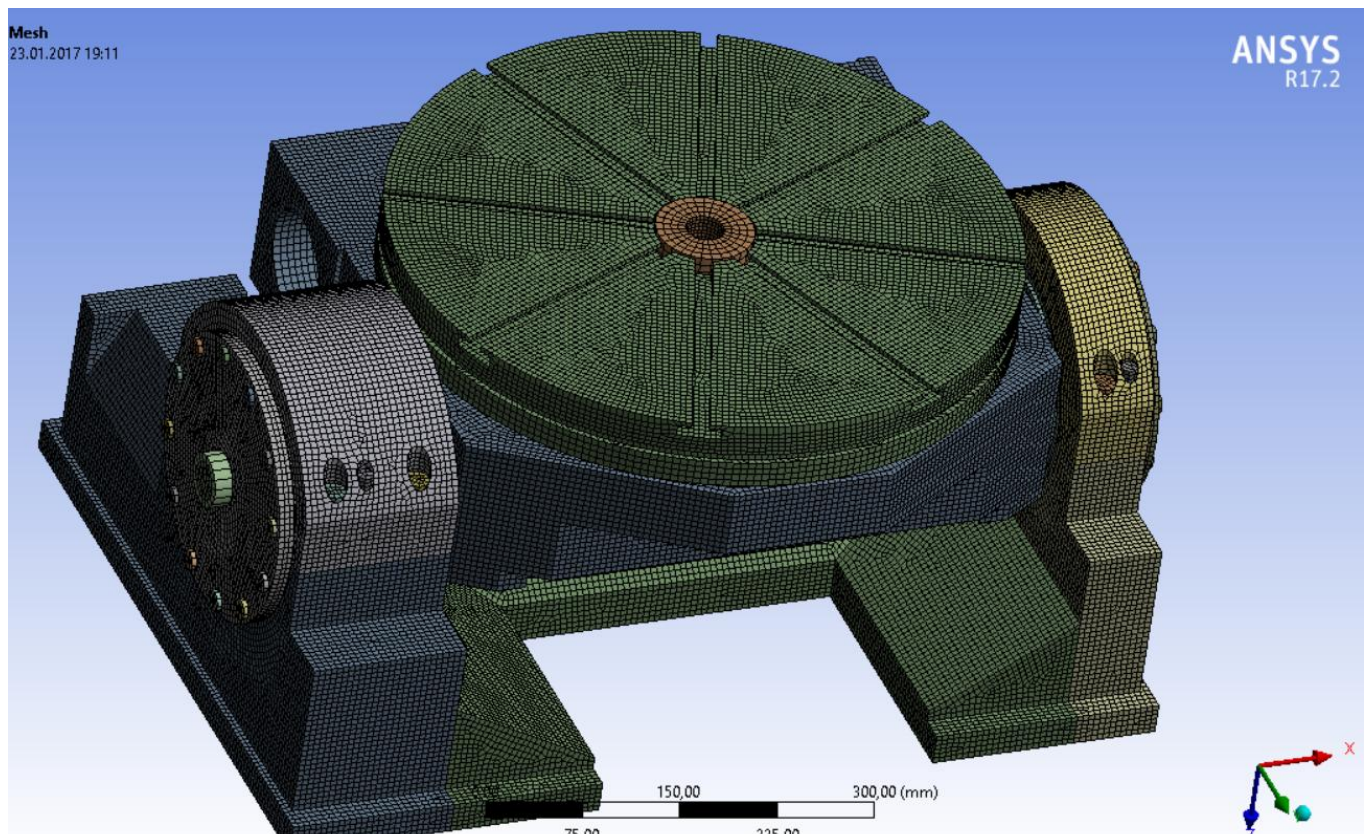


Рис. 2 – Конечно элементная модель стола СУ-50

Фиксация основания стола осуществляется ограничениями перемещений узлов по нижней плоскости. На прецизионный стол действуют вес заготовки, усилие обработки заготовки, а также вес самого стола. В соответствии с техническими характеристиками стола принимались следующие величины: максимальная масса заготовки, которую можно обрабатывать на данном столе 100 кг и максимальное усилие сверления заготовки 1500 Н. В зависимости от применяемого способа крепления заготовки, нагрузки могут по-разному передаваться на поверхность планшайбы. Моделировались следующие варианты задания нагрузки на поверхность планшайбы:

1. Однородное давление;
2. Давление, линейно увеличивающееся в направлении, перпендикулярном оси поворота корпуса, от задней точки планшайбы по треугольному закону;
3. Равномерно распределенная вертикальная нагрузка.

Рассматривались следующие углы наклона планшайбы к горизонтальной поверхности: $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$. В качестве примера на рисунке 3 показано поле вертикальных перемещений стола для первого варианта задания нагрузок и горизонтального положения планшайбы. Как видно из рисунка, в этом случае вертикальное смещение планшайбы определяется консольным расположением корпуса и достигает 4,3 мкм.

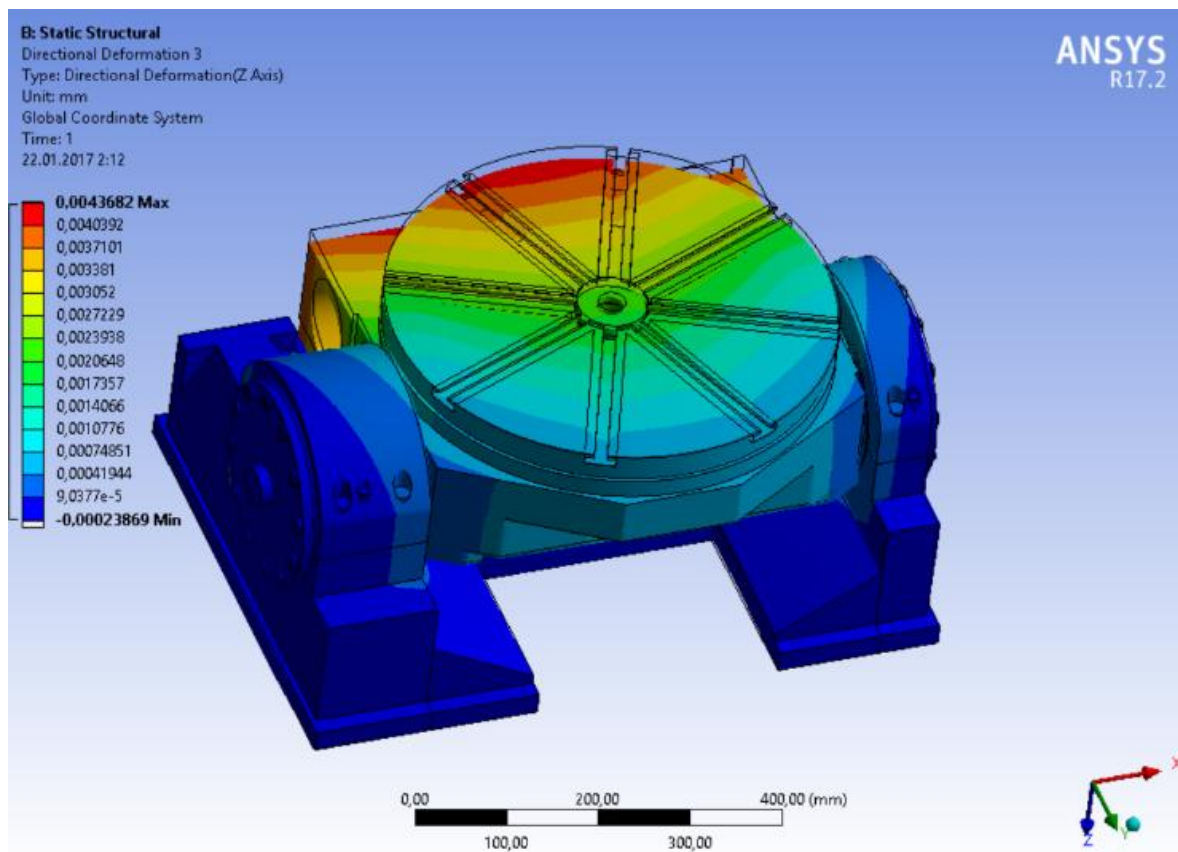


Рис. 3 – Поле вертикальных перемещений стола при горизонтальном положении планшайбы и равномерном давлении на нее, миллиметры

Поле полных перемещений, представленное на рисунке 4, возникает при третьем способе задания нагрузки, когда стол наклонен на 60° .

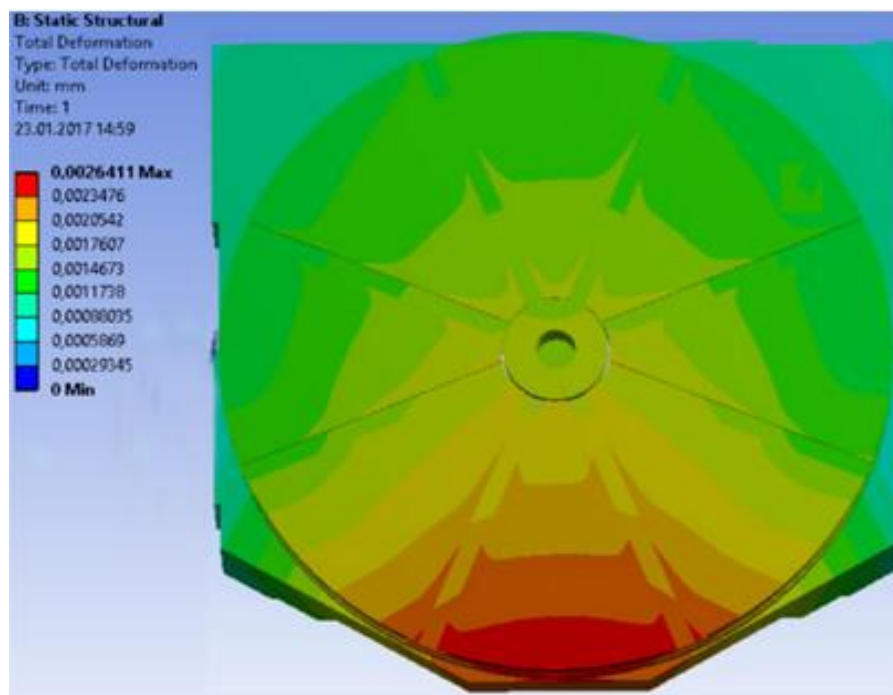
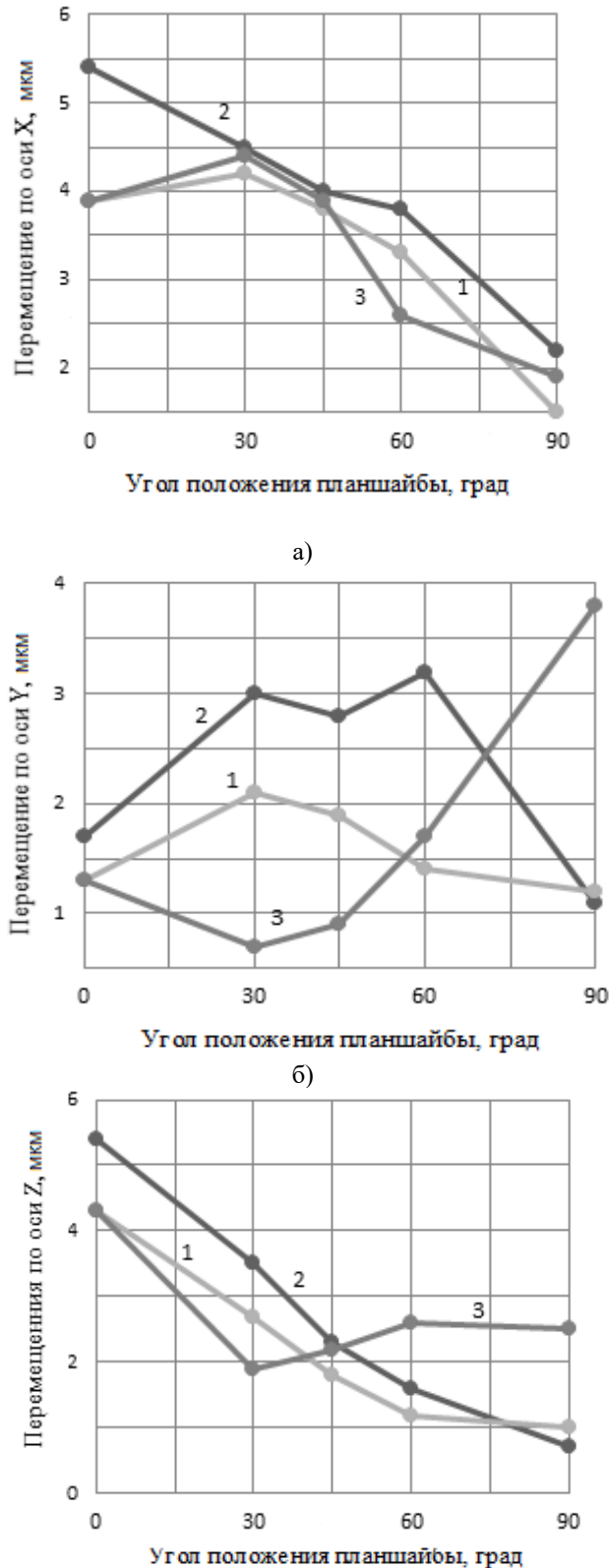


Рис. 4 – Поле полных перемещений поверхности планшайбы при наклоне стола 60° и вертикальном равномерном распределении нагрузки

Таким образом, место расположения узлов конечно-элементной сетки рабочей поверхности планшайбы, имеющих наибольшие перемещения, зависит от положения планшайбы и способа задания нагрузки. По мере возрастания угла наклона планшайбы эти узлы смещаются от консольной части (Рис. 3) к противоположной, расположенной ниже части (Рис. 4).

Графики зависимостей наибольших перемещений узлов на поверхности планшайбы от угла наклона для каждого способа задания нагрузки приводятся на рисунке 5. Из графиков видно, что в общем случае изменение перемещений

носит немонотонный характер, хотя суммарные наибольшие перемещения при первом и втором способе задания нагрузки тем меньше, чем больше угол наклона корпуса. Погрешности позиционирования обрабатываемой детали на поворотном столе, вызванные упругими деформациями стола, складываются погрешностями, возникающими при изготовлении стола. В соответствии с типовыми требованиями последние характеризуются следующими параметрами: торцовое биение планшайбы стола не более 5 мкм, параллельность рабочей поверхности планшайбы основанию стола не более 4 мкм, параллельность оси наклона планшайбы основанию в вертикальной плоскости не более 3 мкм. Таким образом, перемещения точек планшайбы, возникшие вследствие упругих деформаций, могут существенно – до двух раз – снизить точность прецизионного стола СУ-50.



в)

Рис. 5 – Графики наибольших перемещений в направлении осей X (а), Y (б), Z (в) и суммарных перемещений (г) на рабочей поверхности планшайбы в зависимости от угла положения планшайбы. Цифрами 1, 2, 3 обозначены номера способов задания нагрузки (окончание на стр. 57)

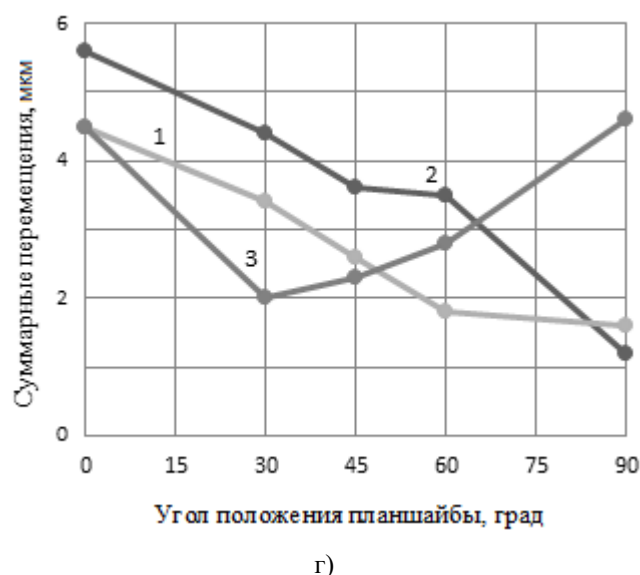


Рис. 5 – Графики наибольших перемещений в направлении осей X (а), Y (б), Z (в) и суммарных перемещений (г) на рабочей поверхности планшайбы в зависимости от угла положения планшайбы. Цифрами 1, 2, 3 обозначены номера способов задания нагрузки (окончание)

Как уже указывалось, снижения нежелательных упругих перемещений можно добиться за счет повышения жесткости деталей стола или за счет оснащения его адаптивной системой. Возможности первого пути существенно ограничены. Как следует из результатов моделирования, основной вклад в величину нежелательных перемещений вносят деформации корпуса, планшайбы и проушины. Станина имеет оптимальный набор ребер жесткости, благодаря чему ее деформации минимальны. Повышение жесткости корпуса, планшайбы и проушины может быть выполнено только за счет существенного увеличения общей массы стола, одной из причин этого является расположение механизма поворота планшайбы, которое не оставляет возможности для создания дополнительных внутренних ребер жесткости.

Изложенное позволяет заключить, что для повышения точности позиционирования заготовок на прецизионном поворотном столе СУ-50, увеличения массы этих заготовок и расширения технологических возможностей стола можно рекомендовать оснащение его адаптивной системой, позволяющей управлять упругими перемещениями конструкции станка при выполнении технологических операций.

Список литературы / References

1. Проникова. А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Ч. 1. Проектирование металлорежущих станков / под общ. ред. А.С. Проникова. М.: Машиностроение, 1994. - 443 с.
2. Балакшин В.С. Адаптивное управление станками / В.С. Балакшин, Б.М. Базров, И.М. Баранчукова и др.; Под ред. Б.С. Балакшина. М.: Машиностроение, 1973. - 688с.
3. Wenjie Tian, Weiguo Gao, Dawei Zhang, Tian Huang. A general approach for error modeling of machine tools // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2014. – 79. – С. 17–23
4. Атапин В.Г. Моделирование несущей системы тяжелого поворотного-подвижного стола/ Атапин В.Г. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – №1(54). – С. 56-63
5. Пахмуров В.А. Использование метода конечных элементов для анализа конструкции базовых деталей тяжелых станков / Пахмуров В.А., Шалдыбин А.Я.// Станки и инструмент. - 1992. - № 2. - С. 11–13.
6. Ломова О.С. Влияние упругих деформаций инструментальной круглошлифовальной станка на точность обрабатываемых поверхностей/ Ломова О.С., Сорокина И.А. // Сборник научных трудов – Омск, 2013. - С. 114-119.
7. Гречишников В.А. Выявление главных осей деформаций упругой системы металлорежущего станка средствами конечно-элементного моделирования/ Гречишников В.А., Хусаинов Р.М., Ахтиямов Д.Р., Юрасов С.Ю., Юрасова О.И. // СТИН. - 2016. - № 1. - С. 10-14.
8. Большаков Г.С. Модель упругих деформаций токарного станка в системе SOLIDWORKS / Большаков Г.С., Павловский П.Г., Агеев А.Д. // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. - 2012. - № 1 (2). - С. 130-134.
9. Типушков Ю.А. Моделирование деформаций несущей системы токарного станка с компьютерным управлением/ Типушков Ю.А., Мазеин П.Г.// Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2004. - № 4. - С. 76-82.
10. Поляков, А. Н. Компьютерные исследования тепловых деформаций металлорежущих станков. Методы, модели и алгоритмы [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Поляков. - Оренбург : ОГУ, 2003. - 382 с. - Библиогр.: с. 368-382.
11. Кульга К.С. Применение CAD/CAE -систем при проектировании компоновок многоцелевых станков с ЧПУ / Кульга К.С., Виноградов П.В., Гаитова А.А.// СТИН. - 2015. - № 9. - С. 5-10.
12. Атапин В.Г. Моделирование фундамента тяжелого многоцелевого станка /Атапин В.Г. // Актуальные проблемы в машиностроении. - 2014. - № 1. - С. 220-222.

13. Самохина Н.С. Расчет технических объектов методом конечных элементов/ Самохина Н.С., Горшков Б.М.// Наука - промышленности и сервису. - 2010. - № 5. - С. 98-103.
14. Design and analysis of an EDM machine tool Y Li, SF Wang - Advances in Materials Sciences, Energy Technology and Environmental 125-128
15. Finite element simulation and experimental analysis of robotic boring based on an approach of equivalent stiffness G Wang, H Dong, Y Guo, Y Ke - Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture DOI: 10.1177/0954405416683430
16. Simulation approach to study the behavior of a milling machine's structure during end milling operation Mounir Muhammad Farid KOURA, Muhammad Lotfy ZAMZAM, Amr Ahmed Sayed SHAABAN // Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences (2014) 38: 167 – 183
17. Иванов А.С. Расчет контактной деформации при конструировании машин/ Иванов А.С., Измайлов // Трение и смазка в машинах и механизмах. - 2006. - № 8. - С. 3-10.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Pronikova A. S. Proektirovaniye metallorazhushnykh stankov y stanochnykh sistem. Ch. 1 [The design of machine tools and machine tools. Part 1]. Design of cutting mills / edited by A. S. Pronikova. M.: Mashinostroenie, - 1994.- 443 p. [in Russian]
2. Balakshin B. S. Adaptivnoye upravleniye stankamy [Adaptive control of machine tools] / B. M. Bazrov, B. C. Balakshin, I. M. Saranchukov, and others; edited by B. S. Balakshin. M.: Mashinostroenie, S. 1973, 688p. [in Russian]
3. Wenjie Tian, Weiguo Gao, Dawei Zhang, Tian Huang. A general approach for error modeling of machine tools // International Journal of Machine Tools & Manufacture – 2014. – 79. – p.17-23.
4. Atapin V.G. Modelirovaniye nesushhej sistemy tjazhelogo povorotno-podvizhnogo stola [Modeling carrier system heavy swivel-sliding table]/ Atapin V.G. // Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty).[Processing of metals]– 2012. – №1(54). – P. 56-63 [in Russian]
5. Pahmurov V.A. Ispol'zovanie metoda konechnykh jelementov dlja analiza konstrukcii bazovykh detalej tjazhelykh stankov [The use of the finite element method to analyze the design of basic parts of heavy machines]/ Pahmurov V.A., Shaldybin A.Ja.// Stanki i instrument.[Machines and tools] - 1992. - № 2. - P. 11–13. [in Russian]
6. Lomova O.S. Vlijanie uprugih deformacij krugloshlifoval'nogo stanka na tochnost' obrabatyvaemykh poverhnostej [The influence of elastic deformations of cylindrical grinding machine, precision machined surfaces]/ Lomova O.S., Sorokina I.A. // Sbornik nauchnykh trudov – Omsk, 2013. - P. 114-119. [in Russian]
7. Grechishnikov V.A. Vyjavlenie glavnykh osey deformacij uprugoj sistemy metallorazhushhego stanka sredstvami konechno-jelementnogo modelirovaniya [Identify the main axes of the deformation of the elastic system of the cutting machine by means of finite-element modeling]/ Grechishnikov V.A., Husainov R.M., Ahkijamov D.R., Jurasov S.Ju., Jurasova O.I. // STIN. - 2016. - № 1. - P. 10-14. [in Russian]
8. Bol'shakov G.S. Model' uprugih deformacij tokarnogo stanka v sisteme SOLIDWORKS [A model of elastic deformations of the lathe in SOLIDWORKS] / Bol'shakov G.S., Pavlovskij P.G., Ageev A.D. // Modeli, sistemy, seti v jekonomike, tehnike, prirode i obshhestve. [Models, systems, networks in Economics, technic, nature and society] - 2012. - № 1 (2). - P. 130-134. [in Russian]
9. Tipushkov Ju.A. Modelirovaniye deformacij nesushhej sistemy tokarnogo stanka s komp'yuternym upravleniem [Modeling of the deformation of the bearing system of the lathe with computer control]/ Tipushkov Ju.A., Mazein P.G.// Izvestija Cheljabinskogo nauchnogo centra UrO RAN [Proceedings of the Chelyabinsk scientific center of UB RAS]. 2004. - № 4. - P. 76-82. [in Russian]
10. Poljakov, A. N. Komp'yuternye issledovaniya teplovykh deformacij metallorazhushhih stankov. [Computer analysis of thermal deformation of machine tools] Metody, modeli i algoritmy [Tekst] : ucheb. posobie dlja vuzov / A. N. Poljakov. - Orenburg : OGU, 2003. - 382 s. - Bibliogr.: p. 368-382. [in Russian]
11. Kul'ga K.S. Primeneniye CAD/CAE -sistem pri proektirovanii komponovok mnogocelevykh stankov s ChPU [The use of CAD/CAE systems in the design of layouts, multi-purpose CNC machine tools]/ Kul'ga K.S., Vinogradov P.V., Gaitova A.A.// STIN. - 2015. - № 9. - P. 5-10. [in Russian]
12. Atapin V.G. Modelirovaniye fundamenta tjazhelogo mnogocelelego stanka [Modeling of Foundation heavy multi-purpose machine] /Atapin V.G. // Aktual'nye problemy v mashinostroenii.[Current problems in mechanical engineering] - 2014. - № 1. - P. 220-222. [in Russian]
13. Samohina N.S. Raschet tehnikeskikh ob'ektov metodom konechnykh jelementov [The calculation of technical objects by finite element method]/ Samohina N.S., Gorshkov B.M.// Nauka - promyshlennosti i servisu. [Science - industry and service] - 2010. - № 5. - P. 98-103. [in Russian]
14. Design and analysis of an EDM machine tool Y Li, SF Wang - Advances in Materials Sciences, Energy Technology and Environmental 125-128
15. Finite element simulation and experimental analysis of robotic boring based on an approach of equivalent stiffness G Wang, H Dong, Y Guo, Y Ke - Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture DOI: 10.1177/0954405416683430
16. Simulation approach to study the behavior of a milling machine's structure during end milling operation Mounir Muhammad Farid KOURA, Muhammad Lotfy ZAMZAM, Amr Ahmed Sayed SHAABAN // Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences – 2014. - 38: - P. 167 – 183
17. Ivanov A.S. Raschet kontaktnoj deformacii pri konstruirovanii mashin [The calculation of contact deformation in the design of machinery]/ Ivanov A.S., Izmajlov // Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah.[Friction and lubrication in machines and mechanisms] - 2006. - № 8. - P. 3-10. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.036>Кузичкина А.О.¹, Косяков М.С.²¹Магистрант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики²Кандидат технических наук, Доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики*Авторы выражают признательность коллеге Осипову Е.В. за плодотворное сотрудничество по тематике работы и полезные замечания***ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ТРАССИРОВКИ СОБЫТИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ****Аннотация**

Работа посвящена проблеме поиска причин деградации производительности в параллельных и распределенных системах. Предложен и разработан метод трассировки событий, который помогает улучшить понимание поведения приложений и позволяет провести тщательный анализ производительности параллельных и распределенных систем. Для представления логической связи событий системы предложена модель корневого дерева. Так как логически связанные события могут выполняться в разных процессах/потоках, в работе продемонстрированы подходы реализации связывания событий при различных условиях. Предлагаемый метод трассировки подразумевает инструментирование исходного кода приложения для расстановки специальных меток, которые вызываются при наступлении соответствующих событий. В разработанной системе трассировки реализована возможность включать определённый набор меток, соответствующий интересующему сценарию работы анализируемого приложения. Метки можно включать и выключать «на лету» для работающего приложения, тем самым снижая влияние процесса трассировки на выполнение анализируемой системы. Для управления процессом трассировки и обработки полученных данных в работе реализованы соответствующие утилиты. Практическое использование разработанных методов и инструментов помогает в разработке предсказуемых и эффективных параллельных и распределенных систем и существенно упрощает поиск причин неудовлетворительной производительности.

Ключевые слова: распределенные системы, трассировка, дерево событий, инструментирование кода, анализ производительности.

Kuzichkina A.O.¹, Kosiakov M.S.²¹Undergraduate Student, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics²PhD in Engineering, Associate Professor, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

The authors are grateful to colleague Osipov E.V. for fruitful cooperation on the subject of work and useful comments.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TRACING EVENTS METHODS IN PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS**Abstract**

The paper is devoted to the problem of identifying the causes of performance degradation in parallel and distributed systems. We developed an event tracing method that helps to improve the understanding of the application behavior and allows conducting thorough analysis of the parallel and distributed systems performance. To represent the logical connection of system events, we offered a model of the root tree. Logically related events can be performed in different processes/threads. Thus, the work shows how to implement the binding of events under different conditions. Proposed method of tracing involves instrumentation of the application's source code for placing special labels which can be called when appropriate events occur. Developed system of tracing realizes the possibility to include a certain set of labels, corresponding to the interesting scenario of the analyzed application. Tags for a running application can be turned on and off "on the fly," thereby reducing the impact of the trace process on the execution of the analyzed system. To manage the process of tracing and in order to process received data, corresponding utilities are implemented. Practical use of the developed methods and tools helps in the development of predictable and efficient parallel and distributed systems and greatly simplifies the search for causes of unsatisfactory performance.

Keywords: distributed systems, tracing, event tree, code instrumentation, performance analysis.

Современные приложения часто представляют собой сложные крупномасштабные распределенные системы. Такие системы состоят из различных программных компонентов, которые зачастую разрабатываются несколькими командами разработчиков, и могут быть развернуты на нескольких компьютерах [1, С. 9]. Программисту, который не принимает участие в создании сразу всех компонентов параллельной системы, очень трудно разобраться, как система работает, как компоненты взаимосвязаны и что за чем следует. Поверхностное понимание поведения параллельных и распределенных систем недостаточно для глубокого анализа и поиска причин проблем производительности.

Большой класс систем для поиска проблем производительности приложений составляют системы профилирования. Специальные программы, профилировщики, предоставляют данные, по которым можно определить, на выполнение каких функций ушло больше всего времени [2, С. 218]. Однако, данных, полученных при профилировании бывает недостаточно для выявления причин снижения производительности.

Часто для того, чтобы обнаружить причину потери производительности системы, требуется отследить цепочку выполняющихся событий и проанализировать распределения временных задержек между этими событиями. Такую задачу позволяют решать системы трассировки приложений. Известные авторам существующие системы трассировки имеют ряд недостатков:

- 1) зачастую они работают исключительно на транспортном уровне стека протоколов (X-Trace [3, С. 271]);
- 2) не позволяют связать зависимые события между отдельными процессами (Magpie [4, С. 259]);
- 3) не поддерживают возможности ветвления событий (Pinpoint [5, С. 309]).

Целью работы является разработка метода трассировки событий в параллельных и распределенных системах. Трассировка событий существенно улучшает понимание поведения приложения и помогает выявить причины низкой производительности системы. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выполнить инструментирование кода приложения;
- 2) реализовать возможность управления процессом трассировки;
- 3) разработать анализатор данных трассировки.

Поведение системы можно представить, как выполнение различных событий. Некоторые события связаны между собой логически, то есть одно событие может являться причиной возникновения другого события или же может породить несколько других независимых событий, которые могут выполняться последовательно или параллельно. Для представления логической связи событий выбрана модель корневого дерева [6, С. 214]. Узлами дерева являются события системы. Каждый узел имеет свой уникальный идентификатор PET (от англ. performance event tree tracing) и идентификатор родителя. В качестве примера представлена схема дерева (рис. 1). События В и D, изображённые на рисунке, являются взаимосвязанными, а события E, F, G – независимые и могут выполняться параллельно.

На основе предложенной модели дерева разработана система трассировки. Реализация и внедрение демонстрируется на примере параллельной распределенной системы алгоритмической торговли Tbricks компании Itiviti [7]. Чтобы отслеживать ход работы приложения, необходимо в коде приложения расставить специальные метки, которые будут вызываться при наступлении соответствующих событий. Используемый в системе трассировки механизм меток реализован в продукте LTTng компании EfficiOS [8].

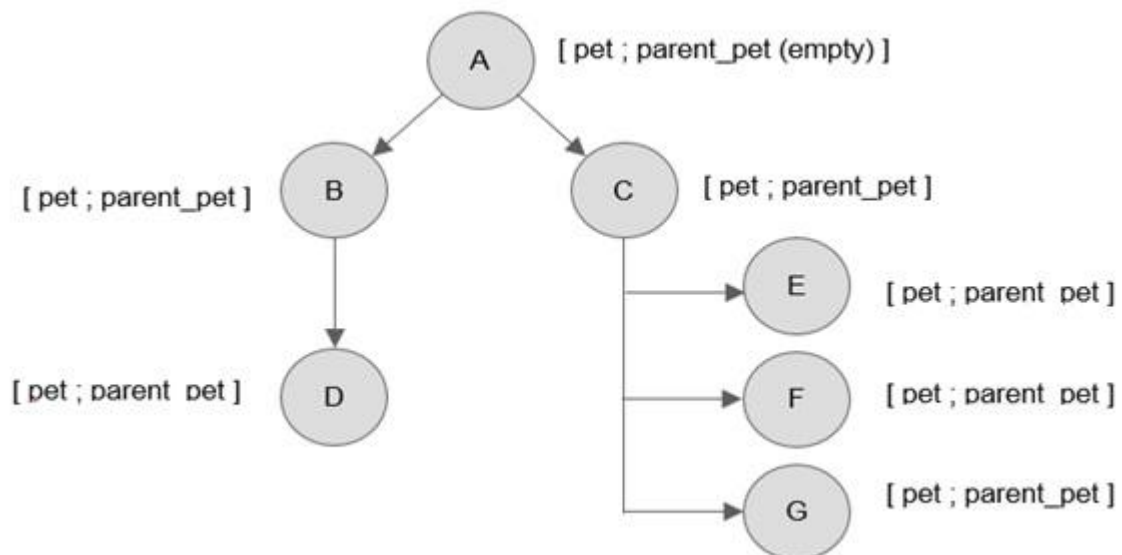


Рис. 1 – Схема дерева событий

Название метки имеет следующую структуру: «имя_сервиса:имя_метки», где под сервисом понимается компонент, в котором вызывается соответствующая метка. Для логического связывания меток между собой PET-идентификатор последней вызванной метки передается в следующую метку. PET-идентификаторы генерируются динамически во время выполнения приложения. В листинге 1 представлен макрос вызова метки.

```

1. #define TB_TRACEPOINT_ENABLED( provider, name)
           caa_unlikely(__tracepoint_##provider##__##name.state)
2. #define TB_TRACEPOINT_PET( provider, name,
           pet_parent)
3.     do {
4.         if ( TB_TRACEPOINT_ENABLED( provider, name)) {
5.             types::UUID tr_pet;
6.             tr_pet.generate();
7.             if ( !pet_parent.empty()) {
8.                 tracepoint( provider, name, tr_pet.get_long_ptr(),
                           pet_parent.get_long_ptr());
9.             } else {
10.                tracepoint( provider, name, tr_pet.get_long_ptr(),
                           tr_pet.get_long_ptr());
11.            }
12.            pet_parent = tr_pet;
13.        }
14.    } while (0)

```

Листинг 1 – Макрос вызова метки

Влияние трассировки на работающую систему.

Выбор событий, которые необходимо наблюдать при измерении производительности параллельного приложения, является важным фактором, поскольку это является основой для интерпретации данных о производительности. Следует отметить, что метки LTTng [8] можно включать и выключать "на лету" для запущенной системы. Накладные расходы на вызов метки составляет порядка нескольких десятков наносекунд. Если метки выключены, они не влияют на работающее приложение.

Примеры взаимосвязи событий.

Рассмотрим несколько случаев передачи PET-идентификатора. Если после вызова метки происходит вызов асинхронной функции, то есть происходит перекладка данных из одного потока в другой, нужно позаботиться о передаче PET-идентификатора в другой поток. В этом случае следует сохранить PET в передаваемом объекте. В листингах 2, 3.1 и 3.2 продемонстрирована реализация связывания меток, которые вызываются в разных потоках:

service_name:dispatch_event -> service_name:process_event.

```

1.     class Event
2.     {
3.     ...
4.     public:
5.         types::UUID & get_pet()
6.         { return m_pet; }
7.
8.         void set_pet( types::UUID & pet)
9.         { m_pet = pet; }
10.
11.     private:
12.         types::UUID m_pet;
13.     ...
14.     }

```

Листинг 2 – Структура кода, описывающая блок данных, передаваемый из одного потока в другой

```

1. void handle_request(Message & msg)
2. {
3.     ...
4.     Event * event = get_event(msg);
5.
6.     TB_TRACEPOINT_PET(service_name, dispatch_event,
7.                       event->get_pet());
8.     get_high_prio_queue().dispatch_async(process_request ,
9.                                           event);
10.    ...
11. }

```

Листинг 3.1 – Функция, в которой вызывается метка перед передачей блока данных, извлеченного из полученного сообщения, в другой поток для обработки

```

1. void process_request(Event * event)
2. {
3.     ...
4.     TB_TRACEPOINT_PET(service_name, process_event,
5.                       event->get_pet());
6.     ...
7. }

```

Листинг 3.2 – Функция, в которой обрабатывается блок данных и вызывается соответствующая метка

В случае, когда один сервис пересылает сообщение другому сервису, и метки в этих сервисах логически связаны, необходимо сохранить PET-идентификатор в сообщении перед отправкой. В листингах 4 и 5 продемонстрирована реализация связывания меток, которые вызываются в разных процессах:

client:send_request -> server:received_request.

```

Client
1. void send_data(Item & item, const types::UUID & pet)
2. {
3.     ...
4.     Message msg;
5.     TB_TRACEPOINT_PET(client, send_request, pet);
6.     msg.set_pet(pet);
7.     item.send(msg);
8.     ...
9. }

```

Листинг 4 – Функция клиента для отправки сообщения с запросом серверу и с вызовом соответствующей метки

```

Server

1.  bool handle(Message &message)
2.  {
3.      ...
4.      switch (message.get_type()) {
5.          case protocol::Request:
6.              TB_TRACEPOINT_PET(server, received_request,
7.                              message.get_pet());
8.              break;
9.          case protocol::Ack:
10.             TB_TRACEPOINT_PET(server, received_ack,
11.                               message.get_pet());
12.             break;
13.         default:
14.             break;
15.     };
16.     ...
17. }

```

Листинг 5 – Функция сервера для обработки сообщения и с вызовом меток в соответствии с типом полученного сообщения

Рассмотрим случай, когда одно событие является родителем для нескольких дочерних, но дочерние события выполняются последовательно друг за другом. А значит время задержки на выполнение каждого дочернего события, начиная со второго, будет включать в себя задержку на выполнение всех предыдущих событий. По результатам замеров оказывается трудно определить, это проблема накапливания задержки или проблема в том, что событие выполняется долго. Решение этой ситуации пока не реализовано, но планируется в будущем для усовершенствования системы трассировки. Реализация подобного связывания событий продемонстрирована в листингах 6.1 и 6.2:

```

service_name:modify_requests-> service_name:modify_request
-> service_name:modify_request
-> service_name:modify_request
...

```

```

1.  void modify_requests(std::vector<Request> &requests, types::UUID &pet)
2.  {
3.      ...
4.      TB_TRACEPOINT_PET(service_name, modify_requests, pet);
5.      types::UUID branch_pet = pet;
6.      Request::const_iterator r_it = requests.begin(),
7.                             r_end = requests.end();
8.      for (; r_it != r_end; ++r_it) {
9.          modify_request(*r_it, pet);
10.         pet = branch_pet;
11.     }
12.     ...
13. }

```

Листинг 6.1 – Функция модификации набора запросов

```

1. void modify_request(Request & request, types::UUID & pet)
2. {
3.     ...
4.     TB_TRACEPOINT_PET(service_name, modify_request, pet);
5.     ...
6. }

```

Листинг 6.2 – Функция модификации одного запроса с вызовом соответствующей метки

Управление процессом трассировки и анализ.

Для запуска трассировки была реализована соответствующая утилита на языке Perl. В качестве входных параметров указываются процессы приложения, для которых запускается трассировка, и набор активируемых меток.

Данные трассировки представляют собой список вызванных в ходе работы приложения меток с PET-идентификаторами и временем вызова. Для связывания событий, зафиксированных в ходе выполнения приложения, в деревья и расчёта перцентилей временных задержек между событиями на языке C++ реализован анализатор.

На рис. 2 представлен результат трассировки сценария работы алгоритмической системы Tbricks, в котором при получении с биржи котировок на ценные бумаги выполняется их обработка и на биржу отправляются обновлённые квоты.

	#	50%	80%	95%	99%	99.9%
md:packet_received - pe:handle_best_price	14659	77 µs	105 µs	143 µs	197 µs	7.2 ms
pe:handle_best_price - pe:set_active_quote_table	14656	8 µs	13 µs	19 µs	24 µs	34 µs
pe:set_active_quote_table - qs_fw:received_set_table	14656	86 µs	104 µs	130 µs	164 µs	1.4 ms
qs_fw:received_set_table - qs_fw:dispatch_set_table	14656	3 µs	3 µs	3 µs	3 µs	22 µs
qs_fw:dispatch_set_table - qs_fw:process_set_table	14656	4 µs	5 µs	6 µs	9 µs	37 µs
qs_fw:process_set_table - qs_fw:first_batch_computed	14656	22 µs	74 µs	89 µs	100 µs	393 µs
qs_fw:first_batch_computed - qs_fw:encode_quotes	14656	5 µs	6 µs	7 µs	23 µs	160 µs
qs_fw:encode_quotes - qs:send_quotes	14656	8 µs	9 µs	19 µs	25 µs	70 µs
pe:handle_best_price - pe:modify_quote_table	3	4.2 ms	4.8 ms	4.8 ms	4.8 ms	4.8 ms
pe:modify_quote_table - qs_fw:received_table_modify	3	168 µs	199 µs	199 µs	199 µs	199 µs
qs_fw:received_table_modify - qs_fw:dispatch_table_modify	3	47 µs	52 µs	52 µs	52 µs	52 µs
qs_fw:dispatch_table_modify - qs_fw:process_table_modify	3	4 µs	11 µs	11 µs	11 µs	11 µs
qs_fw:process_table_modify - qs_fw:first_batch_computed	3	883 µs	893 µs	893 µs	893 µs	893 µs
qs_fw:first_batch_computed - qs_fw:encode_quotes	3	6 µs	6 µs	6 µs	6 µs	6 µs
qs_fw:encode_quotes - qs:send_quotes	3	23 µs	24 µs	24 µs	24 µs	24 µs
Path: md:packet_received - qs:send_quotes	14659	283 µs	332 µs	391 µs	504 µs	11.2 ms

Рис. 2 – Распределение временных задержек между событиями системы алгоритмической торговли Tbricks

Представленные на рис. 2 результаты свидетельствуют о том, что в рассматриваемом сценарии работы алгоритмической системы Tbricks наибольший вклад в общую временную задержку вносят процедура обработки котировок (pe:handle_best_price – pe:modify_quote_table) и процедура обработки запроса на модификацию таблицы с квотами (qs_fw:process_table_modify – qs_fw:first_batch_computed).

Наличие системы трассировки позволяет настроить автоматические запуски процесса трассировки для приложения. Это позволяет отслеживать изменения производительности системы на всех этапах её разработки, вовремя обнаруживать проблемы и быстрее находить причины их возникновения. На рис. 3 изображён график изменения производительности для вышеописанного сценария работы системы алгоритмической торговли Tbricks, который был построен в программе Tableau [9].

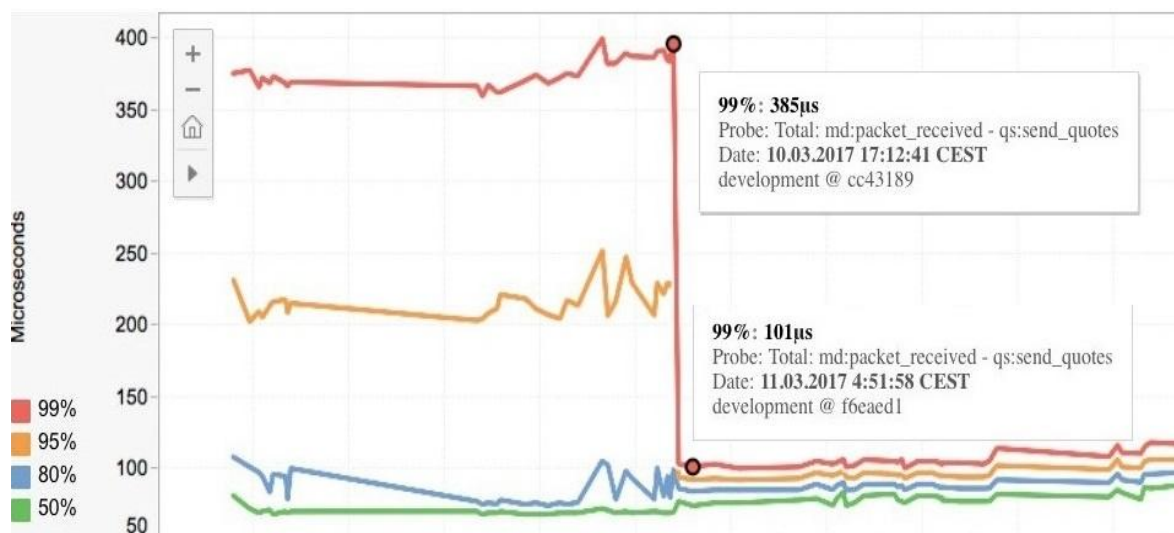


Рис. 3 – График изменения производительности сценария отправки квот в системе алгоритмической торговли Tbricks за месяц

Как видно из графика, изменения, сделанные 11 марта, существенно уменьшили задержку при отправке обновленных квот на биржу в ответ на полученные котировки.

Таким образом, в данной работе разработан метод трассировки событий в параллельных и распределенных системах. Предложенная модель корневого дерева позволяет представить логически связанные события системы и тем самым помогает понять сложное поведение распределенного приложения. Апробация предложенных подходов и разработанных инструментов проводилась на примере системы алгоритмической торговли Tbricks. Используемые LTTng метки для отслеживания выбранных событий системы можно включать и выключать «на лету» для работающего приложения, что позволяет снизить влияние трассировки на работу анализируемой системы. Продемонстрированы подходы реализации связывания событий в различных случаях. Для управления процессом трассировки и анализа полученных данных реализованы соответствующие утилиты. Применение предложенного метода трассировки событий позволяет проводить тщательный анализ работы параллельных и распределенных систем и существенно помогает при поиске причин проблем производительности в этих системах.

Список литературы / References

1. Косяков М. С. Введение в распределенные вычисления / М. С. Косяков – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2014. – 155 с.
2. Brendan Gregg. Systems Performance: Enterprise and the Cloud. First edition / Brendan Gregg. – Upper Saddle River (New Jersey): Prentice Hall, 2013. – 729 p.
3. Fonseca R., Porter G., Katz R. H., Shenker S., Stoica I. X-Trace: A Pervasive Network Tracing Framework. / R. Fonseca, G. Porter, R. H. Katz, S. Shenker, I. Stoica // Proceedings of the 4th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation. – 2007. – P. 271–284.
4. Barham P., Donnelly A., Isaacs R., Mortier R. Using Magpie for request extraction and workload modelling. / P. Barham, A. Donnelly, R. Isaacs, R. Mortier // Proceedings of the 6th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation – 2004. – P. 259–272.
5. Chen M. Y., Accardi A., Kiciman E., Lloyd J., Patterson D., Fox A., Brewer E. Path-based failure and evolution management. / M. Y. Chen, A. Accardi, E. Kiciman, J. Lloyd, D. Patterson, A. Fox, E. Brewer // Proceedings of the 1st USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation. – 2004. – P. 309–322.
6. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L. Introduction to Algorithms, 3rd Ed. / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest // The MIT Press, 2009. – 1328 p.
7. Официальный сайт компании Itiviti [Электронный ресурс] – URL: <http://www.itiviti.com> (дата обращения: 11.03.2017).
8. Официальный сайт проекта LTTng фирмы EfficiOS: Документация [Электронный ресурс] – URL: <http://lttng.org/docs/v2.9/> (дата обращения: 11.03.2017).
9. Официальный сайт продукта для визуализации данных Tableau: Документация [Электронный ресурс] – URL: <https://www.tableau.com/support/desktop> (дата обращения: 11.03.2017).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kosyakov M. S. Vvedenie v raspredelennye vychisleniya [Introduction to distributed computing] / M. S. Kosyakov – Saint-Petersburg: ITMO University, 2014. – 155 p. [in Russian]
2. Brendan Gregg. Systems Performance: Enterprise and the Cloud. First edition / Brendan Gregg. – Upper Saddle River (New Jersey): Prentice Hall, 2013. – 729 p.
3. Fonseca R., Porter G., Katz R. H., Shenker S., Stoica I. X-Trace: A Pervasive Network Tracing Framework. / R. Fonseca, G. Porter, R. H. Katz, S. Shenker, I. Stoica // Proceedings of the 4th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation. – 2007. – P. 271–284.
4. Barham P., Donnelly A., Isaacs R., Mortier R. Using Magpie for request extraction and workload modelling. / P. Barham, A. Donnelly, R. Isaacs, R. Mortier // Proceedings of the 6th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation – 2004. – P. 259–272.
5. Chen M. Y., Accardi A., Kiciman E., Lloyd J., Patterson D., Fox A., Brewer E. Path-based failure and evolution management. / M. Y. Chen, A. Accardi, E. Kiciman, J. Lloyd, D. Patterson, A. Fox, E. Brewer // Proceedings of the 1st USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation. – 2004. – P. 309–322.
6. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L. Introduction to Algorithms, 3rd Ed. / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest // The MIT Press, 2009. – 1328 p.
7. Oficial'nyj sajt kompanii Itiviti [Official website of the company Itiviti] [Electronic resource] – URL: <http://www.itiviti.com> (accessed: 11.03.2017). [in Russian]
8. Oficial'nyj sajt proekta LTTng firmy EfficiOS [Official website of the project LTTng by EfficiOS: Documentation] [Electronic resource] – URL: <http://lttng.org/docs/v2.9/> (accessed: 11.03.2017). [in Russian]
9. Oficial'nyj sajt produkta dlja vizualizacii dannyh Tableau: Dokumentacija [Official website of the product for data visualization Tableau: Documentation] [Electronic resource] – URL: <https://www.tableau.com/support/desktop> (accessed: 11.03.2017). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.074>Кумунжиев К.В.¹, Головин В.А.²¹ Доктор технических наук,² Кандидат технических наук,

Ульяновский государственный университет

ПРИНЦИП РАВНОПРОЧНОСТИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ**Аннотация**

Термин «принятие решений» можно трактовать как в широком, так и в узком смысле. В первом случае речь идет об объединении, по крайней мере, двух процедур: анализа вариантов и выбора предпочтительного. В данной статье мы будем говорить преимущественно о процедуре выбора предпочтительного варианта. Развиваются две теории принятия решений – психологическая и рациональная. Первая – это система наблюдений и утверждений о том, как люди в действительности принимают решения, и какие ошибки при этом совершают. Вторая создавалась математиками и экономистами и говорит, как надо принимать решения, чтобы выбрать наилучший вариант.

Ключевые слова: принятие решений, оптимизация, поверхность Парето.

Kumunzhiev K.V.¹, Golovin V.A.²¹ PhD in Engineering,² PhD in Engineering,

Ulyanovsk State University

PRINCIPLE OF STRENGTH BALANCE IN DECISION-MAKING**Abstract**

The term "decision-making" can be interpreted both in broad and in a narrow sense. In the first case, it involves combination of at least two procedures: analysis of options and selection of the preferred one. In this paper we mainly talk about the procedure of the preferred option selection. Two theories of decision-making are considered: psychological and rational one. The first is a system of observations and statements about how people actually make decisions, and what mistakes they make. The second was created by mathematicians and economists and shows how to make decisions in order to choose the best option.

Keywords: decision making, optimization, Pareto surface.

В соответствии с общей схемой проектирования к моменту необходимости принятия решения мы имеем ряд альтернатив, для которых определен набор показателей качества, шкалы, по которым они будут измеряться, и оценки показателей. Наша задача - найти наилучший вариант.

Говоря о различных альтернативах, мы, прежде всего, имеем в виду различные структуры. Но свойства любой системы зависят от параметров и структуры. Поэтому имеет смысл сравнивать структуры лишь после того, как для каждой из них найдены наилучшие параметры. Поэтому зафиксируем следующее. Задача выбора решается на двух уровнях: на уровне параметров и на уровне структуры.

Определяются возможные варианты достижения цели – структуры. Для каждой структуры тем или иным способом ищутся наилучшие значения параметров. Далее находятся показатели качества для каждой структуры при наилучших (оптимальных) значениях параметров. И только после этого возможно обоснованное сравнение различных структур и выбор наилучшей. Конечно, такая схема представляется достаточно трудоемкой, однако только так можно выбрать действительно лучший вариант.

При определении требований к показателям качества стоит отметить, что они могут быть формализованы в одной из трех форм

$$\begin{cases} k_i = a_i, i = 1 \dots m \\ k_j \leq b_j, j = 1 \dots n \\ k_l \rightarrow \min, l = 1 \dots k \end{cases}$$

В случае, если требуется найти экстремум одного показателя качества, задача легко преобразуется в задачу математического программирования:

$$\begin{cases} \min F \\ k_i = a_i \\ k_j \leq b_j \\ A \in D_x \end{cases}$$

где F - критерий оптимизации.

Первая и основная проблема возникает, когда число показателей, для которых требуется обеспечить экстремум, больше единицы, т.е. когда приходится решать задачу векторной оптимизации. В этом случае, тем или иным путем, мы должны перейти от вектора показателей качества к единому критерию оптимизации. Существует ряд методов решения этой задачи.

Поиск безусловно лучших решений. Центральным понятием этого метода является поверхность Парето. Пространство параметров отображается в пространство показателей качества: переход от одной точки к другой в пространстве параметров смещает отображающую точку в пространстве показателей. На каких-то этапах можно

производить изменение параметров таким образом, что удастся улучшить одни показатели без ухудшения других. Однако неизбежно наступает ситуация, когда нельзя улучшить одни показатели без ухудшения других. Множество таких точек образует в многомерном пространстве показателей качества поверхность, которую и называют поверхностью Парето. Поэтому основное требование к любому решению – оно должно принадлежать поверхности Парето. Решения, лежащие на поверхности Парето, и называют безусловно лучшими. Выявить поверхность Парето можно, решая многократно задачу оптимизации по критерию. Решение такой задачи достаточно трудоемко и не является окончательным.

Метод ранжирования показателей качества (метод уступок). Все показатели ранжируются по значимости: $k_1, k_2 \dots k_n$. Затем решается оптимизационная задача с критерием $F = k_1$. Логика следующего шага такова: давайте немного ухудшим значение показателя k_1 и за счет этого улучшим показатель k_2 . При этом показатель k_1 переводится в разряд ограничений с коэффициентом, отражающим его допустимое ухудшение. Задача выглядит так:

$$\begin{aligned} \min k_2 \\ k_1 \leq \xi k_1^* \end{aligned}$$

где k_1^* – оптимальное значение, найденное на предыдущем шаге, ξ – весовой коэффициент. Далее процесс повторяется по отношению к последующим показателям.

Свертка показателей качества. Свертка предполагает использование в качестве критерия оптимизации функции от показателей качества с некоторыми весовыми коэффициентами. Здесь сохраняется проблема выбора весовых коэффициентов. Более того, весовые коэффициенты должны учитывать как значимость показателей, так и интервал их изменения. Это затрудняет использование свертки.

Оптимизация относительно идеальной точки. Упростить ситуацию с выбором весовых коэффициентов может введение идеальной точки. Идеальная точка – набор значений показателей качества, идеальных с точки зрения проектировщика. Использование идеальной точки в значительной мере снимает проблему, связанную с необходимостью учесть при выборе весовых коэффициентов интервалы их значений, но в целом вопрос остается открытым.

Использование принципа равнопрочности (ПР). Описанные выше способы перехода от вектора показателей качества к единому критерию оптимизации имеют общий недостаток: они допускают решения, лежащие на границах допустимых значений показателей качества. Дело в том, что в реальности для любого объекта задаются допустимые ограничения на показатели качества. При выполнении их цель считается достигнутой (изделие работоспособно). Выход за границы хотя бы одного показателя означает отказ изделия. Расположение решения на границе поля допуска означает большую вероятность выхода за границу поля допуска, т.е. низкую надежность изделия. Поэтому желательно, чтобы, с одной стороны, полученное решение принадлежало поверхности Парето, с другой – чтобы оно было равноудалено от границ поля допуска. Равноудаленность здесь понимается не в прямом геометрическом смысле, а как равновероятность выхода за границы поля допуска.

Изделие, удовлетворяющее этим требованиям, принято называть равнопрочным. Оно должно быть спроектировано так, чтобы все его узлы отказывали одновременно после выработки заданного ресурса. При этом затраты оказываются минимальными.

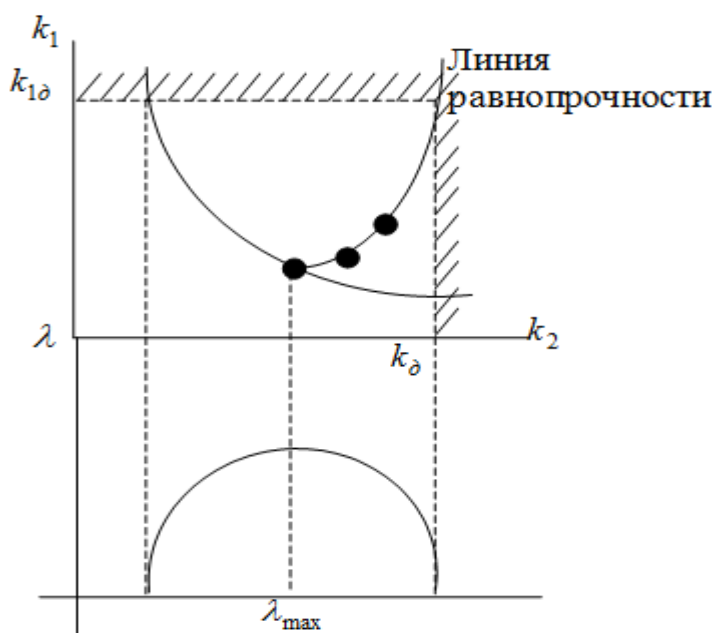


Рис.1 – Использование ПР

Суть метода иллюстрирует рис.1. Верхний рисунок – линия Парето для двухмерного случая, $k_{1\delta}$, $k_{2\delta}$ – допустимые значения показателей качества. Нижняя часть рисунка – зависимость вероятности безотказной работы λ

от выбора параметров и, соответственно, положения отображающей точки на плоскости показателей качества. Следовательно, процесс оптимизации должен строиться таким образом, чтобы, с одной стороны, вывести решение на линию Парето, с другой – двигаться по линии равнопрочности, точки которой равноудалены от границ поля допуска. При этом мы неизбежно выйдем на линию Парето и в точку, наиболее удаленную, в определенном смысле, от границ поля допуска.

Математическая формулировка задачи выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \min k_i \\ \delta k_i = Q_{ij} \delta k_j \quad \forall i \neq j, \\ \delta k_i = \frac{k_{i\partial} - k_i}{k_{i\partial}}, \\ D_A = \begin{cases} k_i(A) \leq k_{i\partial} & i = 1, 2, \dots, n, \\ k_j(A) = k_{j\partial}, & j = 1, 2, \dots, m, \end{cases} \end{aligned}$$

где D_A - область допустимых значений показателей качества. Иными словами, необходимо провести оптимизацию по любому из показателей качества, введя при этом дополнительные ограничения в виде равенств.

Q_{ij} - функции равнопрочности.

Функции равнопрочности задают линию в пространстве качеств, двигаясь по которой в процессе оптимизации по одному (любому) показателю качества, мы обязательно выйдем на поверхность Парето.

Вид функции равнопрочности определяется условиями задачи. Так, если априорная информация отсутствует, то можно взять ее в виде отношения допустимых значений

$$Q_{ij} = \frac{k_{i\partial}}{k_{j\partial}},$$

где $k_{i\partial}$, $k_{j\partial}$ - допустимые значения показателей качества. Если определяющими являются случайные отклонения, то рекомендуется функция равнопрочности в виде:

$$\delta[k_i] = \frac{k_{i\partial}}{k_{j\partial}} \delta[k_j],$$

где $\delta[]$ - среднеквадратическое отклонение.

Для случая, когда определяющим является временной дрейф параметров, рекомендуется функция равнопрочности в виде

$$\Delta k_i = \frac{k_{i\partial} S_i}{k_{j\partial} S_j} \Delta k_j, \text{ где } S_i = \sum_{i=1}^n \frac{dk_i}{da_i} \frac{da_i}{dt}$$

- скорость дрейфа показателя качества, выраженная через дрейф параметров. Возможны ограничения и в другой форме.

Использование принципа равнопрочности позволяет найти решение, оптимальное по Парето, и наилучшим образом использовать потенциальные возможности структуры.

Список литературы / References

1. Кумунжиев К. В. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений: учебное пособие / К. В. Кумунжиев. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – С. 183.
2. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а Также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kumunzhiev K. V. Proektirovanie system: izobretatelstvo, analiz, prinyatie resheniy: uchebnoe posobie [Design of systems: invention, analysis, decision-making: manual] / K. V. Kumunzhiev. – Ulyanovsk: UIGTU, 2009. P. 183.
2. Larichev O. I. Teoriya i metodi prinyatiya resheniy [The theory and methods of decision-making, and also Chronicle of events in the Magic Countries: Textbook] / O. I. Larichev. – M.: Logos, 2000. – P. 296.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.081>

Кунгурцев В.В.¹, Кудряшова Е.Ю.²

¹Кандидат технических наук, Военно-космическая академия им.
А.Ф. Можайского в Санкт-Петербурге

²Аспирант, Российский химико-технологический университет им.
Д.И. Менделеева

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация

Статья посвящена исследованию особенностей оценки эффективности использования специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций. В процессе анализа установлена нецелесообразность использования традиционного инструментария для проведения подобной оценки. С целью получения достоверных результатов оценочные процедуры предложено проводить через призму неделимого триумvirата эффектов - а именно: с точки зрения экономики в целом, а также с позиций потребителя и собственника таких вагонов.

Ключевые слова: грузовой вагон, эффективность, оценка, экономика.

Kungurtsev V.V.¹, Kudriashova E.Yu.²

¹PhD in Engineering, Space Academy named after A. F. Mozhaisky, St.Petersburg

²Postgraduate Student, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

EVALUATION OF THE USE EFFICIENCY OF SPECIAL FREIGHT CARS OF IMPROVED DESIGNS

Abstract

The article is devoted to the study of the main features of the evaluation of the use efficiency of special freight cars of improved designs. In the course of the analysis it has been established that it is inappropriate to use a traditional toolkit for carrying out such evaluation. In order to obtain reliable results, the evaluation procedures have to be carried out through the prism of an indivisible triumvirate of effects and namely from the point of view of the economy as a whole, and from the standpoint of the consumer and the owner of such freight cars.

Keywords: freight car, efficiency, evaluation, economics.

В современных условиях конкурирования различных видов транспорта, как на национальном, так и на мировом уровне, для железнодорожного транспорта все большую значимость приобретает проблема повышения его эффективности. При этом эффективность перевозки грузов железнодорожным транспортом во многом зависит от эффективности его подвижного состава.

Наиболее существенно на величине качественных показателей использования вагонного парка железных дорог сказывается средняя дальность перевозок, тип перевозимых грузов и вид используемых для этого вагонов. [1].

Особую значимость в данном контексте приобретает анализ эффективности использования специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций. Это связано с тем, что современные экономические вызовы, которые обуславливают высокую стоимость специализированных вагонных составов, а также предопределяют необходимость использования грузовых вагонов свыше допустимого срока службы, выдвигают на первый план задачу разработки и эффективного использования новейших конструкций вагонов и улучшения их технических характеристик.

Следовательно, с учетом вышеизложенного, выбранная тема исследования является актуальной и представляет значительный интерес, как с теоретической, так и практической точки зрения.

Проблемы методологии и теоретического обоснования вопросов, связанных с усовершенствованием использования подвижного состава нашли свое отражение в научных трудах таких ученых, как Н. Криворучко, В.Бугаев, В. Сенько, В. Станпаков, В. Пигунов, М. Кельрих, Б. Спиридонов и др.

Однако, несмотря на существующие наработки, проблема достоверной оценки эффективности использования подвижного состава железных дорог в контексте быстрого развития технического прогресса и формирования новой модели рынка грузовых перевозок, требует дальнейших углубленных исследований.

Итак, цель статьи заключается в исследовании современных систем, методов и инструментов оценки эффективности использования грузовых вагонов и разработке практических рекомендаций по совершенствованию методологии оценки применительно к специальным грузовым вагонам усовершенствованных конструкций.

Действующая система показателей оценки эффективности использования подвижного состава железных дорог в целом, и грузовых вагонов в частности делится на две основные группы:

1. Количественные, которые позволяют определить объемы перевозок грузов с использованием вагонов различных конструкций.
2. Качественные, позволяющие оценить качество выполненной работы по перевозке грузов, с использованием подвижного состава [2].

В то же время, следует отметить, что применение в процессе оценки эффективности использования специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций классических методов не всегда способно обеспечить получение достоверных и полных результатов. Это связано с тем, что в современных условиях в результате существенного влияния научно-технического прогресса, значительного увеличения объема информации усложнились взаимосвязи и экономические отношения между отдельными подразделениями железных дорог, а также между качественными и количественными показателями эксплуатационной работы.

Все эти обстоятельства являются основанием для применения более эффективных современных методов оценки, основанных на использовании методов математического моделирования и математической статистики.

Итак, с учетом вышесказанного, по мнению автора, оценка эффективности использования специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций должна проводиться через призму неделимого триумвирата эффектов, а именно: с точки зрения экономики в целом, а также с позиций потребителя и собственника таких вагонов.

Национальный уровень - для оценки эффекта на этом уровне представляется целесообразным рассчитывать мультипликационный эффект, поскольку благосостояние экономики во многом зависит от выгод, которые получает железнодорожная отрасль. К ним относятся: улучшение транспортной доступности, уменьшение времени транспортировки, рост объемов перевозок, снижение уровня выбросов вредных веществ, рост интермодальных перевозок [3]. Инвестиции в грузовую транспортную инфраструктуру характеризуются экономическим эффектом, который приводит к снижению стоимости перевозки грузов и росту возможностей для доступа на различные товарные рынки; росту экспортных возможностей, расширению производства, увеличению продаж, реструктуризации производственной линейки, снижению себестоимости продукции [4].

Таким образом, предлагаем рассчитывать экономический эффект от использования специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций с учетом мультипликативного эффекта для экономики. Для этого целесообразно применять следующую формулу:

$$E_{\text{ваг}} = m * (E_{\text{эк}} + E_{\text{экспл}} + E_{\text{бюд}} + E_{\text{мас}})$$

где $E_{\text{ваг}}$ – общий экономический эффект от использования грузовых вагонов усовершенствованных конструкций;

m – мультипликатор, учитывающий, во сколько раз изменятся итоговые показатели при изменении индикаторов экономической эффективности использования грузовых вагонов усовершенствованных конструкций;

$E_{\text{эк}}$ – средства, которые будут сэкономлены при покупке специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций;

$E_{\text{экспл}}$ – поступления в бюджет от эксплуатации специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций за счет отчислений от доходной ставки;

$E_{\text{бюд}}$ – поступления в бюджет от продаж специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций в случае их производства;

$E_{\text{мас}}$ – средства, которые будут сэкономлены от эксплуатации специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций.

Уровень потребителя. Применение традиционных экономических показателей не позволяет в полной мере учесть особенности, а соответственно и эффект, от использования потребителями специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций. Так, оценка эффективности использования указанных вагонов по показателю «тонна-километр» имеет недостатки, поскольку характеризует эффективность перевозки одной единицы груза независимо от характера, типа вагона, условий транспортировки и трудовых затрат. Критерий оценки эффективности процесса перевозки «тонна» также несовершенен, с помощью него определяется количество перевозимого груза, однако не учитываются экономические затраты, связанные с транспортировкой. Такой индикатор эффективности как рентабельность определяется на основе прибыли, а прибыль зависит от тарифов на перевозки, которые, в свою очередь, отражают не конкретную стоимость перевозок с использованием определенного типа грузового вагона, а среднюю стоимость для средних условий эксплуатации.

Таким образом, учитывая определенные недостатки показателей оценки эффективности грузовых перевозок, с целью их нивелирования при расчете потребительского эффекта от использования специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций (СГВУК) и получения наиболее полных и достоверных данных, предлагаем применять следующую формулу:

$$C = C_{\text{тек}} + C_{\text{гр}} + C_{\text{экол}} + C_{\text{инв}} + C_{\text{пост}}$$

где, $C_{\text{тек}}$ – текущие расходы за период осуществления конкретной грузовой перевозки с использованием СГВУК, руб.;

$C_{\text{гр}}$ – расходы, связанные с характеристиками конкретного груза, руб.;

$C_{\text{экол}}$ – размер платежей за выбросы в атмосферу вредных веществ при перевозке грузов, с использованием СГВУК, руб.;

$C_{\text{инв}}$ – затраты, связанные с использованием СГВУК, руб.;

$C_{\text{пост}}$ – общехозяйственные расходы предприятия, руб.

Уровень собственника. Конечно, технические характеристики специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций позволят их собственникам получать более высокую арендную плату за их использование. В то же время стоимость таких вагонов на порядок выше по сравнению с обычными. Исходя из этого, для оценки эффекта на уровне собственника, по мнению автора, следует рассчитывать инвестиционную отдачу от приобретения специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций, которая предусматривает уменьшение суммы приведенных затрат на величину ликвидационной стоимости подвижного состава. Итак, если окажется, что приведенная стоимость эксплуатационных расходов плюс сумма капиталовложений по варианту приобретения новых специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций будет меньше совокупной приведенной стоимости ремонта и эксплуатационных расходов действующего подвижного состава, можно считать решение о приобретении таких вагонов более экономически эффективным, чем вариант эксплуатации старых вагонов, о чем будет свидетельствовать выполнение следующего неравенства:

$$\sum_{i=0}^n \frac{B_{\text{экспл}}^{\text{нов}}}{(1+r)^i} + I_0 - \frac{S_n^{\text{нов}}}{(1+r)^n} \leq \sum_{i=0}^n \frac{B_{\text{экспл}}^{\text{стар}}}{(1+r)^i} + KP - \frac{S_n^{\text{стар}}}{(1+r)^n}$$

где $B_{\text{экспл}}^{\text{нов}}$, $B_{\text{экспл}}^{\text{стар}}$ – эксплуатационные расходы соответственно нового и старого подвижного состава, руб.;

I_0 – капитальные затраты на приобретение нового подвижного состава, в базовом периоде, руб.

KP^0 – запланированные затраты на капитальный ремонт старого подвижного состава в базовом периоде, руб.;

$S_n^{\text{нов}}$, $S_n^{\text{стар}}$ – величина остаточной стоимости соответственно нового и старого подвижного состава в n -периоде

(году), руб.;

r – уровень учетной ставки, %;

t – период реализации проекта (от 0 до n), где n – нормативный срок службы специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций.

Таким образом, подводя итоги проведенному исследованию, можно сделать следующие выводы. Применение для оценки эффективности использования специальных грузовых вагонов усовершенствованных конструкций традиционных методов и подходов является нецелесообразным ввиду высокой вероятности получения результатов, которые могут иметь недопустимую ошибку. По мнению автора, такую оценку целесообразно проводить через призму неделимого триумvirата эффектов – а именно: с точки зрения экономики в целом, а также с позиций потребителя и собственника таких вагонов. Для расчета каждого из указанных эффектов в статье предложен соответствующий математический инструментарий.

Список литературы/References

1. Федорович В.О. Межрегиональная интеграция грузовых компаний-операторов: новые методы управления частным вагонным парком // Региональная экономика: теория и практика. - 2016. - №10. - С. 115-127
2. Аникеева-Науменко Л.О., Лебедева Е.В. Анализ эффективности внедрения инновационных грузовых вагонов // Экономика железных дорог. - 2016. - №10. - С. 55-58.
3. Каутц В.Э. Развитие железных дорог – основа развития экономики страны // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. - 2016. - Т. 2. - С. 70-72.
4. Мачерет Д.А. Рост дальности грузовых перевозок как долгосрочная экономическая тенденция // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2016. - №3. - С. 174-178.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fedorovich V.O. Mezhhregionalnaya integraciya gruzovykh kompanij-operatorov: novye metody upravleniya privatnym vagonnym parkom [Interregional integration of cargo operator companies: new methods for managing private wagon fleet] // Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika [Regional economy: theory and practice]. -2016.-№10.-P.115-127.
2. Anikeeva-Naumenko LO, Lebedeva EV Analiz effektivnosti vnedreniya innovacionnykh gruzovykh vagonov [Analysis of the effectiveness of the introduction of innovative freight cars] // Ekonomika zheleznix dorog [Economics of railways] . - 2016. - №10. - P.55-58.
3. Kautz V.E. Razvitie zheleznix dorog - osnova razvitiya ekonomiki strany [The development of railways - the basis for the development of the country's economy] // Transportnaya infrastruktura sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region]. - 2016. - Т. 2. - P.70-72.
4. Macherit DA Rost dalnosti gruzovykh perevozok kak dolgosrochnaya ekonomicheskaya tendenciya [Growth of cargo transportation range as a long-term economic trend] // vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport] . - 2016. - № 3. - P. 174-178

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.041>

Литвинова Т.Р.¹, Елсуков С.К.², Антипов И.С.³, Королев М.П.⁴, Прияткин Д. В.⁵, Бессонов О.В.⁶, Егоров И.В.⁷.

¹Аспирант, инженер, ²младший научный сотрудник, аспирант, ^{3,4,5,6,7}студент, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация

Проведен сравнительный анализ химического состава металла, механических свойств сварных соединений, выполненных различными электродами марки УОНИ 13/55 отечественного и зарубежного производства с целью выявления электродов, обеспечивающих гарантированные механические свойства сварных соединений при рабочих температурах до -70°C. К тому же, проведены металлографические исследования зоны термического влияния.

Ключевые слова: покрытый электрод, низколегированные высокопрочные стали, хладостойкость, зона термического влияния.

Litvinova T.R.¹, Elsukov S.K.², Antipov I.S.³, Korolev M.P.⁴, Prijatkin D.V.⁵, Bessonov O.V.⁶, Egorov I.V.⁷

¹Postgraduate student, engineer, ²junior research scientist, post-graduate student, ^{3,4,5,6,7}student, Volgograd State Technical university

INVESTIGATION OF WELDING AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF COATED ELECTRODES OF LOW-ALLOY HIGH-STRENGTH STEELS

Abstract

The paper contains comparative analysis of the chemical composition of the metal and the mechanical properties of welded joints made with various electrodes of the SSSI 13/55 brand of domestic and foreign production. Its aim is to identify electrodes providing guaranteed mechanical properties of welded joints at operating temperatures down to -70 ° C. In addition, metallographic studies of the zone of thermal influence were carried out.

Keywords: coated electrode, low-alloy high-strength steel, cold resistance, heat-affected zone.

Введение

Для производства сварных металлических конструкций, предназначенных для эксплуатации в северных

районах РФ и на Арктическом шельфе актуально использовать высококачественные сварочные покрытые электроды отечественного производства, не уступающие по свойствам дорогостоящим электродам, поставляемым по импорту.

Номенклатура, качество электродов различных производителей в РФ, а также механические свойства сварных соединений, полученных с их использованием, существенно различаются, хотя в рекламных изданиях их характеристики почти всегда соответствуют действующим стандартам.

Цель настоящего исследования – выявить оптимальные марки электродов, которые обеспечивали бы гарантированные свойства сварных соединений при рабочих температурах до -70°C .

Материалы и методы исследований.

Марка сварочные электроды УОНИ 13/55 предназначена для сварки особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости. Допускается сварка электродами УОНИ 13/55 во всех пространственных положениях шва постоянным током обратной полярности. Наплавленный металл характеризуется высокой стойкостью к образованию кристаллизационных трещин и низким содержанием водорода. Электроды склонны к образованию пор при сварке по окисленным поверхностям и удлинении дуги.

Исследовали пять марок электродов различных производителей, в качестве контрольного образца использовали электроды фирмы ESAB (Швеция), выпускаемые в РФ под российским брендом – УОНИ 13/55.

Для изготовления сварных образцов использовали сталь марки 12Х2НВФА, толщина стандартных образцов для механических испытания составляла 6 мм. Перед сваркой электроды прокаливали при температуре $350-400^{\circ}\text{C}$ в течение 1,5 часов. В качестве источника сварочного тока использовали инверторный сварочный аппарат КЕМРРІ MASTER MLS-3500. Постоянный сварочный ток – 100 А, полярность – обратная. Положение сварки – нижнее. Оценку сварочных свойств электродов проводили по пятибалльной системе.

Химический состав металла сварных швов, полученных с использованием различных экспериментальных электродов и электрода фирмы ESAB под условными номерами представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав металла сварных швов.

Масс, % \ №	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Cu	Mo	W	Al	S	P
1	0,058	1,018	0,43	0,431	0,26	0,0423	0,167	0,0272	0,159	0,0067	0,012	0,015
ESAB	0,078	1,36	0,4	0,384	0,21	0,0371	0,164	—	0,145	0,0021	0,006	0,018
3	0,068	0,74	0,097	0,439	0,25	0,026	0,175	0,0205	0,2078	0,0032	0,0086	0,02
4	0,062	0,96	0,3	0,408	0,8	0,0494	0,17	0,022	0,4	0,0052	0,0092	0,017
5	0,086	0,57	0,21	0,5	2,45	0,0863	0,147	0,123	0,1802	0,0077	0,0078	0,022

Испытания проводили согласно действующим в РФ стандартам. Твердость металла сварного соединения контролировали методом Роквелла с использованием прибор для измерения твердости ТР 5014 по ГОСТ 9013-59. Ударную вязкость сварных образцов при отрицательных температурах определяли по ГОСТ 9454-78 на маятниковом копре ИО 5003-0,3-1 в криокамере модели ККМ-1М. Предел текучести и предел прочности сварных соединений измеряли на универсальной испытательной машине Zwick Z250. Структуру, морфологию и элементный состав наплавленного металла изучали с использованием инвертированного микроскопа Axiovert 40 MAT, оснащенного устройством для определения химического состава металла -оптико-эмиссионного спектрометра ARL 3460.

Результаты и их обсуждение.

Сварочно-технологические свойства исследованных электродов, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сварочно-технологические свойства электродов.

Марка электрода	Легкость возбуждения дуги	Потери на разбрызгивание	Отделимость шлаковой корки	Формирование валика	Устойчивость горения	Наличие недопустимых поверхностных дефектов
1	5	незначит.	5	5	5	нет
ESAB	3	умеренные	3	1	2	нет
3	5	незначит.	5	5	5	нет
4	4	умеренные	4	4	5	нет
5	4	незначит.	4	4	5	нет

Из таблицы 1 видно, что выбранный для сравнительной оценки массово используемый в РФ электрод фирмы ESAB обеспечивает металл сварного шва с повышенным содержанием марганца и содержит минимальное количество серы. Это дает возможность в сочетании с отличными сварочными свойствами (табл. 2) получить повышенные прочностные характеристики металла сварного шва (рис. 1-3).

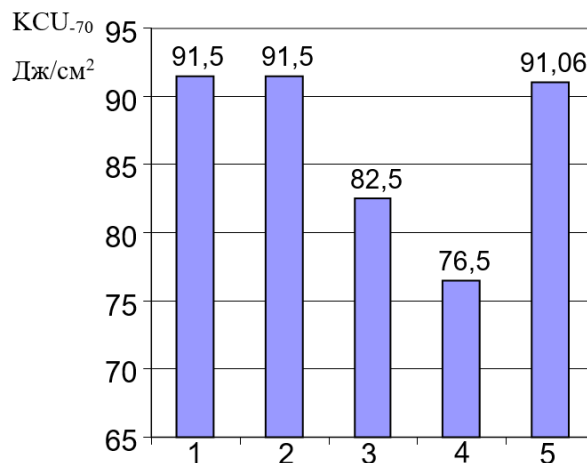


Рис. 1 – Диаграмма значений ударной вязкости при температуре сварных швов, выполненных электродами: 1 – 5 (табл. 1 и 2)

По результатам испытаний сварных швов на ударную вязкость при температуре -70°C (рис. 1), лучший результат показали электрод фирмы ESAB (позиция 2) и электрод (позиция 1), так как в наплавленном ими металле содержится минимальное количество вольфрама (0,145% и 0,159% соответственно). Повышенное содержание вольфрама в металле, наплавленном электродом (позиция 4), оказало негативный эффект на значение его ударной вязкости (рис. 1), но в то же время это способствовало увеличению прочностных характеристик (рис. 3).

Хотя введение вольфрама в стали и способствует их дисперсионному твердению в результате термической обработки (отпуска), но при увеличении его содержания в металле ухудшаются показатели его пластичности, особенно ударной вязкости при отрицательной температуре [3].

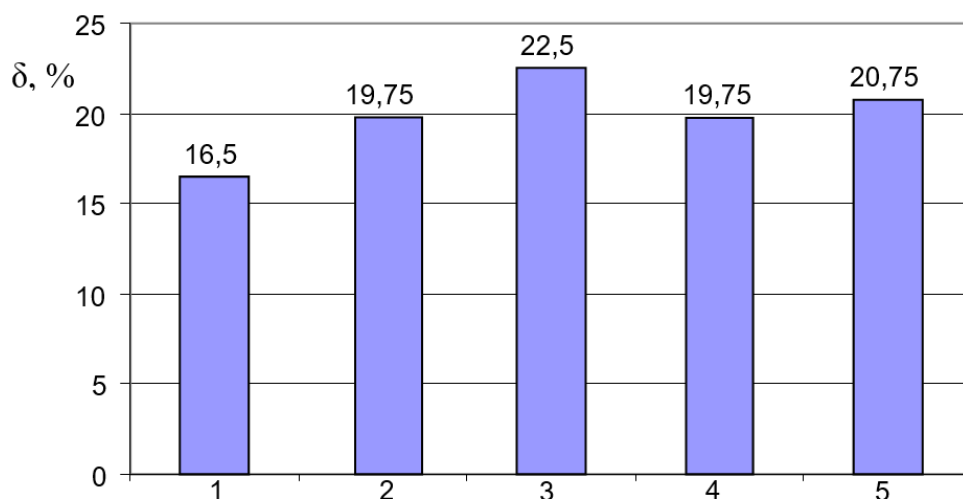


Рис. 2 – Диаграмма значений относительного удлинения δ сварных швов, выполненных электродами: 1 – 5 (табл. 1 и 2)

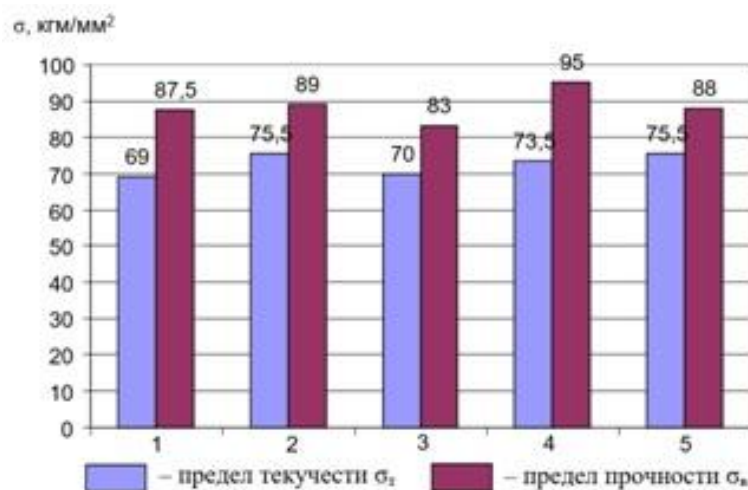


Рис. 3 – Диаграмма значений предела текучести σ_t и предела прочности σ_b сварного шва, наплавленного электродами №1-5

Исследование топологии твердости (рис. 4) и структуры металла сварных соединений (рис. 5) показывает, что неоднородность его свойств в переходной зоне термического влияния довольно высокая. Так же наблюдается резкое изменение твердости металла у образцов позиции 1 и 2. Это характерно почти для всех типов сварных образцов, что обуславливает необходимость проведения после сварки термической обработки в виде отпуска для выравнивания свойств металла в зоне термического влияния [2, 3].

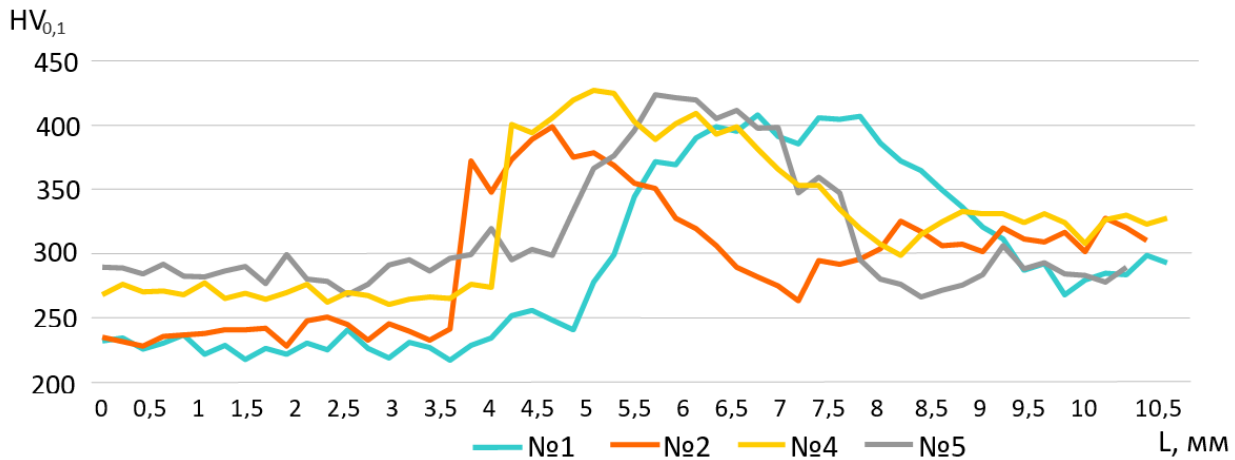


Рис. 4 – Распределение твердости в металле переходной зоны

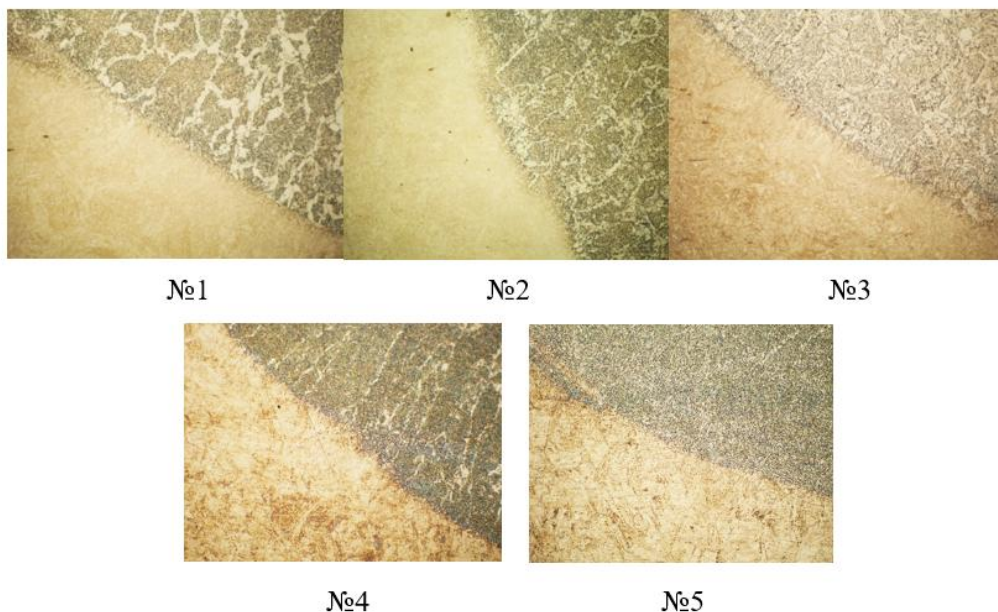


Рис. 5 – Микроструктуры металла переходных зон сварных соединений при увеличении x200, выполненных с использованием электродов №1-5 (табл. 1)

Анализируя результаты металлографических исследований, можно констатировать, что по механическим свойствам металла сварных швов отечественные аналоги лишь в некоторых случаях (поз. 3 и 4, табл. 1, 2) уступают свойствам металла электродов фирмы ESAB. Некоторое уменьшение относительного удлинения металла шва, полученного сваркой электродом поз. 1 можно объяснить повышенным содержанием неметаллических соединений алюмосиликатного происхождения. Однако, они мелкодисперсные и распределены однородно, что не влияет на величину ударной вязкости при отрицательной температуре. Снижение работы удара при -70°C для металлов (поз. 3 и 4) обусловлено наличием крупных неметаллических соединений кубоидной формы (поз. 3) и повышенного (до 0,4 масс. %) содержания вольфрама (поз. 4).

Заключение

Промышленные испытания на технологической базе ФНПЦ «Титан-Баррикады» (г. Волгоград) сварочно-технологических свойств, сваренных образцов экспериментальными электродами и электродами, которые массово применяются в машиностроении РФ показали, что качество и механические свойства сварных соединений не уступают и находятся на одном уровне с образцами отечественных и зарубежных аналогов.

Список литературы / References

1. Электроды для сварки низколегированных термообработываемых сталей, эксплуатируемых при отрицательных температурах / Ю. М. Нягай, О. С. Каковкин, Д. В. Витман, Ю. В. Сванидзе // Сварочное производство. – 1991. №6. – С. 23-25.
2. Кривоносова Е. А. Структура и хладостойкость низкоуглеродистых сварных швов / Е.А. Кривоносова // Сварка и диагностика. – 2014. – №4. – С. 11-13.

3. Лившиц Л. С. Металловедение и термическая обработка сварных соединений / Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов – М. : Машиностроение. – 1989. – 336 с.

Список литературы латинскими символами / References in Roman script

1. Elektrody dla svarki nizkolegированных termoобработанных stalej, jekspluatiruemih pri otricatel'nyh temperaturah [Electrodes for welding low-alloy heat-treated steels operated at negative temperatures] / Ju. M. Njagaj, O. S. Kakovkin, D. V. Vitman, Ju. V. Svanidze // Welding production. – 1991. №6. – p. 23-25. [In Russian]
2. Krivonosova E. A. Struktura i hladostojkost' nizkouglerodi-styh svarnyh shvov [The structure and cold resistance of low-carbon welded joints] / E.A. Krivonosova // Welding and diagnostics. – 2014. – №4. – S. 11-13. [In Russian]
3. Livshic L.S. Metallovedenie svarki i termicheskaja obrabotka svarnyh soedinenij [Metallurgy of welding and heat treatment of welded joints] / L.S. Livshic, A.N. Hakimov – M. : Mechanical engineering, – 1989 – 336 p. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.128>

Морозова Н.Е.¹, Аль-Згуль С.Х.²

¹ ORCID: 0000-0002-3063-7550, Кандидат технических наук,

Южный федеральный университет

²ORCID: 0000-0001-6182-786X, Студент 4-го курса

МГТУ им. Н.Э.Баумана,

АЛГОРИТМ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МЕМБРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация

В статье изложен алгоритм оптимизации топологии мембранных конструкций. Использован метод последовательных нагружений в сочетании с методом конечных элементов. В качестве стандартного выбран треугольный конечный элемент с девятью степенями свободы. Рассмотрен алгоритм реализации МКЭ с использованием вариационного уравнения Лагранжа в итерационном методе адаптивной эволюции, позволяющий оптимизировать топологию мембраны. В качестве варьируемого параметра топологии мембраны рассмотрена ее толщина.

Ключевые слова: мембрана, абсолютно гибкая пластина, самоорганизация, адаптивная эволюция, метод конечных элементов, топологическая оптимизация.

Morozova N. E.¹, Al-Zgul S.H.²

¹ ORCID: 0000-0002-3063-7550, PhD in Engineering,

Southern Federal University

²ORCID: 0000-0001-6182-786X, Student of the 4th course

Bauman Moscow State technical university,

TOPOLOGICAL OPTIMIZATION ALGORITHM OF MEMBRANE STRUCTURES

Abstract

The article describes an algorithm for optimizing the topology of membrane structures. The method of successive loading in combination with the finite element method was used in the research. We have chosen a triangular finite element with nine degrees of freedom as a standard. The paper considers an algorithm for the implementation of the finite element method in combination with Euler–Lagrange equation in the iterative method of adaptive evolution. It enables the optimization of the membrane topology. The thickness of the membrane is considered as a variable parameter of the membrane topology.

Keywords: membrane, absolutely flexible plate, self-organization, adaptive evolution, finite element method, topological optimization.

Широкое распространение мембранных покрытий вызвано тем, что эти конструкции широко используются и в новом строительстве зданий и сооружений различного назначения, и при реконструкции. Приоритетной задачей проектирования мембранных конструкций, является оптимизация геометрических характеристик, при соблюдении требований прочности, жесткости и устойчивости на всех этапах жизненного цикла. В статье [7] приводится подробный обзор истории развития направления оптимизационной топологии, рассматриваются способы решения задач оптимизации.

Целью данного исследования является разработка алгоритма реализации МКЭ с использованием вариационного уравнения Лагранжа в итерационном методе адаптивной эволюции, позволяющего оптимизировать топологию мембраны. В качестве варьируемого параметра топологии мембраны будем рассматривать ее толщину. Оптимальной будет являться энергетически равнопрочная мембранная конструкция с учетом ограничения на нормируемую плотность энергии деформации.

Основные зависимости, описывающие поведение абсолютно гибких пластин, построены на гипотезах технической теории пластин о недеформируемости плоских нормалей и пренебрежимой малости поперечных нормальных напряжений. В соответствии с принятыми гипотезами о поведении абсолютно гибких пластин в процессе деформирования, вектор напряжений и деформаций имеют следующий вид:

$$\sigma^T = \{\sigma_{11} \ \sigma_{22} \ \sigma_{12}\};$$

$$\varepsilon^T = \{\varepsilon_{11} \ \varepsilon_{22} \ \varepsilon_{12}\};$$

Компоненты тензора конечных деформаций $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{12}$ выражаются через перемещения срединной поверхности мембраны [1]:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{11} &= \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_3}{\partial x_1} \right)^2 \right] \\
\varepsilon_{22} &= \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_3}{\partial x_2} \right)^2 \right] \\
\varepsilon_{12} &= \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \frac{\partial u_3}{\partial x_2}
\end{aligned} \tag{1}$$

Для получения более точной картины напряженно-деформированного состояния мембраны, исследование работы конструкции в физически линейной стадии работы недостаточно. Поэтому на втором этапе должна быть учтена физическая нелинейность, предполагающая упругопластический характер работы с использованием уравнения деформационной теории пластичности.

В первом приближении расчетной схемы будем предполагать, что физические зависимости принимаются в виде обобщенного закона Гука:

$$\sigma = D_0 \varepsilon$$

$$D_0 = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{bmatrix}$$

Эффективным прямым методом для построения процедур по отысканию числовых полей неизвестных функций на основе вариационных принципов механики, является метод конечных элементов. Связь полных деформаций с полными перемещениями осуществляется через матрицу B_1 и матрицу операций дифференцирования A : $\varepsilon = B A u$.

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 + \frac{1}{2} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} & 0 & \frac{1}{2} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} & 0 & \frac{1}{2} \frac{\partial u_3}{\partial x_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \frac{\partial u_1}{\partial x_2} & 0 & 1 + \frac{1}{2} \frac{\partial u_2}{\partial x_2} & 0 & \frac{1}{2} \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \\ \frac{1}{2} \frac{\partial u_1}{\partial x_2} & 1 + \frac{1}{2} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} & \frac{1}{2} \frac{\partial u_2}{\partial x_2} & \frac{1}{2} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} & \frac{1}{2} \frac{\partial u_3}{\partial x_2} & \frac{1}{2} \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \end{bmatrix}$$

$$A^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} \end{bmatrix}$$

Геометрические зависимости в инкрементальной постановке имеют следующий вид:

$$\Delta \varepsilon = B A \Delta u$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 + \frac{\partial u_1}{\partial x_1} & 0 & \frac{\partial u_2}{\partial x_1} & 0 & \frac{\partial u_3}{\partial x_1} & 0 \\ 0 & \frac{\partial u_1}{\partial x_2} & 0 & 1 + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} & 0 & \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \\ \frac{\partial u_1}{\partial x_2} & 1 + \frac{\partial u_1}{\partial x_1} & \frac{\partial u_2}{\partial x_2} & \frac{\partial u_2}{\partial x_1} & \frac{\partial u_3}{\partial x_2} & \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \end{bmatrix}$$

$\Delta \varepsilon^T = \{ \Delta \varepsilon_{11} \ \Delta \varepsilon_{22} \ \Delta \varepsilon_{12} \}$ - вектор приращений деформаций

$$\Delta \tilde{\varepsilon}^T = \left\{ \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \right\}$$

Физические зависимости в инкрементальной форме:

$$\Delta \sigma = D_0^0 B A \Delta u$$

Система уравнений для физически линейного расчета имеет вид:

$$\begin{cases} A^T B^T D_o B_1 A u + \tilde{\gamma} = 0, & \in V \\ A_s^T B^T D_o B_1 A u - \tilde{g}_s = 0, & \in S_1 \in S_2 \\ u - u_s = 0, \end{cases} \quad (2)$$

При получении основных конечноэлементных соотношений расчета мембран используется вариационный принцип Лагранжа [6].

$$\Pi_1 = \int_{(v)} u(\varepsilon) dv - \int_{(v)} u^T \tilde{\gamma} dv - \int_{(s)} u^T \tilde{g}_s ds \quad (3)$$

где

$u(\varepsilon)$ - удельная потенциальная энергия; $\tilde{g}_s = g_s \frac{s^*}{s}$ - вектор поверхностных сил; g_s - заданный вектор поверхностных сил; s^* - деформированная элементарная площадь; s - элементарная площадь до деформации; u - перемещения срединной поверхности мембраны; $\tilde{\gamma} = \gamma \frac{V^*}{V}$ - вектор объемных сил; V^* - деформированный элементарный объем; V - элементарный объем до деформации; γ - заданный вектор объемных сил;

Условие стационарности функционала Π_1 определяется следующим уравнением

$$\delta \Pi_1 = 0, \quad (4)$$

где

$$\delta \Pi_1 = \int_{(v)} (B A \delta u)^T (\sigma^n + D_o^o B A \Delta u) dv - \int_{(v)} \delta u^T \tilde{\gamma} dv - \int_{(s)} \delta u^T \tilde{g}_s ds = 0$$

Выделяя правую часть, получаем следующую запись вариационного уравнения Лагранжа:

$$\int_{(v)} (A \delta u)^T B^T D_o^o B A \Delta u dv = \int_{(v)} \delta u^T \tilde{\gamma} dv + \int_{(s)} \delta u^T \tilde{g}_s ds - \int_{(v)} (A \delta u)^T B^T \sigma^n dv \quad (5)$$

В качестве типового используется треугольный конечный элемент с девятью степенями свободы, позволяющий аппроксимировать плоскую поверхность практически любой формы.

Для получения конечноэлементных зависимостей функцию перемещений представляем в виде:

$$u = \varphi^T q \quad (6)$$

При построении локальных интерполяционных функций используем естественные координаты. Введя обозначение, $\Phi = A \varphi^T$ перепишем вариационное уравнение (5) в следующем виде:

$$\delta q^T \left[\int_{(v)} (\Phi^T B^T D_o^o B \Phi) dv \right] \Delta q = \delta q^T \left[\int_{(v)} \varphi \tilde{\gamma} dv + \int_{(s)} \varphi \tilde{g}_s ds - \int_{(v)} \Phi^T B^T \sigma^n dv \right] \quad (7)$$

Из (7) в силу произвольности вариаций δq следует:

$$\left[\int_{(v)} (\Phi^T B^T D_o^o B \Phi) dv \right] \Delta q = \int_{(v)} \varphi \tilde{\gamma} dv + \int_{(s)} \varphi \tilde{g}_s ds - \int_{(v)} \Phi^T B^T \sigma^n dv \quad (8)$$

В результате получаем основное матричное соотношение для расчета мембран в физически линейной постановке:

$$K_k^n \Delta q^{n+1} = P^{n+1} - R^n \quad (9)$$

где

$K_k^n = \int_{(v)} (\Phi^T B^T D_o^o B \Phi) dv$ - касательная матрица жесткости треугольного конечного элемента;

$P = \int_{(v)} \varphi \tilde{\gamma} dv + \int_{(s)} \varphi \tilde{g}_s ds$ - вектор узловых сил, порожденный внешней нагрузкой;

$R^n = \int_{(v)} \Phi^T B^T \sigma^n dv$ - вектор неуравновешенных сил

$$R^n = \int_{(v)} \Phi^T B^T \sigma^n dv = \left(\int_{(v)} \Phi^T B^T D_o^o B_1 \Phi dv \right) q^n, \quad (10)$$

где $K_c^n = \int_{(v)} \Phi^T B^T D_o^o B_1 \Phi dv$ - секущая матрица жесткости.

Пренебрегая при малом шаге по нагрузке величиной $P^n - K_c^n q^n$, переходим к итерационным уравнениям метода последовательных нагружений:

$$K_c^n \Delta q^{n+1} = \Delta P^{n+1} \quad (11)$$

Для получения на 1-м шаге не вырожденной матрицы жесткости может быть использована процедура нахождения начальных перемещений с использованием известных решений Феппля [1], либо любых других решений, удовлетворяющих граничным условиям. Также для решения этой проблемы можно использовать возможность получения статического решения динамическим методом [3].

С целью оптимизации геометрических и физических параметров рассматриваемой абсолютно гибкой пластины, используем законы сохранения самоорганизующихся механических систем, изложенные в [5, С. 94-112].

Для построения уравнения адаптивной эволюции, оптимизирующего топологию мембран принимаем гипотезу о возникновении структурообразующей интервальной константы – нормируемой плотности энергии деформации. Эта интервальная константа зависит от механических характеристик материала – модуля упругости, допускаемого напряжения и т.д.

В процессе топологической оптимизации мембранной конструкции, возникающие самоорганизующиеся системы, имеющие зоны разрушения не рассматриваются.

В частности будем считать, что для элементарного объема самоорганизующейся системы разность потенциальной энергии деформации текущего состояния $d\Pi = \varepsilon dV$ и идеального изоэнергетического $d\Pi' = \varepsilon^m dV'$ стремится к нулю: $\varepsilon^m dV' - \varepsilon dV \rightarrow 0$, где V, V' - соответственно объем материала в текущем и изоэнергетическом состоянии.

Последовательность операций итерационного алгоритма, моделирующего эволюционный процесс, имеет следующий вид:

$$K_{k_r}^{m,n} \Delta q_r^{m,n+1} = \Delta P_r^{m,n+1}; \quad (12)$$

$$n=1,2,\dots,s_1; m=1,2,\dots,s_2; r=1,2,\dots,s_3,$$

s_1 – число итераций внутреннего цикла, равное числу приращений нагрузки, s_2 – число итераций внешнего цикла, необходимых для стабилизации решения, s_3 – общее число элементов.

На первом шаге внешнего цикла полагаем заданную толщину мембраны $h=h^{(1)}$. После определения узловых перемещений q^m во внутреннем цикле, для каждого конечного элемента вычисляется средняя плотность энергии деформации и уточненная толщина конечного элемента пластины h :

$$\varepsilon_r^m = (0,5(q_r^m)^T K_{k_r} q_r^m) / V_r;$$

$$h_r^{m+1} = (\varepsilon_r^m \varepsilon_n^{-1})^z h_r^m; \quad (13)$$

$$m=1,2,\dots,s_2; r=1,2,\dots,s_3,$$

$$V_r = A_r h^{(1)}, \text{ где} \quad (14)$$

A_r – площадь r -го конечного элемента

Количество итераций внешнего цикла s_2 определяется условием достижения объемом материала заданной погрешности. В процессе топологической оптимизации мембранной конструкции необходимо задавать диапазон изменения толщины, исходя из конструктивных соображений.

Изложенный в данной статье алгоритм топологической оптимизации мембранных конструкций на основе метода адаптивной эволюции самоорганизующихся механических систем, может быть реализован в виде дополнительного оптимизационного модуля к программному комплексу ЛИРА-САПР, с целью использования удобной графической среды для ввода исходной расчетной схемы и визуализации полученных результатов.

Список литературы / References

1. Kirchhoff G. Vorlesungen über mathematische Physik. Mechanik./ G.Kirchhoff— Leipzig: B. G. Teubner, 1876. — 466 P.
2. Трофимов В.И., Еремеев П.Г. Мембранные конструкции зданий и сооружений / В.И. Трофимов, П.Г. Еремеев – М.: Стройиздат, 1990. – 213 с.
3. Васильков Г.В., Морозова Н.Е. Статический расчет мембранных покрытий в физически нелинейной постановке // Рост. инж.-строит. ин-т. – Ростов н/Д, 1991. – С. 19.- Деп в ВИНТИ 2.04.1991. №1405-В-91
4. Васильков Г.В. Теория адаптивной эволюции механических систем/ Г.В. Васильков. – Ростов н/Д.: Терра-Принт, 2007. – 248 с.
5. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки / А.С. Вольмир. – М.: Гостехиздат, 1956. – 420 с.

6. Сысоева В.В., Чедрик В.В. Алгоритмы оптимизации топологии силовых конструкций / В.В. Сысоева, В.В. Чедрик // Ученые записки ЦАГИБ. – 2011. – Т. XLII–С. 91-102.

Список литературы на английском языке /References in English

1. Kirchhoff G. Vorlesungen über mathematische Physik. Mechanik. [Lectures on mathematical physics. Mechanics.] / G.Kirchhoff— Leipzig: B. G. Teubner, 1876. — 466 p.
2. Trofimov V.I., Eremeev P.G. Membrannye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij [Design of membranes for buildings and structures.] / V.A. Trofimov – M.: Strojizdat, 1990. – 213 p. [in Russian]
3. Vasil'kov G.V., Morozova N.E. Sticheskiy raschet membrannykh pokrytij v fizicheski nelinejnoj postanovke [Static analysis of membrane coating in physically nonlinear statement] / G.V.Vasil'kov, N.E. Morozova // Rost inzh -stroit in-t [Rostov civil engineering Institute].– Rostov, 1991. – P. 19. – deposited in VINITI 2.04.1991. №1405-V-91. [in Russian]
4. Vasil'kov G.V. Teorija adaptivnoj jevoljucii mehanicheskikh system [Theory of adaptive evolution of mechanical systems] / G.V.Vasil'kov – Rostov: Terra-Print, 2007. –248 p.[in Russian]
5. Vol'mir A.S. Gibkie plastinki i obolochki [Flexible plates and shells] A.S. Vol'mir – M.: Gostehizdat, 1956. –420 p. [in Russian]
6. Sysoeva V.V., Chedrik V.V. Algoritmy optimizacii topologii silovykh konstrukcij [Algorithms topology optimization of the power structures] V.V.Sysoeva, V.V.Chedrik // Uchenye zapiski TSAGIB [Scientific notes of SAHib]. – 2011. – Т. XLII– P. 91-102. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.108>

Павлова З.Х.¹, Краснов А.Н.², Балтин Р.Р.

¹Доктор технических наук,

²Кандидат технических наук,

Уфимский государственный нефтяной университет

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИЕМОПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОГРАНИЗАЦИИ СЕРСОРНЫХ СЕТЕЙ МОНИОТРИНГА ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация

В статье обоснована необходимость применения беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой отрасли, рассмотрена возможность применения LPWAN-технологий приемопередачи информации для организации сенсорных сетей мониторинга технологических параметров. Приведены достоинства и недостатки различных подходов с точки зрения организации и эксплуатации сенсорной сети. Представлены основные производители, наиболее динамично развивающиеся в России и за рубежом, а также приведены основные особенности и характеристики предлагаемых ими решений.

Ключевые слова: беспроводные технологии передачи информации, мониторинг удаленных объектов, нефтегазовая отрасль, сенсорная сеть.

Pavlova Z.H.¹, Krasnov A.N.², Baltin R.R.

¹ PhD in Engineering, Ufa State Petroleum Technological University

² PhD in Engineering, Ufa State Petroleum Technological University

MODERN TECHNOLOGIES OF TRANSMITTING MEASURING INFORMATION FOR LIMITATION OF SERIAL NETWORKS OF OBJECTS OF OIL AND GAS INDUSTRY MONITORING

Abstract

The article substantiates the necessity of using wireless sensor networks in oil and gas industry and considers the possibility of using LPWAN-technologies of data transmission for the organization of sensory networks for monitoring technological parameters. The advantages and disadvantages of different approaches are presented in terms of sensor network organization and operation. The main producers, most dynamically developing in Russia and abroad, are presented, as well as the main features and characteristics of the solutions they offer.

Keywords: wireless information transmission technologies, remote objects monitoring, oil and gas industry, sensor network.

Организация мониторинга технологических параметров и состояния оборудования на базе беспроводных сенсорных сетей набирает все большую популярность в автоматизации нефтегазовой индустрии. В первую очередь подобный подход направлен на повышение эффективности и безопасности производственного процесса, а также на снижение общих затрат (финансовых затрат).

Опыт зарубежных компаний показал, что беспроводной поход к организации сенсорных сетей может быть вполне эффективным. Так, применение системы мониторинга целостности трубопроводов на заводе по производству битума компании BP Bitumnen позволило экономить до 15600 \$ ежедневно за счет сокращения производственных потерь, а внедрение компанией BP беспроводной системы обнаружения утечек на месторождении в г. Гел (Бельгия) обеспечило экономию в 50% относительно стоимости и 90% относительно времени ввода в эксплуатацию аналогичного проводного решения [1, С. 35-36].

В России одним из наиболее вероятных направлений применения беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой отрасли видится трубопроводный транспорт, требующий сбора измерительной информации с объектов, распределенных на достаточно обширных территориях. Поскольку именно при организации масштабных сетей наиболее четко проявляются такие преимущества беспроводных технологий передачи информации как высокая автономность, удобство эксплуатации и обслуживания.

До недавнего времени беспроводная передача информации на сколь-нибудь серьезные расстояния не представлялась возможной, однако на сегодняшний день уже появились и активно развиваются сети на базе LPWAN-технологий, позволяющие решить эту проблему.

LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) представляет собой беспроводную технологию организации глобальных сетей с низким энергопотреблением. Области применения LPWAN является телеметрия, межмашинное взаимодействие и интернет вещей. Для передачи информации используются радиоканалы нелицензируемого спектра частот: 2,4 ГГц, 868/915 МГц, 433 МГц и 169 МГц. Наиболее часто используемой топологией сетей LPWAN является «звезда».

К сильным сторонам LPWAN прежде всего следует отнести:

- дальность передачи информации более 10 км (в зависимости от условий окружающей среды и используемого протокола максимальное расстояние передачи может достигать 50 км);
- отсутствие необходимости получения частотного разрешения и платы за радиочастотный спектр, вследствие использования не лицензируемых частот;
- низкое энергопотребление сети, способное обеспечить автономную работу входящих в нее устройств на 5-10 лет;
- высокую масштабируемость сети на больших территориях;
- возможность управлять временем задержки соединения, что позволяет интегрировать в сеть устройства, требующие прогнозируемого времени отклика.

К недостаткам LPWAN обычно относят:

- низкую скорость передачи данных, которая варьируется от нескольких сотен бит/с до нескольких десятков кбит/с в зависимости от используемого протокола передачи информации;
- небольшое количество передаваемых сообщений в сутки (обычно 50 - 150 сообщений);
- отсутствие единого стандарта, определяющего физический уровень сети и доступ к ней;
- короткую информационную посылку (4-20 байт).

Среди недостатков особо выделяются низкая скорость передачи данных и ограничение по количеству передаваемых сообщений. И если низкую скорость можно считать неизбежной платой за дальность передачи, то ограничение по количеству передаваемых сообщений представляет собой существенное препятствие, не позволяющее применять LPWAN для построения систем мониторинга количественно изменяющихся параметров в реальном времени.

В настоящее время наиболее динамично развивающимися решениями LPWAN являются: SIGFOX, LoRaWAN, RPMA и Стриж.

Технология SIGFOX, разработанная одноименной французской компанией, появилась в 2009 году. К ее особенностям следует отнести использование протоколов сетевого уровня, закрытых для общего доступа, а также возможность как одно- так и двунаправленной передачи информации. Имеется ограничение по передаваемым сообщениям: устройство может отправлять на базовую станцию до 140 сообщений в день, станция – не более 4 сообщений. В настоящее время сети компании SIGFOX в России отсутствуют, однако достаточно широко распространены в Европе [2]. Технология позволяет передавать информацию на расстояние до 10 км в городе и до 50 км на открытой местности. Каждое передаваемое сообщение содержит в себе уникальный закрытый ключ, позволяющий предотвратить подмену, изменение или воспроизведение подлинных сообщений третьей стороной. Скорость передачи данных составляет около 240 бит/сек. Протокол SIGFOX совместим с уже существующими трансиверами.

RPMA (Random phase multiple access) – проприетарная технология двунаправленной передачи данных, разработанная американской компанией Ingenu. Передача информации по RPMA сети осуществляется на частоте 2,4 ГГц, что сопряжено с большими потерями мощности сигнала при столкновении с препятствиями, чем при организации приемопередачи на каналах субгигагерцевого диапазона частот. Максимальное расстояние передачи варьируется в пределах 1-3 км в городе и 5-10 км на открытом пространстве. Скорость передачи данных от устройства к базовой станции 624 Кбит/с, от базовой станции к устройству 156 Кбит/с. Длина пакета данных может варьироваться от 6 бит до 10 Кбит. Безопасность информационного обмена обеспечивается шифрованием по AES-128. Основное развитие технология получила пока только в США.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) - открытый стандарт, объединяющий протокол для организации высокоскоростных (поддержка до 1000000 устройств) сетей и особый метод модуляции LoRa (Long Range), которая основывается на технологии модуляции с расширенным спектром и вариации линейной частотной модуляции (Chirp Spread Spectrum, CSS) с интегрированной прямой коррекцией ошибок (Forward Error Correction, FEC) [3, С. 110]. В России продвижением стандарта занимается компания Everynet (ООО «LACE»).

LoRaWAN позволяет организовать сеть по топологии «звезда из звезд» и осуществлять двунаправленную передачу информации на расстоянии до 15 километров с адаптивной скоростью передачи данных 0,3 - 50 Кбит/с и возможностью выбора пользователем размера пакета данных. Безопасность передаваемых данных осуществляется посредством использования трех уровней шифрования: сетевого, уровня приложения и уровня устройства, подразумевающих наличие уникального ключа.

Стриж – российская LPWAN-технология, основанная на протоколе собственной разработки Marcato 2.0. Технологией предусмотрена возможность управления приборами по обратному каналу связи. Передача данных, по заявлению производителя, может осуществляться на расстоянии до 50 км при условии отсутствия препятствий в области прямой видимости. Скорость информационного обмена в зависимости от загруженности сети лежит в пределах 50-25600 бит/с. К достоинствам технологии следует отнести шифрование передаваемых данных по AES-128, возможность организации сети на сервере пользователя и способность технологии обеспечить передачу до 500 сообщений в минуту. В то же время максимальный размер передаваемого сообщения ограничен 8 битами. На

сегодняшний день сетью Стриж покрыта территория Москвы, имеется частичный охват территорий Московской области, Санкт-Петербурга, Перми, Уфы и других крупных городов [4].

Таким образом, интенсивная динамика развития наряду такими достоинствами как дальность передачи информации, использование бесплатного нелицензируемого диапазона частот и низкое энергопотребление сети делает применение LPWAN-технологий весьма перспективным для организации систем мониторинга удаленных объектов в нефтегазовой отрасли. Однако низкая скорость передачи наряду с ограничением по количеству передаваемых сообщений, не позволяет применять технологию для контроля технологических параметров в режиме реального времени. Наиболее вероятным видится применение LPWAN для организации систем сигнализации, не требующих непрерывного информационного обмена.

Список литературы / References

1. Рейч Н. Преимущества развертывания сенсорных сетей в нефтегазовой индустрии / Н. Рейч // Control Engineering Россия. – 2015, – №3(57). – С. 33 - 36.
2. SIGFOX [Электронный ресурс]: – URL: <http://sigfox.com/en/coverage> (дата обращения: 27.03.2017).
3. Верхулевский К. LoRa – все, что вы хотели знать об этом / К. Верхулевский // Компоненты и технологии. – 2016, – №3. – С. 110 - 114.
4. Стриж. Карта покрытия регионов [Электронный ресурс]: – URL: <http://uchet-jkh.ru/o-tehnologii-strij/karta-pokrytiya> (дата обращения: 30.03.2017).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rach N. Preimushhestva razvertyvaniya sensorynyh setej v neftegazovoj industrii [Advantages of deploying sensor networks in the oil and gas industry] / N. Rach // Control Engineering Rossija [Control Engineering Russia]. – 2015, – №3(57). – С. 33 - 36. [in Russian]
2. SIGFOX [Electronic resource]: – URL: <http://sigfox.com/en/coverage> (accessed:27.03.2017).
3. Verhulevskij K. LoRa – vse, chto vy hoteli znat' ob jetom [LoRa - everything you wanted to know about it] / K. Verhulevskij // Komponenty i tehnologii [Components and technologies]. – 2016, – №3. – С. 110 - 114. [in Russian]
4. Strizh. Karta pokrytija regionov [Strizh. Coverage map of regions] [Electronic resource]: – URL: <http://sigfox.com/en/coverage> (accessed:27.03.2017).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.061>

Погребняк И.В.¹, Тропченко А.Ю.²

¹ORCID: 0000-0003-2500-924X, Студент, Университет ИТМО,

²ORCID: 0000-0003-2666-9522, Профессор, Доктор технических наук, Университет ИТМО

РАСПОЗНАВАНИЕ СИМВОЛОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, СОДЕРЖАЩИХ ИСКАЖЕНИЯ

Аннотация

Проведен анализ эффективности методов оптического распознавания символов, решающих проблему наличия на изображении различных видов искажений. Предложены критерии оценки эффективности. Подготовлены наборы исходных данных для проведения измерений. Выполнены измерения критериев оценки эффективности анализируемых методов для каждого из наборов исходных данных. Выбраны методы с лучшими показателями критериев по результатам измерений. Предложен алгоритм распознавания символов на основании выбранных методов.

Ключевые слова: оптическое распознавание символов, компьютерное зрение, искажения, неоднородность освещения, шумы печати.

Pogrebnyak I.V.¹, Tropchenko A.U.²

¹ORCID: 0000-0003-2500-924X, Student, ITMO University,

²ORCID: 0000-0003-2666-9522, Professor, PhD in Engineering, ITMO University

RECOGNITION OF CHARACTERS ON IMAGES WITH DISTORTIONS

Abstract

The paper presents the results of performance analysis of optical character recognition methods, which solve the problem of various kinds of distortions on images. The criteria for performance evaluation are proposed in the study. The sets of initial data for the measurements were prepared; the criteria for performance evaluation of the analyzed methods were estimated for each of the sets of source data. According to the estimation, the methods with better results of measurements were defined. The author proposed the algorithm for character recognition based on the selected methods.

Keywords: optical character recognition, computer vision, distortion, non-uniformity of illumination, printing noise.

Оптическое распознавание символов - это процесс, реализующий перевод изображения печатного, машинописного или рукописного текста в текстовые данные, представленные в электронном виде [1]. Качество выполнения данного процесса зависит от состояния исходных данных, то есть изображения. Состояние изображения характеризуется наличием или отсутствием на изображении:

- различных шрифтов, размеров символов;
- различных и сходных, способов написания символов;
- искажений:
 - шумы;
 - неоднородность освещения;
 - шумы печати – смещение символов, разрывы между частями одного и того же символа;
 - ложные знаки.

Существует ряд открытых систем оптического распознавания символов. В ходе проведения анализа данных систем установлено отсутствие возможности распознавания символов с изображений, содержащих искажения, используемыми в них алгоритмами [2]. В связи с этим целью исследования, приведенного в данной статье, является разработка алгоритма распознавания на основании анализа эффективности методов, решающих проблему наличия искажений на изображениях.

Процесс оптического распознавания символов состоит из этапов: восприятия, предобработки, сегментации и собственно распознавания. На каждом из этапов решается проблема наличия определенных искажений. Анализ эффективности методов проводится по следующему принципу: на вход анализируемого метода подаются наборы исходных данных, после выполнения преобразования происходит оценка соответствия результата с эталонным значением на основании определенных заранее критериев.

1. Проблема наличия неоднородности освещения

В зависимости от алгоритма, данная проблема решается либо на этапе восприятия, либо на этапе сегментации, с помощью методов локальной пороговой обработки, которые выполняют операцию бинаризации. В рамках исследования проведен анализ следующих методов: среднего порогового значения, Бернсена [3], Ниблэка [4], Саувола [5], Вульфа [6] и Брэдли-Рота [7]. Указанные методы отличаются способом вычисления порога.

В качестве критерия оценки эффективности предложена точность бинаризации изображения, определяемая как:

- коэффициент корректно преобразованных пикселей объекта:

$$k_p = \frac{c_p}{p}, \text{ где } c_p - \text{число корректно преобразованных пикселей объекта, } p - \text{число пикселей объекта;}$$

- точность преобразования:

$$A_p = 1 - \frac{(i_p + d_p)}{p_i}, \text{ где } i_p, d_p - \text{число ошибочно вставленных и удаленных пикселей объекта, } p_i - \text{число пикселей изображения.}$$

В качестве исходных данных выбраны наборы изображений с различными значениями параметров: глобальной контрастности [8], минимального уровня прозрачности в области тени и процента области, занимаемой тенью.

Результаты измерений представлены на рисунках 1-3. По результатам измерений метод Брэдли-Рота является наиболее эффективным, поскольку содержит высокие показатели оценки точности бинаризации (рис. 1) и наименьшее время выполнения (рис. 2), однако он подвержен влиянию со стороны глобальной контрастности изображения (рис. 3). Методы среднего порогового значения и Вульфа в условиях наличия тени (рис. 1) содержат низкие значения коэффициента корректно преобразованных пикселей объекта k_p , но в условиях изменения контрастности (рис. 3) данные методы показывают одни из лучших результатов. После выполнения методов Бенсена и Ниблэка наблюдается большой процент шумов печати, что приводит к снижению коэффициента точности преобразования A_p .

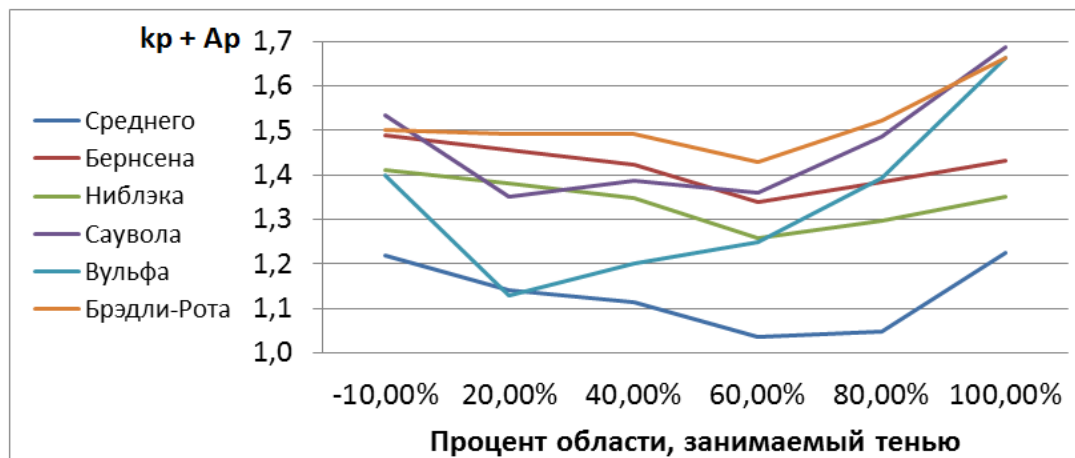


Рис. 1 – Зависимость среднего значения точности бинаризации ($k_p + A_p$), рассчитанного на основании варьирования параметра минимального уровня прозрачности в области тени, от процента области, занимаемой тенью

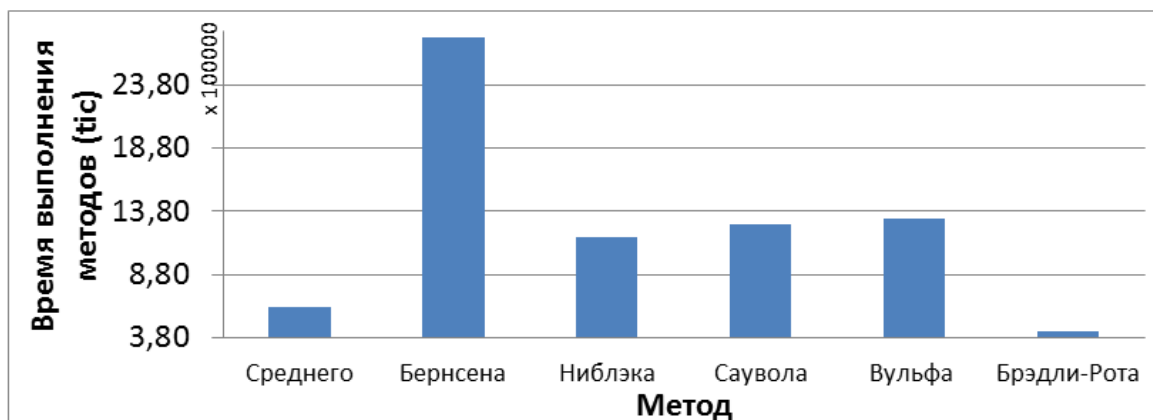


Рис. 2 – Время выполнения методов

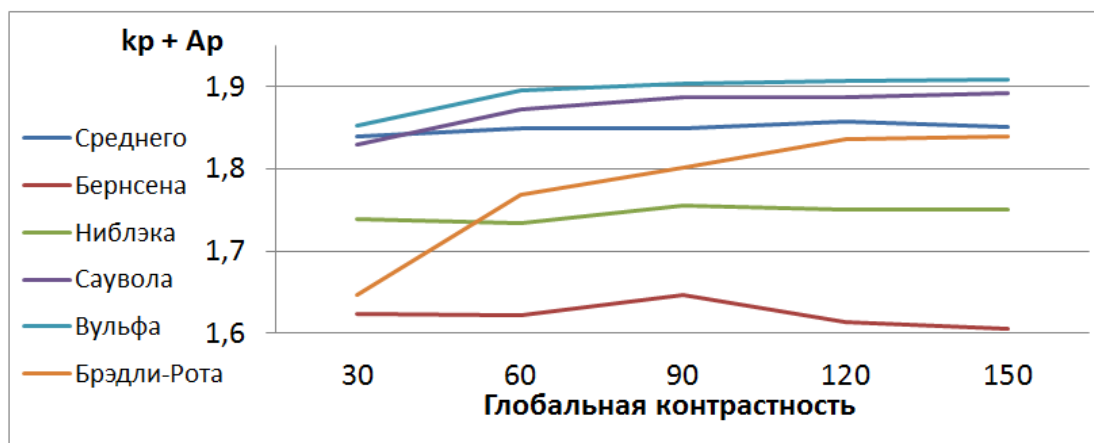


Рис. 3 – Зависимость точности бинаризации (кр+Ар) от глобальной контрастности изображения

2. Проблема наличия шума

Данная проблема решается на этапе предобработки с помощью фильтров шума. В рамках исследования проведен анализ следующих фильтров [8] - среднеарифметического, среднегеометрического, среднегармонического, контргармонического, медианного, максимума, минимума, срединной точки, усеченного среднего и адаптивного фильтра Винера.

В качестве критерия оценки эффективности фильтров выбран коэффициент корреляции Пирсона, который позволяет установить уровень схожести изображения без зашумления и восстановленного после зашумления:

$$k = \frac{\sum_x \sum_y (a(x,y) - \bar{a}) * (b(x,y) - \bar{b})}{\sqrt{(\sum_x \sum_y (a(x,y) - \bar{a})^2) * (\sum_x \sum_y (b(x,y) - \bar{b})^2)}},$$

где x, y – координаты пикселя, a, b – изображение без зашумления и восстановленное; \bar{a}, \bar{b} – среднее арифметическое яркости изображений.

В качестве исходных данных выбраны наборы изображений с различными видами шума и с различными уровнями шума, где уровни шума – это количество шума на изображении. К исследуемым видам шума относятся [8]: равномерный (а), Гауссов (б), логарифмически нормальный (с), Реллея (д), экспоненциальный (е), Эрланга (ф), импульсный (г), Пуассона (h) и мультипликативный шум (i).

Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Тепловая карта средних значений коэффициента корреляции Пирсона для всех уровней шума.

Шум \ Фильтр	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Среднеарифметический	0,609	0,569	0,308	0,219	0,676	0,316	0,407	0,754	0,533
Среднегеометрический	0,442	0,432	0,159	0,113	0,547	0,183	0,135	0,644	0,352
Среднегармонический	0,48	0,42	0,187	0,135	0,566	0,213	0,12	0,637	0,326
Контргармонический	0,674	0,425	0,527	0,432	0,672	0,489	0,465	0,675	0,415
Медианный	0,513	0,544	0,323	0,238	0,591	0,319	0,416	0,74	0,509
Максимум	0,121	0,25	0,079	0,063	0,19	0,086	0,156	0,384	0,273
Минимум	0,571	0,373	0,357	0,283	0,588	0,335	0,131	0,593	0,267
Срединной точки	0,572	0,397	0,357	0,283	0,594	0,335	0,145	0,617	0,341
Усеченного среднего	0,56	0,566	0,381	0,293	0,635	0,367	0,436	0,762	0,531
Винера	0,721	0,658	0,466	0,347	0,827	0,455	0,425	0,943	0,592

По результатам измерений фильтр Винера является наиболее эффективным, потому что имеет наиболее частый высокий показатель корреляции (табл. 1). Наиболее удачными для восстановления являются шумы равномерный, экспоненциальный, Пуассона, а наименее удачными логарифмически нормальный, Реллея, Эрланга, импульсный.

3. Проблема наличия шумов печати

Данная проблема решается на этапе предобработки с помощью операций морфологической фильтрации [9]. В рамках исследования проведен анализ операций: размыкание, замыкание.

В качестве критерия оценки эффективности методов предложена точность морфологической фильтрации изображения, определяемая как:

- коэффициент корректно преобразованных пикселей объекта:

$$k_p = \frac{c_p}{p}, \text{ где } c_p - \text{число корректно преобразованных пикселей объекта, } p - \text{число пикселей объекта;}$$

- число ошибок:

$$E_p = (i_p + d_p), \text{ где } i_p, d_p - \text{число ошибочно вставленных и удаленных пикселей объекта.}$$

В качестве исходных данных выбраны наборы изображений с различным процентом шумов печати, а также различные структурные элементы: квадрат (а), прямоугольник (b), ромб (с), восьмиугольник (d), круг (е), линия с углом наклона 45° (f). Структурный элемент – это маска фильтра в морфологических операциях [9].

Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость точности морфологической фильтрации от процента шума печати на изображении для различных параметров.

Параметр	Значение	Метод	Процент шума печати на изображении					
			0%		15%		30%	
			Точность морфологической фильтрации					
			к _р	Е _р	к _р	Е _р	к _р	Е _р
Структурный элемент (СЭ)*	a	Замыкание	1	9	0,973	127	0,907	299
	b		1	19	0,978	131	0,919	311
	c		1	165	0,972	319	0,916	477
	d		1	600	0,986	727	0,945	889
	e		1	165	0,972	319	0,916	477
	f		1	0	0,942	151	0,871	346
	a	Размыкание	0,859	203	0,768	358	0,713	486
	b		0,756	347	0,667	498	0,624	595
	c		0,031	1393	0,031	1393	0,020	1412
	d		0	1437	0	1437	0	1437
	e		0,031	1393	0,031	1393	0,020	1412
	f		1	0	0,942	151	0,871	346
Размер СЭ**	4	Размыкание	0,529	677	0,450	807	0,414	890
	2		1	0	0,942	151	0,871	346
Толщина линии символа**	3-10	Размыкание	1	0	0,953	875	0,950	993
	2- 4		1	0	0,942	151	0,871	346
	3-10	Замыкание	1	26	0,963	792	0,961	901
	2-4		1	9	0,973	127	0,907	299

Примечание: * – размеры СЭ: квадрат 2:2 (а), прямоугольник 3:2 (b), длина линия 2 (f), радиус остальных СЭ равен 2; ** – размеры измеряются в пикселях.

По результатам измерений (табл. 2) операция замыкание является наиболее эффективной, по причине наличия высокого показателя точности морфологической фильтрации для всех видов структурных элементов. Лучшим структурным элементом для операции замыкание является квадрат, поскольку число ошибок E_p наименьшее для данного элемента, а для операции размыкание – линия. Использование структурного элемента меньшего размера приводит к лучшим результатам. На результат работы методов оказывает влияние толщина линии символа.

4. Проблема наличия различных размеров, форм, наклонов символов

Данная проблема решается на этапе распознавания, методом, выбор которого производился по результатам сравнения свойств методов распознавания на присутствие инвариантности к различным состояниям изображения и возможности использования изображения в качестве входного значения (табл. 3). Выбранным методом является сверточная нейронная сеть (НС) (рис. 4).

Таблица 3 – Сравнение свойств методов распознавания

Метод	Входное значение – изображение	Инвариантность к			
		искажениям	углу	положению	размеру
Дерево решений	-	-	-	-	-
Генетические алгоритмы	-	-	-	-	-
НС Хопфилда	+	+	-	-	-
НС высокого порядка	+	-	+	-	+
Сверточная НС	+	+	+	+	-

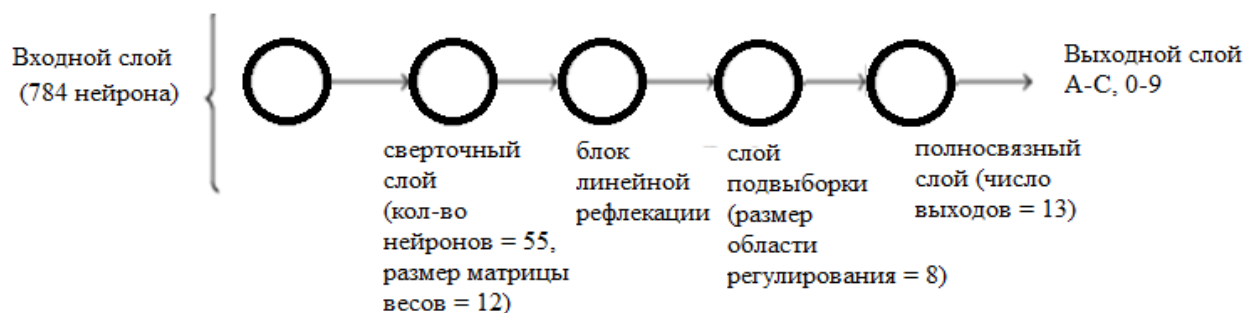


Рис. 4 – Архитектура сверточной нейронной сети

В качестве критерия оценки эффективности метода выбрана точность распознавания символов:

$$A_s = \frac{C_{\text{true}}}{C_{\text{count}}}, \text{ где } C_{\text{true}} - \text{число корректно распознанных символов, } C_{\text{count}} - \text{число символов.}$$

В качестве исходных данных выбраны наборы изображений: без искажения (а), с различными формами и размерами символов (б), с различным наклоном символов (с), с Гауссовым шумом (д), с символами со сходным написанием (е), с шумами печати и ложными знаками (ф).

Результаты измерения точности распознавания символов для каждого из наборов изображений представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Точность распознавания символов

Параметр	Вид искажения					
	а	б	с	д	е	ф
A_s	0,9995	0,9936	0,9947	0,9806	0,9312	0,8606

Исходя из результатов измерений размеры, углы наклона и формы символов влияют на результат работы сверточной НС незначительно. Значительное влияние оказывают шумы печати и сходное написание символов.

Алгоритм распознавания символов

На основании анализа эффективности методов, решающих проблему наличия искажений на изображениях, предложен алгоритм распознавания, состоящий из следующих этапов:

- Предобработка:
 - применение адаптивного фильтра Винера;
 - применение морфологической операции закрытия в случае наличия шумов печати;
- Сегментация:
 - оценка контрастности изображения;
 - увеличение контрастности при необходимости;
 - применение метода Брэдли-Рота;
 - сегментация символов;
- Распознавание:
 - сверточная нейронная сеть.

Список литературы / References

1. Cheriet M. Character recognition systems: a guide for students and practioners / M. Cheriet. - John Wiley & Sons, 2007. – 326 p.
2. Погребняк И. В. Анализ эффективности систем оптического распознавания символов / И. В. Погребняк // Сборник трудов VII научно-практической конференции молодых ученых «Вычислительные системы и сети (Майоровские чтения)». - 2016. - С. 130—133.

3. Bernsen J. Dynamic thresholding of grey-level images / J. Bernsen // Proc. 8th ICPR. – 1986. – Vol.1 – P. 1251-1255.
4. Niblack W. An Introduction to Digital image processing / W. Niblack. - Prentice Hall, 1986. - 215 p.
5. Sauvola J. Adaptive document image binarization / J. Sauvola, M. Pietikainen // Pattern Recognition. – 2000. – Vol. 33 – P. 225–236.
6. Wolf C. Text localization, enhancement and binarization in multimedia documents / C. Wolf, J. M. Jolion, F. Chassaing // International Conference on Pattern Recognition. – 2002. – Vol. 4 – P. 1037–1040.
7. Bradley D. Adaptive Thresholding Using the Integral Image / D. Bradley, G. Roth // Journal of Graphics Tools. – 2007. - Vol. 12(2). - P. 13-21.
8. Соловьев Н. В. Улучшение качества растровых изображений: Учеб. пособие / Н. В. Соловьев, А. М. Сергеев. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. - 158 с.
9. Zhou H. Digital Image Processing: Part II / H. Zhou, J. Wu, J. Zhang. - Ventus Publishing ApS, 2010. – 92 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Cheriet M. Character recognition systems: a guide for students and practioners / M. Cheriet. - John Wiley & Sons, 2007. – 326 p.
2. Pogrebnyak I. V. Analiz effektivnosti sistem opticheskogo raspoznavaniya simvolov [Efficiency analysis of optical character recognition systems] / I. V. Pogrebnyak // Sbornik trudov VII nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchennyh «Vichislitelnye sistemy i seti (Majorovskie chtenija)» [Proceedings of the scientific and practical conference of young scientists «Computing systems and networks (Mayorov's readings)»]. - 2016. - P. 130—133. [in Russian]
3. Bernsen J. Dynamic thresholding of grey-level images / J. Bernsen // Proc. 8th ICPR. – 1986. – Vol.1 – P. 1251-1255.
4. Niblack W. An Introduction to Digital image processing / W. Niblack. - Prentice Hall, 1986. - 215 p.
5. Sauvola J. Adaptive document image binarization / J. Sauvola, M. Pietikainen // Pattern Recognition. – 2000. – Vol. 33 – P. 225–236.
6. Wolf C. Text localization, enhancement and binarization in multimedia documents / C. Wolf, J. M. Jolion, F. Chassaing // International Conference on Pattern Recognition. – 2002. – Vol. 4 – P. 1037–1040.
7. Bradley D. Adaptive Thresholding Using the Integral Image / D. Bradley, G. Roth // Journal of Graphics Tools. – 2007. - Vol. 12(2). - P. 13-21.
8. Soloviev N. V. Uluchshenie kachestva rastrovyyh izobrazhenij: Ucheb. posobie [Improving the quality of raster images: Educational allowance] / N. V. Soloviev, A. M. Sergeev. - SPb.: SPbGU ITMO, 2010. - 158 p. [in Russian]
9. Zhou H. Digital Image Processing: Part II / H. Zhou, J. Wu, J. Zhang. - Ventus Publishing ApS, 2010. – 92 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.059>

Подгорный Ю.И.¹, Мартынова Т.Г.², Скиба В.Ю.³, Косилов А.С.⁴, Печоркина Н.С.⁵

¹ Доктор технических наук, профессор; ² Кандидат технических наук;

³ ORCID: 0000-0002-8242-2295, Кандидат технических наук, доцент; ⁴ студент; ⁵ студент,

Новосибирский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПЕРЕМЕШИВАНИИ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ

Аннотация

В процессе перемешивания сыпучих смесей могут образовываться «мертвые» зоны. Одним из способов ликвидации таких зон является сообщение рабочему органу смесителя дополнительного возвратно-поступательного движения. В работе представлено обоснование выбора механизма привода возвратно-поступательного движения рабочего органа экспериментальной установки смесителя. Приведены схемы и расчеты конструктивных параметров четырех рычажных механизмов, позволяющих получить перемещение выходного звена в пределах заданного хода вдоль оси x. Обоснован выбор эксцентриково-рычажного механизма.

Ключевые слова: группы Ассура, рычажный механизм, геометрический синтез, кинематический анализ.

Podgornyj Yu. I.¹, Martynova T.G.², Skeebe V. Yu.³, Kosilov A.S.⁴, Pechorkina N.S.⁵

¹ DSc in Engineering, Professor; ² PhD in Engineering;

³ ORCID: 0000-0002-8242-2295, PhD in Engineering, Associate professor; ⁴ Student; ⁵ Student, Novosibirsk State Technical University

DETERMINATION OF KINEMATIC PARAMETERS OF THE EXPERIMENTAL ASSEMBLY AT MIXING OF LOOSE MIXTURES

Abstract

During the mixing of loose mixtures, the so-called "dead" zones can appear. One of the ways to eliminate such zones is to coerce the working body of a mixer with additional reciprocating motion. The paper presents the substantiation of the choice of the mechanism for reciprocating motion actuating device of the working body in the mixer experimental assembly. The schemes and calculations of the design parameters of the four lever mechanisms are given, they allow to obtain the displacement of the output link within the specified stroke along the X axis. The choice of the eccentric-lever mechanism is justified.

Keywords: Assur group, lever mechanism, geometric synthesis, kinematic analysis.

Введение

В настоящее время выпускается большое количество многокомпонентных сыпучих смесей для их применения в различных отраслях промышленности, строительства и сельского хозяйства. Процесс смешивания

зависит от конструкции смесителя и заключается в выравнивании концентраций каждого из компонентов по всему объему рабочей камеры с образованием однородной смеси [1-6].

Наибольшее распространение получили следующие способы: механические (движущимися лопастями; вращающейся рабочей камерой смесителя; пропусканием массы через сопла); пневматические и гидравлические (сжатым воздухом; паром; жидкостью); импульсные (вибрацией; ультразвуком). Наиболее простым способом перемешивания является механический [7-9].

Чаще всего механическое перемешивание осуществляется в смесителях с помощью лопастных рабочих органов, которым сообщается вращательное движение либо непосредственно от электродвигателя, либо через передаточный механизм. При постоянной скорости их вращения могут образовываться «мертвые» зоны, т.е. некоторая часть смеси оказывается не перемешанной, что ухудшает качество продукта. Одним из способов ликвидации такого явления может служить применение дополнительного возвратно-поступательного движения рабочих органов.

В связи с тем, что проведение экспериментальных исследований смесителя в условиях производства не представляется возможным, необходимо было создать экспериментальную установку.

Целью данной работы является выбор механизма привода возвратно-поступательного движения рабочего органа экспериментальной установки смесителя. В связи с чем были решены следующие задачи: произведен выбор отдельных групп Ассур, позволивший синтезировать четыре вида механизмов. По результатам синтеза осуществлен выбор наиболее рациональной схемы механизма, для которой проведен кинематический анализ.

Теория

Анализ литературных источников указывает на то, что наиболее простыми и надежными являются рычажные механизмы, которые предлагаются для исследования и применения в конструкции экспериментальной установки смесителя [10], [11], [12], [13], [14].

Для выбора кинематической схемы был рассмотрен ряд структурных групп Ассур 2-го класса 1-го, 2-го и 3-го видов [13]. Из всего многообразия исследованных механизмов были выбраны четыре наиболее простые схемы: кривошипно-ползунный, четырехзвенный, кулисный и эксцентриково-кулисный (рис. 1-4).

Они позволяют получить перемещение выходного звена в пределах заданного хода вдоль оси x .

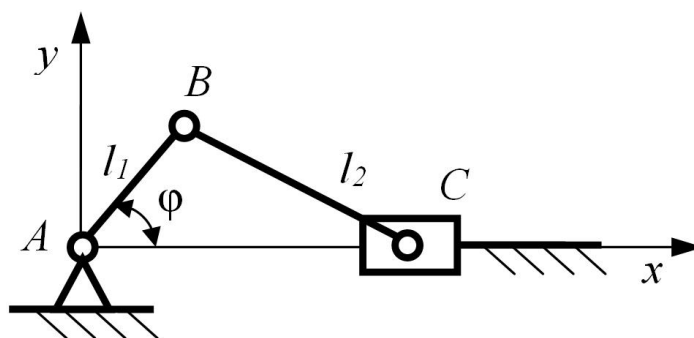


Рис. 1 – Структурная схема кривошипно-ползунного механизма

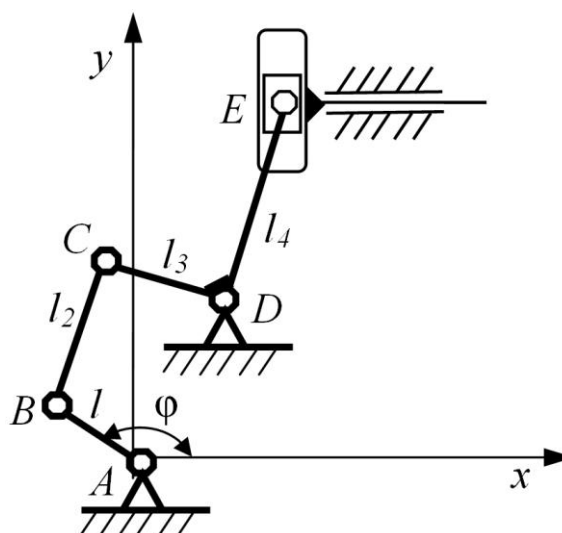


Рис. 2 – Структурная схема четырехзвенного механизма

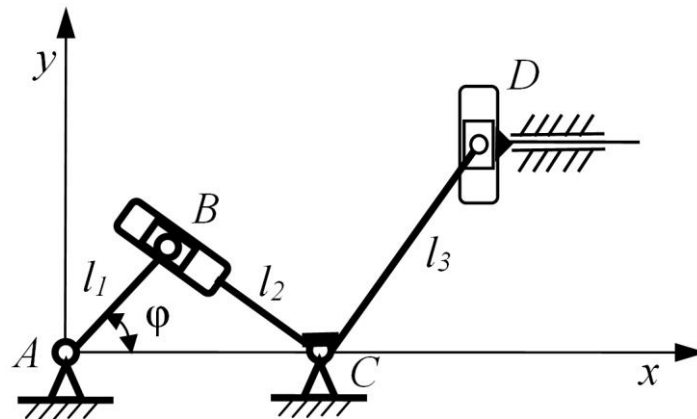


Рис. 3 – Структурная схема кулисного механизма

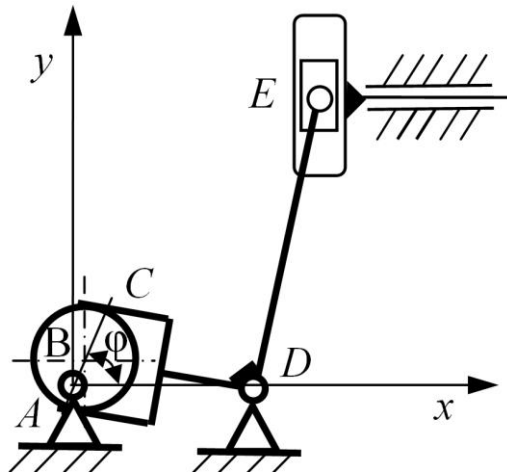


Рис. 4 – Структурная схема эксцентриково-рычажного механизма

Результаты и обсуждение

Для определения конструктивных параметров выбранных механизмов проводился геометрический синтез для каждого из них.

Кривошипно-ползунный механизм (рис. 1).

На основании структурной схемы (рис. 5) и с учетом хода конечного звена (CC_1), была определена длина кривошипа, которая составила 0,030 м. Размер шатуна, равный 0,080 м, определялся, исходя из конструктивных соображений и из условия существования механизма $AB \leq BC$.

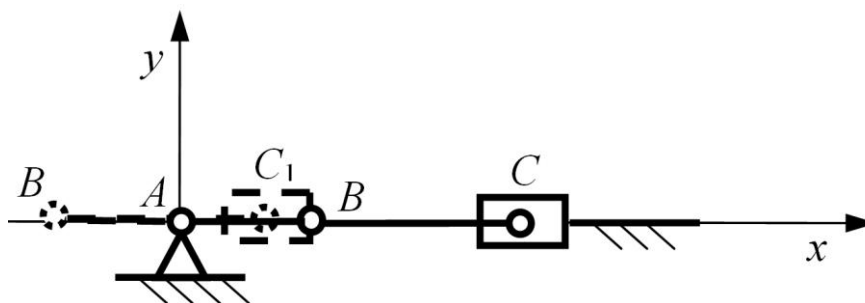


Рис. 5 – Расчетная схема для кривошипно-ползунного механизма

Четырехзвенный механизм (рис. 2)

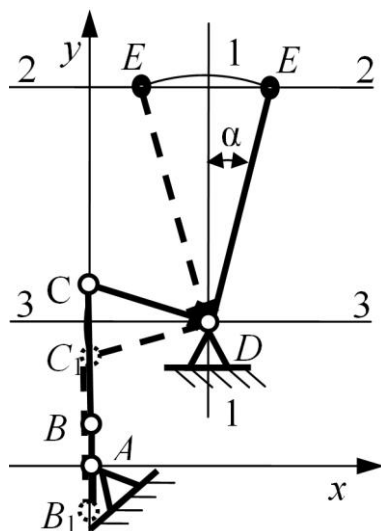


Рис. 6 – Расчетная схема для четырехзвенного механизма

Синтез четырехзвенного механизма выполнялся на основании хода звена DE и передаточного отношения рычагов $CD/DE = 1/2$ (рис. 6).

Из треугольника DEE_1 был определен угол α в соответствии с выражением

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{EE_1}{2DE}\right)$$

его значение составило $\alpha = 0,145$ рад.

На основании конструктивных соображений размер шатуна был принят 0,103 м в соответствии с условием существования четырехзвенного механизма:

$$AB < BC < CD < AD; AB + AD \leq BC + CD.$$

Кулисный механизм (рис. 3).

На рисунке 7 представлена расчетная схема кулисного механизма в соответствии с которой проведен его синтез с учетом перемещения ведомого звена и передаточного отношения (BC/CD).

В результате проведенного синтеза был определен угол α по выражения:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{DD_1}{2CD}\right),$$

он составил 0,145 рад.

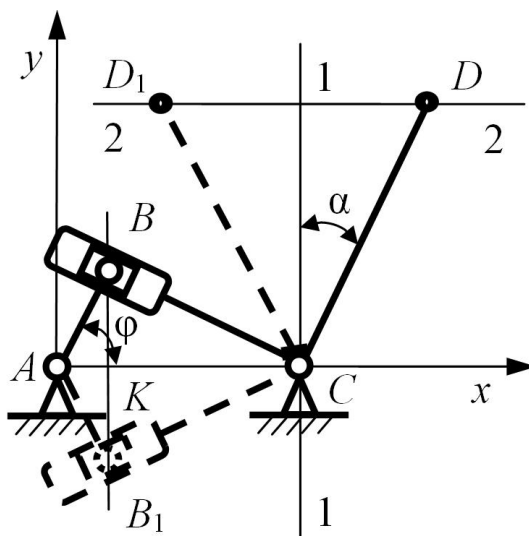


Рис. 7 – Расчетная схема кулисного механизма

Длина кривошипа АВ, равная 0,015 м, рассчитывалась на основании формулы:

$$AB = \frac{BC \cdot \sin(\alpha)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}$$

Из треугольника ABC в соответствии с выражением:

$$AC = AB \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + BC \cdot \cos(\alpha)$$

было определено расстояние между точками A и C, равное 0,105 м.

Эксцентрово-рычажный механизм (рис. 4).

Эксцентрово-рычажный механизм синтезирован на основании схемы, приведенной на рисунке 8 в соответствии с ходом конечного звена и передаточного отношения рычагов (CD/DE).

Угол α , равный 0,145 рад, был определен из треугольника DEE₁ по формуле:

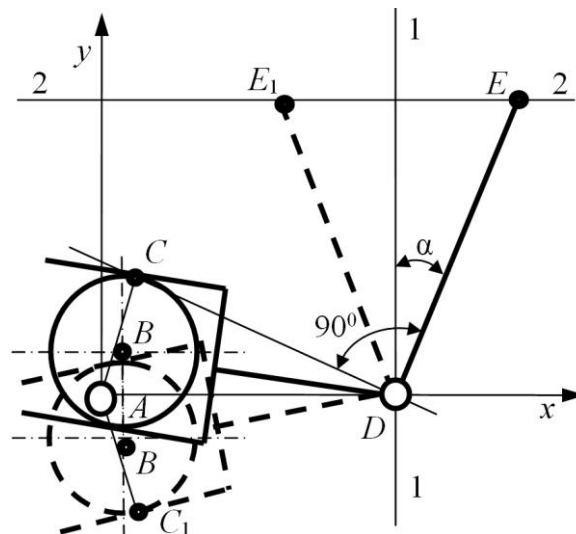


Рис. 8 – Расчетная схема эксцентрово-рычажного механизма

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{EE_1}{2DE}\right)$$

Расстояние AD и AC определялись из треугольника ACD в соответствии с выражениями:

$$AD = \frac{CD}{\cos(\alpha)}$$

$$AC = CD \cdot \sin(\alpha)$$

и составили 0,105 м и 0,015 м соответственно, а радиус BC = AC – AB составил 0,00766 м.

По результатам структурно-геометрического синтеза (таблица 1). определено, что наименьшими габаритными размерами обладает кривошипно-ползунный механизм, но он не приемлем по конструктивным соображениям, а четырехзвенный механизм – из-за своих габаритов. Одинаковые габариты имеют кулисный и эксцентрово-рычажный механизмы, но в состав последнего входят как низшие, так и высшие пары. С учетом вышеизложенного был выбран эксцентрово-рычажный механизм.

Таблица 1 – Результаты структурно-геометрического синтеза

№ п/п	Наименование механизмов	Максимальные значения геометрических параметров, м		Число подвижных звеньев
		Габаритный размер по оси X	Габаритный размер по оси Y	
1.	Кривошипно-ползунный	0,11	0,03	3
2.	Четырехзвенный	0,148	0,244	3
3.	Кулисный	0,135	0,208	3
4.	Эксцентриково-рычажный	0,135	0,208	2

Кинематический анализ эксцентриково-рычажного механизма заключался в определении перемещения, скорости и ускорения конечного звена (точки E).

Радиус-вектор эксцентрика рассчитывался в соответствии с выражением:

$$r = \sqrt{a^2 - e^2 \cdot (\sin(\phi))^2} - e \cdot \cos(\phi),$$

где r – радиус-вектор эксцентрика; a – радиус эксцентрика; e – эксцентриситет; ϕ – угол поворота эксцентрика.

В соответствии со схемой механизма (рис. 8), $a = BC$; $e = AB$.

Угол поворота коромысла BCD определялся из выражения:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{AC \cdot \sin(\phi)}{CD}\right)$$

Перемещение точки C в точку C_1 определялось как:

$$CC_1 = CD \cdot \alpha,$$

а ее скорость и ускорение по формулам:

$$\omega = \frac{d}{d\phi} \alpha(\phi),$$

$$\varepsilon = \frac{d^2}{d\phi^2} \alpha(\phi)$$

Определение перемещений, скоростей и ускорений точки E осуществлялось в пакете MathCAD, результаты представлены на рисунке 9.

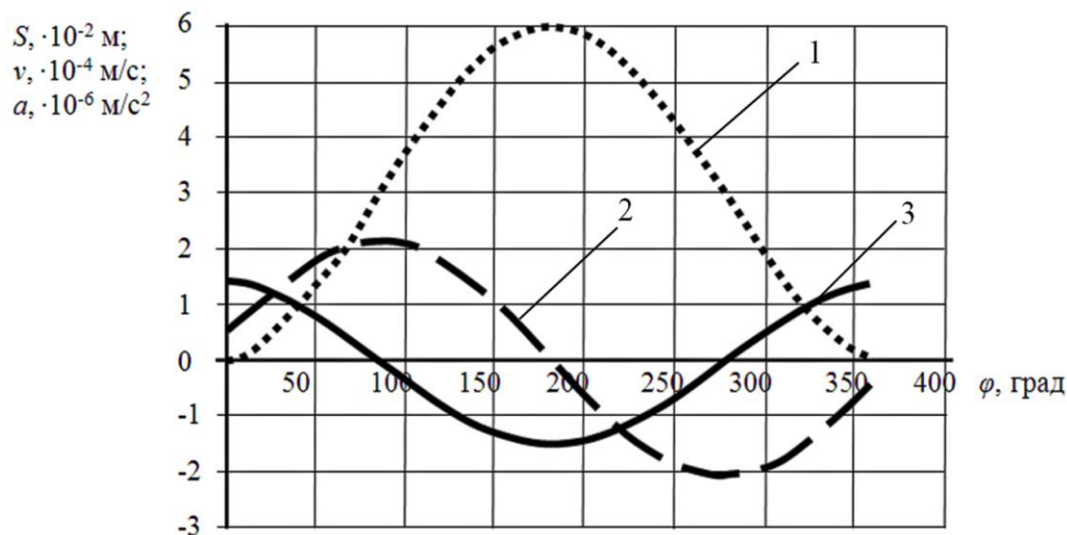


Рис. 9 – Кинематические параметры возвратно-поступательного движения рабочего органа экспериментальной установки смесителя: 1 – перемещение точки E (S), м; 2 – скорость перемещения точки E (V), м/с; 3 – ускорение точки E (a), м/с²

Выводы

1. Произведен выбор структурных групп Ассура 2-го класса 1-го, 2-го и 3-го видов, позволивший провести синтез четырех видов механизмов: кривошипно-ползунного, четырехзвенного, кулисного и эксцентриково-рычажного.

2. Проведен геометрический синтез вышеуказанных механизмов, в результате которого были определены их габаритные размеры при крайних положениях конечного звена:

- кривошипно-ползунный: по оси x составляют 0,110 м, а по оси y – 0,030 м.
- четырехзвенный: по оси x – 0,134 м, по оси y – 0,311 м.
- кулисный: по оси x – 0,135 м, а по оси y – 0,208 м.
- эксцентриково-рычажный: по оси x – 0,135 м, а по оси y – 0,208 м.

3. В результате структурно-геометрического синтеза и кинематического анализа для сообщения возвратно-поступательного движения выбран эксцентриково-рычажный механизм. Преимущество такого конструктивного решения заключается в уменьшении количества звеньев в кинематической цепи, что снижает потери на трение, упрощает изготовление, а, следовательно, уменьшает стоимость изделия.

Список литературы / References

1. Подгорный Ю. И. Методика уравнивания роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, Д.В. Лобанов, А.А. Жирова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. - 2016. - № 2 (71). - С. 41-50.

2. Мартынова Т. Г. Экспериментальные исследования нагрузочных характеристик смесителя / Т.Г. Мартынова, Ю.И. Подгорный, С.В. Птицын // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. - 2011. - № 2. - С. 183-188.

3. Подгорный Ю. И. Определение основных параметров технологического оборудования / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, В.Ю. Скиба, В.Н. Пушкин, Н.В. Вахрушев, Д.Ю. Корнев, Е.К. Зайцев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. - 2013. - № 3 (60). - С. 68-73.

4. Мартынова Т. Г. Исследование уравновешенности рабочего вала мешалки непрерывного действия / Т.Г. Мартынова, Ю.И. Подгорный // *Сборник научных трудов НГТУ*. - 2008. - № 2 (52). - С. 41-46.

5. Подгорный Ю. И. Уравнивание роторов технологических машин / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова, А.Н. Бредихина, А.С. Косилов, Н.С. Печоркина // *Актуальные проблемы в машиностроении*. - 2015. - № 2. - С. 256-262.

6. Подгорный Ю. И. Влияние точности изготовления элементов ротора на его уравновешенность / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, Т.Г. Мартынова, А.С. Косилов // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2016. - № 6-2 (48). - С. 119-123.

7. Подгорный Ю. И. Влияние точности изготовления месильных лопаток на уравновешенность рабочего вала смесителя непрерывного действия / Ю.И. Подгорный, Т.Г. Мартынова // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. - 2010. - № 3. - С. 119-126.

8. Мартынова Т. Г. Исследование неустановившегося движения двухвального смесителя непрерывного действия / Т.Г. Мартынова, Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, И.С. Захарченко, П.Ю. Скиба // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2016. - № 9-2 (51). - С. 61-65.

9. Подгорный Ю. И. Исследование состояния автоматической линии по выработке макаронных изделий BRAIBANTI на ОАО "Новосибирская макаронная фабрика" / Ю.И. Подгорный, С.В. Птицын, Т.Г. Мартынова // *Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета*. - 2004. - № 1. - С. 15-18.

10. Подгорный Ю. И. Определение жесткостных характеристик и энергии деформации несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Т.Г. Мартынова, Д.В. Лобанов, И.С. Филатов, П.Ю. Скиба // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. - 2016. - № 4 (73). - С. 24-33.

11. Подгорный Ю. И. Моделирование несущих систем технологических машин / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, В.Н. Пушкин, И.А. Ерохин, Д.Ю. Корнев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. - 2014. - №2 (63). - С.91-99.

12. Подгорный Ю. И. Выбор конструктивных параметров несущих систем машин с учетом технологической нагрузки / Ю.И. Подгорный, В.Ю. Скиба, А.В. Кириллов, О.В. Максимчук, Д.В. Лобанов, В.Р. Глейм, А.К. Жигулев, О.В. Саха // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. - 2015. - № 4 (69). - С. 51-60.

13. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: Справоч. пособие: В 7 т. Т. 5. Кулачковые и фрикционные механизмы. Механизмы с гибкими звеньями / И.И. Артоболевский. – 2-е изд. – М.: Наука, 1981. – 400 с.

14. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И.И. Артоболевский, Н.И. Левитский, С.А. Черкудинов. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 1084 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Podgorniy Yu.I. Metodika uravnovesivaniya rotorov tekhnologicheskikh mashin [The methods of technological machines' rotors balance] / Yu.I. Podgorniy, T.G. Martynova, V.Yu. Skeebe, D.V. Lobanov, A.A. Zhirona, A.N. Bredikhina, A.S. Kosilov, N.S. Pechorkina // *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* [Metal Working and Material Science]. - 2016. - № 2 (71). - P. 41-50. [in Russian]

2. Martynova T.G. Eksperimental'nye issledovaniya nagruzochnykh kharakteristik smesitelya [Experimental researches of loading characteristics of a mixer] / T.G. Martynova, Yu.I. Podgorniy, S.V. Ptitsyn // *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Science bulletin of the Novosibirsk state technical university]. - 2011. - № 2. - P. 183-188. [in Russian]

3. Podgorniy Yu.I. Opredelenie osnovnykh parametrov tekhnologicheskogo oborudovaniya [Determination of the main parameters of the processing equipmen] / Yu.I. Podgorniy, T.G. Martynova, V.Yu. Skeebe, V.N. Pushnin, N.V. Vakhrushev,

D.Yu. Kornev, E.K. Zaitsev // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. - 2013. - № 3 (60). - P. 68-73. [in Russian]

4. Martynova T.G. Issledovanie uravnoveshennosti rabocheho vala meshalki nepreryvnogo deistviya [Continuous-action stirrer shaft balance] / T.G. Martynova, Yu.I. Podgornyy // Sbornik nauchnykh trudov NGTU [Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university]. - 2008. - № 2 (52). - P. 41-46. [in Russian]

5. Podgornyy Yu.I. Uravnoveshivanie rotorov tekhnologicheskikh mashin [Balancing of technological machine rotors] / Yu.I. Podgornyy, T.G. Martynova, A.N. Bredikhina, A.S. Kosilov, N.S. Pechorkina // Aktual'nye problemy v mashinostroenii [Actual problems in machine building]. - 2015. - № 2. - P. 256-262. [in Russian]

6. Podgornyy Yu.I. Vliyanie tochnosti izgotovleniya elementov rotora na ego uravnoveshennost' [Influence of accuracy of the rotor element manufacturing on its balance] / Yu.I. Podgornyy, V.Yu. Skeebe, T.G. Martynova, A.S. Kosilov // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal [International Research Journal]. - 2016. - № 6-2 (48). - P. 119-123. [in Russian]

7. Podgornyy Yu.I. Vliyanie tochnosti izgotovleniya mesil'nykh lopatok na uravnoveshennost' rabocheho vala smesitelya nepreryvnogo deistviya [Influence of accuracy of manufacturing kneading shovels on steadiness of a working shaft of the amalgamator of continuous action] / Yu.I. Podgornyy, T.G. Martynova // Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Science bulletin of the Novosibirsk state technical university]. - 2010. - № 3. - P. 119-126. [in Russian]

8. Martynova T. G. Issledovanie neustanovivshegosya dvizheniya dvukhval'nogo smesitelya nepreryvnogo deistviya [The transient motion analysis of the double-shaft continuous mixer] / T.G. Martynova, Yu.I. Podgornyy, V.Yu. Skeebe, I.S. Zakharchenko, P.Yu. Skiba // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal [International Research Journal]. - 2016. - № 9-2 (51). - P. 61-65. [in Russian]

9. Podgornyy Yu.I. Issledovanie sostoyaniya avtomaticheskoi linii po vyrabotke makaronnykh izdelii BRAIBANTI na OAO "Novosibirskaya makaronnaya fabrika" [Research of the state of the automatic line for the production of pasta BRAIBANTI at OJSC "Novosibirsk macaroni factory"] / Yu.I. Podgornyy, S.V. Ptitsyn, T.G. Martynova // Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university]. - 2004. - № 1. - P. 15-18. [in Russian]

10. Podgornyy Yu.I. Opredelenie zhestkostnykh kharakteristik i energii deformatsii nesushchikh sistem tekhnologicheskikh mashin [Determination of the rigidity and deformation energy of the technological machine load-carrying systems] / Yu.I. Podgornyy, V.Yu. Skeebe, A.V. Kirillov, O.V. Maksimchuk, T.G. Martynova, D.V. Lobanov, I.S. Filatov, P.Yu. Skiba // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. - 2016. - № 4 (73). - P. 24-33. [in Russian]

11. Podgornyy Yu.I. Modelirovanie nesushchikh sistem tekhnologicheskikh mashin [Modeling of the technological machines support systems] / Yu.I. Podgornyy, V.Yu. Skiba, A.V. Kirillov, V.N. Pushnin, I.A. Erokhin, D.Yu. Kornev // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. - 2014. - №2 (63). - P.91-99. [in Russian]

12. Podgornyy Yu.I. Vybore konstruktivnykh parametrov nesushchikh sistem mashin s uchetom tekhnologicheskoi nagruzki [Selection of form factors of machine carrying systems in reliance on the process duty] / Yu.I. Podgornyy, V.Yu. Skeebe, A.V. Kirillov, O.V. Maksimchuk, D.V. Lobanov, V.R. Gleim, A.K. Zhigulev, O.V. Sakha // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) [Metal Working and Material Science]. - 2015. - № 4 (69). - P. 51-60. [in Russian]

13. Artobolevskii I.I. Mekhanizmy v sovremennoi tekhnike: Spravochnik. posobie: V 7 t. T. 5. Kulachkovye i friktsionnye mekhanizmy. Mekhanizmy s gibkimi zven'yami [Mechanisms in modern technology. In 7 vol. T. 5. Cam and friction mechanisms. Mechanisms with flexible links] / I.I. Artobolevskii. - 2nd edition. - M: Nauka, 1981. - 400 p. [in Russian]

14. Artobolevskii I.I., Levitskii N.I., Cherkudinov S.A. Sintez ploskikh mekhanizmov [Synthesis of plane mechanisms] / I.I. Artobolevskii, N.I. Levitskii, S.A. Cherkudinov. - M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury, 1959. - 1084 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.078>Покидышева Л.И.¹, Мадаминаова М.О.², Ладнюк В.В.³¹Кандидат технических наук, доцент; ²магистрант, ³аспирант, Сибирский федеральный университет**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СОКРАЩЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ****Аннотация**

При обработке больших объемов информации часто возникает проблема уменьшения размерности данных с максимальным сохранением их информативности. В работе приведены эффективные алгоритмы для сокращения размерности данных, описаны их принципы работы: метод главных компонент, ядерный метод главных компонент, метод многомерного шкалирования, метод локально-линейного встраивания, метод изометрического отображения, метод упругих карт. Разработано программное обеспечение, реализующее рассмотренные алгоритмы. Разработанное программное обеспечение было применено для анализа медицинских данных.

Ключевые слова: метод главных компонент, ядерный метод главных компонент, метод многомерного шкалирования.

Pokidyshova L.I.¹, Madaminova M.O.², Ladnyuk V.V.³¹PhD in Engineering, associate professor; ²graduate student, ³graduate student, Siberian Federal University**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND SOFTWARE FOR REDUCTION OF THE DIMENSIONALITY OF MULTIDIMENSIONAL DATA****Abstract**

At processing large amounts of information, there is often a problem of reducing the dimensionality of data and keep its informative value. The paper presents the effective algorithms for reducing the dimensionality of data, describes their operating principles: the principal component method, the kernel method of principal components, the multidimensional scaling method, the local-linear embedding method, the isometric mapping method, and the flexible maps method. The software implementing the above mentioned algorithms is developed, this application was used to analyze medical data.

Keywords: principal components method, nuclear method of principal components, multidimensional scaling method.

В статистике, биологии, физике и других науках часто необходимо анализировать большие объемы данных. Такие данные сложно интерпретировать и визуализировать. Возникает проблема уменьшения размерности данных с максимальным сохранением их информативности. Это делает актуальным создание методов и алгоритмов программного обеспечения для анализа данных, с помощью которых исследователь сможет обработать данные методами многомерного анализа, а также интерпретировать результаты.

Метод главных компонент

Пусть на вход метода поступает матрица D размера $n \times m$, где n — количество объектов (строк), а m — количество признаков (столбцов). Соответственно каждая ячейка представляет собой количественное значение признака объекта. В результате работы методов главных компонент (МГК) создается матрица D_{res} , размера $n \times k$, где $k < m$. Таким образом, количество признаков уменьшается. Главная задача различных МГК заключается в отображении каждого объекта таким образом, чтобы информационная структура исходного множества изменилась минимально. Наша задача — реализовать различные МГК и сравнить их по эффективности сохранения и отображения информации при переходе к пространству меньшей размерности.

Таким образом, в работе будут реализованы и сравнены следующие методы для сокращения размерности данных: метод главных компонент, ядерный метод главных компонент, метод многомерного шкалирования, метод локально-линейного встраивания, метод изометрического отображения, метод упругих карт. Первые три метода широко представлены в публикациях [1,2]. Остановимся подробно на оставшихся [3-5].

Метод локально-линейного встраивания

Метод локально линейного встраивания является одним из самых современных методов уменьшения размерности данных. Суть этого алгоритма заключается в предположении, что данные в n -мерном пространстве лежат на сглаженном нелинейном многообразии меньшей размерности. Этот метод находит глобальную нелинейную структуру с помощью локально-линейного соответствия. Алгоритм этого метода состоит из трех шагов.

Шаг 1. Найти соседей для каждого вектора D_i :

- найти расстояния между каждой парой точек;
- для каждого вектора D_i , найти K таких векторов D_j , ($i \neq j$), расстояние, до которых наименьшее.

Шаг 2. Создать матрицу W , используя следующий алгоритм для каждого D_i :

- создать матрицу Z , состоящую из соседей вектора D_i ;
- вычесть вектор D_i из каждого столбца матрицы Z ;
- рассчитать матрицу по формуле

$$C = Z^T Z, \quad (1)$$

- решить систему линейных уравнений $C_w = 1$ для вектора w ;
- присвоить $W_{ij} = 0$ если i не является соседом j ;
- для всех остальных элементов i -ой строки матрицы W присвоить $w / \text{sum}(w)$.

Шаг 3. Найти новую матрицу D_{res} меньшей размерности:

- создать матрицу

$$M = (I - W)^T (I + W), \quad (2)$$

- найти $d + 1$ самых последних (с наименьшим собственным значением) собственных векторов матрицы M ;

– присвоить i -ую строку матрицы $D_{res} i + 1$ собственный вектор снизу (т.е. отбросить самый последний собственный вектор с собственным значением 0).

Метод изометрического отображения

Метод изометрического отображения очень похож на метод главных компонент. Главное отличие заключается в том, что линейность метода присутствует локально, только между ближайшими соседями. Но в глобальном смысле выстраиваемая структура, представляющая расстояние, не линейна. Метод изометрического масштабирования является усовершенствованием метода многомерного масштабирования. Рассмотрим алгоритм выполнения изометрического отображения.

Шаг 1. Построить граф соседей

$$G = (V, E, W), \quad (3)$$

$$V = \{x_i: i = 1, \dots, n\}, \quad (4)$$

$$E = \{(i, j): \text{если } i \text{ сосед } j\}, \quad (5)$$

$$W_{ij} = d(x_i, x_j), \quad (6)$$

где d — Евклидово расстояние между двумя векторами;

Шаг 2. Построить матрицу кратчайших расстояний D_{ij} с помощью алгоритма Дейкстры или Флойда.

Шаг 3. Найти матрицу Грама

$$H = I - \frac{1}{N} 11^T, \quad (7)$$

$$G = -\frac{1}{2} HDH, \quad (8)$$

где I — единичная матрица; 1 — вектор единиц размера $N \times 1$.

Шаг 4. Разложить матрицу G по МГК (т.е. принять матрицу Грама G за матрицу ковариации C).

Метод упругих карт

Введем следующие обозначения:

g — количество осей упругой карты (равно количеству координат исходных векторов); w — количество точек на каждой оси; s — количество итераций в алгоритме; len — расстояние между точками на оси; f — коэффициент жесткости карты.

Шаг 1. Создание упругой карты (все узлы упругой карты хранятся в списке h_points). Каждый узел располагается на одной из осей упругой карты и его координаты рассчитываются следующим образом:

$$h_points[l]_{ij} = \begin{cases} 0, & j \neq \text{номер текущей оси} \\ len * i, & j = \text{номер текущей оси} \end{cases} \quad (9)$$

Между узлами присутствуют связи. Они хранятся в матрице H .

$$H_{i,i+1} = len, \text{ если точки лежат на одной оси} \quad (10)$$

$$H_{i,j} = (w - 1) * len, \text{ если точки лежат на концах одной оси} \quad (11)$$

$$H_{i,j} = len, \text{ если точки лежат на концах разгых осей} \quad (12)$$

Шаг 2. Аппроксимация данных — выполняется s раз. В этом цикле: x_2 — упругая карта, на предыдущем шаге, x_1 — упругая карта на предыдущем шаге. Релаксация данных — для каждой связи в карте находятся узлы i и j , которые она связывает и расстояние $dist$ между ними. Затем вычисляется величина r сдвига координат по формуле:

$$r = f * q * \frac{t-dist}{dist} * (x_1[i] - x_1[j]), \quad (13)$$

где $q = \frac{1}{s}$, а t — это величина связи. Затем соответствующие координаты сдвигаются:

$$x_1[i] = x_1[i] + r, \quad x_2[j] = x_2[j] - r \quad (14)$$

Шаг 3. Вычисление новых координат — в цикле по всем узлам упругой карты вычисляется вектор влияния исходных данных на этот узел. Для i -го узла упругой карты, если $input$ — массив входных данных, а $dist$ — массив расстояний от входных векторов до текущего узла упругой карты, то вектор влияния равен:

$$d = \sum_{k=0}^N \frac{0.01}{dist} * (input[k] - x_1[i]) \quad (15)$$

Отсюда новые координаты узла карты равны:

$$h_points[i] = x_1[i] + (x_1[i] - x_2[i]) + d; \quad (16)$$

Шаг 4. Проекция на упругую карту — для каждого входного вектора ищется ближайший к нему узел упругой карты. Вектор помещается в него. Затем для этих точек происходит уменьшение размерности. В этом алгоритме оно совершается через метод главных компонент. В итоге получена искомая матрица.

На основе представленных выше алгоритмов разработано программное обеспечение, которое может быть использовано для анализа биомедицинских, экономических и других многомерных данных. Разработана структуры, код программного модуля и реализация его на языке C++ в среде Windows Form.

Приложение предоставляет вычислительные возможности аутентифицированному пользователю. Обобщенная структурная схема системы представлена на рисунке 1.

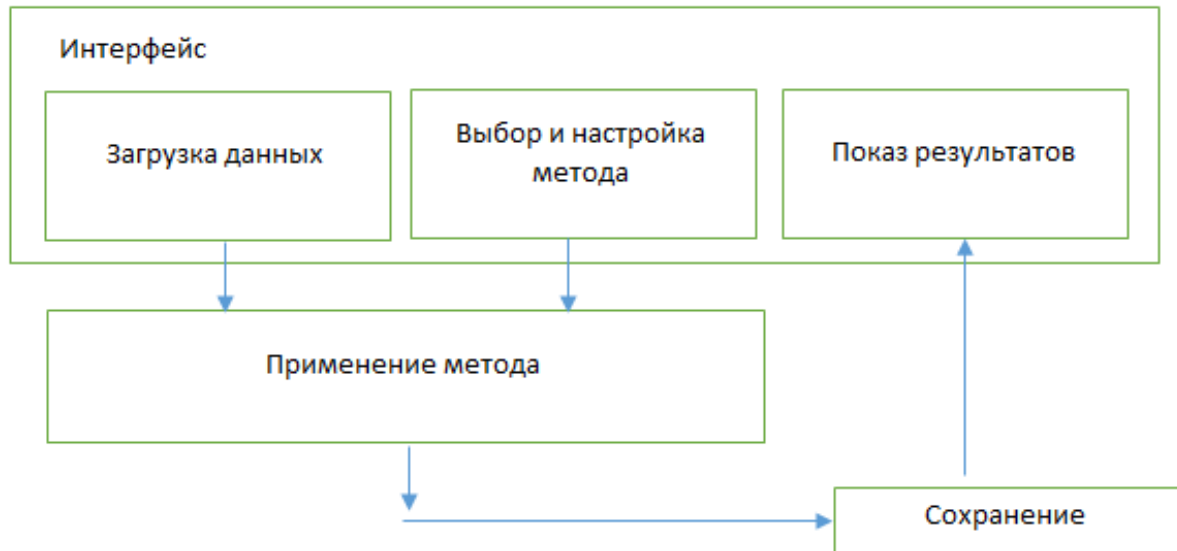


Рис. 1 – Структурная схема системы

Система является многопользовательской. Для начала работы с системой пользователю предлагается зарегистрироваться (рис. 2.). После регистрации пользователь может создать запрос на обработку. Для создания запроса пользователю необходимо выбрать алгоритм (рис. 3.), а также настроить его и загрузить файл для обработки в формате CSV.

Рис. 2 – Регистрация и вход в систему

Методы реализованы с использованием математической библиотеки Eigen: для умножения и нахождения собственных чисел и векторов используются ее высокопроизводительные алгоритмы. Библиотека примечательна тем, что для хранения любых матриц, векторов и блоков используются шаблонизированные алгоритмы с нулевыми затратами на абстракции. В реализации методов используется класс динамической матрицы MatrixXd, который позволяет хранить любое количество строк и столбцов. График рисуется с помощью библиотеки создания графиков gnuplot. При использовании любого метода автоматически строится координатная плоскость, показывающая расположение объекта по двум наиболее главным компонентам. Чтобы отделить значения разных групп объектов на графике, используются цвета: цвет каждого объекта должен подаваться вместе с его признаками.

На вход подается матрица $n \times m$ (из n объектов, имеющих m признаков каждый). Наша задача сократить число размерностей с m до $k < m$ так, чтобы терялось бы как можно меньшее количество информации.

По результатам работы методов можно построить график, используя две главных компоненты: тогда координаты по первой и второй главной компоненте и будут являться координатами точек на графике.

Программа была протестирована на показателях крови, полученных при исследовании пациентов с заболеваниями щитовидной железы. Данные включали показатели больных до лечения, после лечения, и через 3 месяца после лечения.

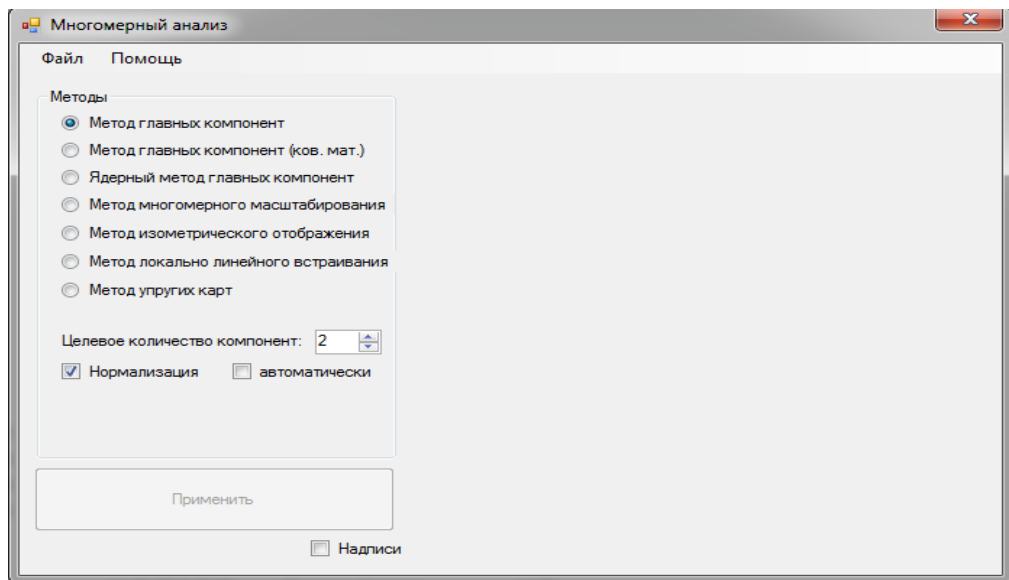


Рис.3 – Главное окно программы

В данной работе приведены алгоритмы уменьшения размерности входных данных: рассмотрены самые эффективные существующие методы многомерного анализа, приведены их алгоритмы работы, а также особенности выполнения, варианты реализации; рассмотрен процесс создания программного обеспечения; разработана структуры и код программного модуля, и реализация его на языке C++ в среде Windows Form; Программа протестирована на медицинских данных.

Список литературы / References

1. Smith, Lindsay I. A tutorial on Principal Components Analysis [Electronic resource]. – New York : Institute of Technology, 2002. – Access mode: https://www.ce.yildiz.edu.tr/personal/songul/file/1097/principal_components.pdf.
2. Многомерное шкалирование [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stmulasca.html>
3. Изометрическое отображение [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.worklib.ru/dic/изометрическое-отображение/>
4. A. N. Gorban, A. Y. Zinovyev. Principal Graphs and Manifolds/ Chapter 2 in: Handbook of Research on Machine Learning Applications and Trends: Algorithms, Methods, and Techniques, Emilio Soria Olivas et al. (eds), IGI Global, Hershey, PA, USA, 2009, pp. 28-59.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Smith, Lindsay I. A tutorial on Principal Components Analysis [Elektronnyj resurs] [Electronic resource]. – New York : Institute of Technology, 2002. – Rezhim dostupa [Access mode] [in English] https://www.ce.yildiz.edu.tr/personal/songul/file/1097/principal_components.pdf.
2. Bernhard Scholkopf, Alexander Smola, Klaus-Robert Muller, Kernel Principal Component Analysis, Advances in Kernel Methods-Support Vector Learning, 1999 - [Electronic resource]: [Access mode]: http://pca.narod.ru/scholkopf_kernel.pdf [in English]
3. Mnogomernoe shkalirovanie [Multidimensional scaling] [Elektronnyj resurs] [Electronic resource]: : Rezhim dostupa [Access mode]: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stmulasca.html> [in Russian]
4. Izometricheskoe otobrazhenie [Isometric Display] [Elektronnyj resurs] [Electronic resource]: Rezhim dostupa [Access mode]: <http://www.worklib.ru/dic/изометрическое-отображение/> [in Russian]
5. Zinov'ev, A. Ju. Vizualizacija mnogomernyh dannyh [Visualization of multidimensional data] / A. Ju. Zinov'ev. – Krasnojarsk [Krasnoyarsk]: KGTU, 2000. – 180 s.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.094>Ревенко В.Г.¹, Розалиев В.Л.², Степанищев Д.С.³¹ORCID: 0000-0002-8716-8476, магистр, Волгоградский государственный технический университет²ORCID: 0000-0002-7372-8364 Кандидат технических наук,
Волгоградский государственный технический университет³ORCID: 0000-0002-7417-6207, магистр, Волгоградский государственный технический университет**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ПО SCRUM МЕТОДОЛОГИИ****Аннотация**

В работе рассматриваются общепринятые методологии управления проектами, было проведено сравнение методологий. Для управления ИТ проектами предлагается использование гибкой методологии Agile которые включают серии подходов к разработке программного обеспечения, проведено сравнение существующих систем управления проектами. Описан вариант разработки новой системы управления проектами, которая включает в себя модель управления по Scrum методологии, модуль оценки уровня зрелости команды на платформе 1С.

Ключевые слова: проектное управление, Scrum-методология, уровень зрелости управление проектом, 1С платформа, программное управление, гибкая разработка ПО.

Revenko V.G.¹, Rozaliev V.L.², Stepanishchev D.S.³¹ORCID: 0000-0002-8716-8476, Master, Volgograd State Technical University²ORCID: 0000-0002-7372-8364

PhD in Engineering, Volgograd State Technical University

³ORCID: 0000-0002-7417-6207, Master, Volgograd State Technical University**AUTOMATION OF PROJECT MANAGEMENT ACCORDING TO SCRUM METHODOLOGY****Abstract**

The paper considers common project management methodologies, and presents the comparison of different methodologies. It is proposed to use Agile flexible methodology for IT project management, which includes a series of approaches to software development, and a comparison of existing project management systems. The example of the development of a new project management system is described, which includes a management model according to Scrum methodology and a module for estimation of the team maturity level on the 1C platform.

Keywords: project management, Scrum-methodology, level of maturity in project management, 1C platform, software management, flexible software development.

Процесс управление проектами – важнейшая составляющая любой работы, ИТ проекты в том числе. Внедрение в компанию методологий управления способствует более правильно управлять жизнью ИТ-проекта, что сильно повышает шансы для достижения ожидаемых результатов [1].

1. Обзор существующих методологий

Распространенные методологии и механизмы для управления проектами отражены в стандартах международных и национальных организаций. Основные из них:

- PMBOK (Project Management Body Of Knowledge).
- ICB (International Competence Baseline).
- Prince2 (Projects In Controlled Environments).
- P2M (Project and Program Management for Enterprise Innovation).
- Standard International Standardization Organization (ISO).

1.1 Анализ методологий

Из сравнения традиционных методологий управления проектами можно сделать вывод, что для ИТ проектов такие методологии управления могут быть не столь эффективным, поскольку требования могут оказаться неясными, изменчивыми. В качестве альтернативы можно использовать методологии гибкого управления проектом Agile Project Management – APM [2, С.12], [3].

Гибкие методологии используются тогда, когда присутствуют следующие условия:

- значение проекта правильно и внятно обозначено;
- клиент участвует в жизни проекта во время всего цикла разработки проекта;
- возможна поэтапная разработка, основанная на функциях;
- присутствует визуальная документация;

В случае с работой гибкой методологией управления проектом, планируется только тот объем, который необходим [4, С.107]. В то время как каждая часть проекта будет выполнена, команда собирает по ходу проекта полученный опыт, а также отзывы и пожелания клиента. Так как клиент получает и испытывает функционально рабочий прототип, ему легче определить, либо переопределить требования и описать команде то, что на самом деле он хочет получить. Такой подход к разработке подразумевает изменения, которые приносят ценность и снижают затраты денег и ресурсов посредством итеративной разработки [5, С.137]. На основании такого подхода разработана методология управления проектом Scrum.

Scrum включает в свою методологию набор правил и методов, а также три определенные роли. Менеджер проекта часто является Scrum-мастером и следит за ходом процесса. Второй человек – владелец продукта и последнее – команда разработчиков. Scrum с самого начала разрабатывался для описания процессов контроля проекта, для планирования и анализа на всех этапах создания программного продукта [6].

2. Обзор аналогов систем управления проектами

На отечественном рынке средства управления проектами представлены следующими программными продуктами: Microsoft project, Trello, Битрикс24, Мегатлан, ProjectMate, 1С:Управление проектным офисом, Basecamp, Gantt. Мы сравнили системы по выбранным нами критериям (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение систем управления проектами

Управление проектом	Microsoft Project	GANTTER	МЕГАПЛАН	БИТРИКС24	TRELLO
Диаграмма Ганта	Да	Да	Да	Да	Нет
Расписания	Да	Да	Да	Да	Да
Оценка и учёт затрат	Да	Нет	Да	Да	Да
Отчёты	Да	Нет	Да	Да	Да
Шаблоны проектов	Да	Да	Да	Да	Нет
Приоритеты	Да	Да	Да	Да	Да
Облачное хранилище	Неограниченно	1	Неограниченно	Неограниченно	-
Уведомления	Да	Нет	Да	Да	Да
Комментарии к задачам	Да	Нет	Да	Да	Нет
Вложения файлов	Да	Нет	Да	Да	-
Фильтры	Да	Да	Да	Да	Да
Повторы задач	Да	Нет	Да	Да	Да
Делегирование задач	Да	Нет	Да	Да	Да
Настройка доступа	Да	Да	Да	Да	Да
Отслеживание прогресса	Да	Нет	Да	Нет	Да
Число пользователей на бесплатном тарифе	0	Неограниченно	10	12	-

Из таблицы видно, что функциональные возможности некоторых программ либо избыточны, либо недостаточны, а цена для небольшой команды разработчиков высока.

Приложение, которое будет работать на любой конфигурации и платформе 1С и выполнять, необходимы функции нет, а те, что разработаны либо являются самостоятельными конфигурациями, либо относятся к CRM.

3. Предлагаемое решение

Предлагаемая модель управления проектами основана на модели уровня зрелости команды проекта УП - РМ Maturity (PM) [2, 5]. В модель входят 148 вопросов, на каждый из которых можно выбрать несколько вариантов ответов. Вопросы проходят через 8 областей знаний и 6 фаз проекта. Данная модель позволяет вычислить среднее значение состояния процессов по всем областям знаний управления проектами, и, получить более точную картину уровня зрелости.[7].

Модуль “Определение уровня зрелости проекта” для менеджера проекта, который сможет пройти тест, по этой модели и узнать в каком состоянии находится его команда, так же программа запомнит данные и в зависимости от них будет происходить дальнейшее управление [8, С.53].

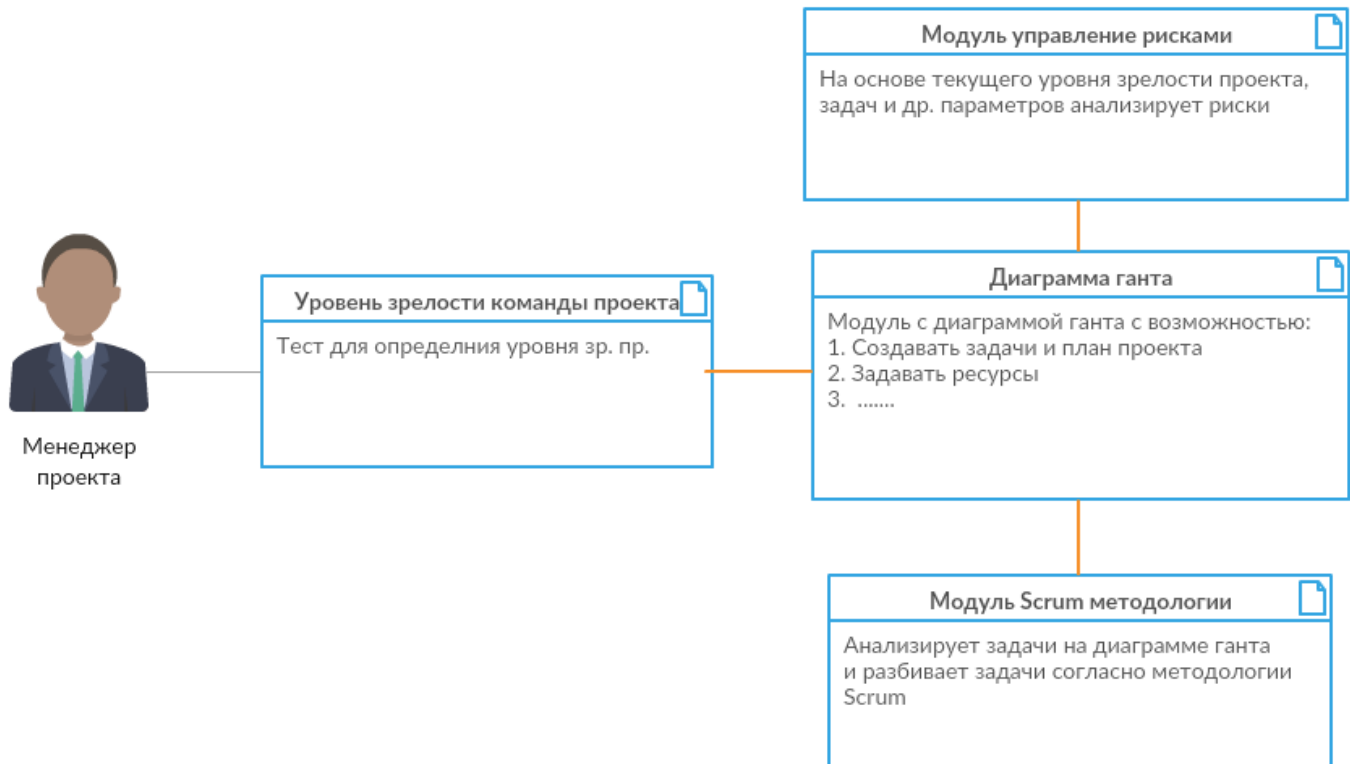


Рис.1 – Модель предлагаемой системы управления проектами

Разработанное решение на платформе 1С (рис. 1) включает в себя модули: диаграмма Ганта (график Ганта) [9, С.65], модуль “Управление рисками”, модуль Scrum методологии.

Управление проектом эксперимент

В ходе исследования, была разработана “Обработка” на платформе 1С, которая может быть запущена или прикреплена к любой конфигурации.

Для эксперимента был выбран небольшой проект по разработке ПО. Этот проект сначала был разбит на отдельные этапы и задачи. Для ввода плана проекта в конфигурации разработан специальный модуль.

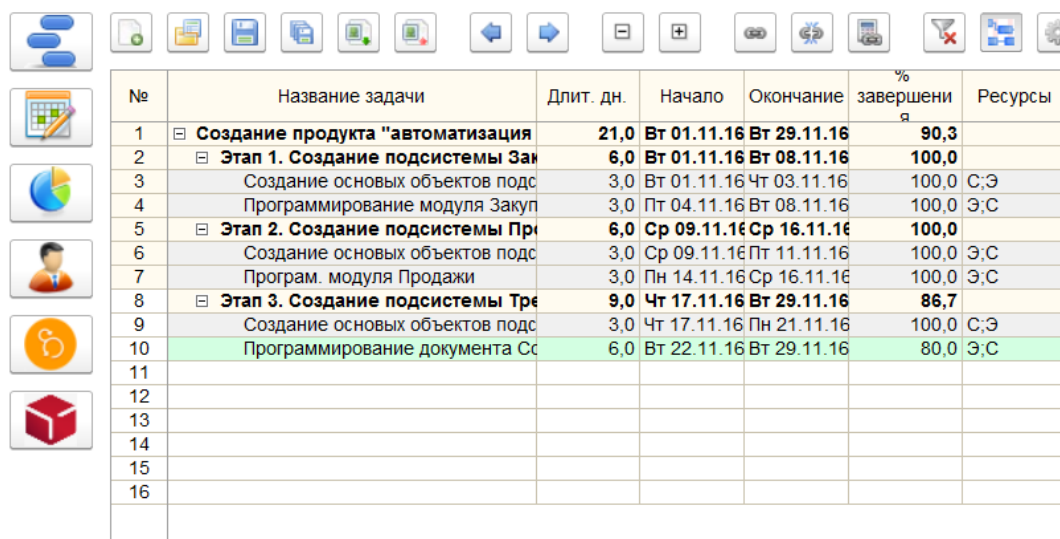
После ввода всех задач, проект выглядит, как показано на (рис. 2). Так же рядом с проектом отображается диаграмма Ганта, которая наглядно отображает график задач во времени и процент завершения задач. Зеленый цвет задачи показывает ее завершенность, красный цвет сигнализирует, что есть расхождение с планом, синий цвет задача еще не выполнена.

Программный продукт лучше разрабатывать короткими шагами Sprint. В конце Спринта менеджер оценивает, что получается, и корректирует направление разработки продукта. Менеджер всегда в курсе того, что его планы правильно поняты командой.

Gant 1С - Проект Denis S..pmp2									
№	Название задачи	Длит. дн.	Начало	Окончание	% завершения	Ресурсы	Затраты	Стоимость	
1	Создание продукта "автоматизация ф	82,0	Вт 01.11.16	Ср 22.02.17	82,1		60 760,00	60,00	□
2	Этап 1. Создание подсистемы Заку	14,0	Вт 01.11.16	Пт 18.11.16	100,0		11 718,75	18,75	□
3	Создание основных объектов подси	3,0	Вт 01.11.16	Чт 03.11.16	100,0	Э,С	2 403,75	3,75	□
4	Программирование модуля Закупк	3,0	Пт 04.11.16	Вт 08.11.16	100,0	Э,С	2 903,75	3,75	□
5	Создание отчета Прайс-лист	3,0	Ср 09.11.16	Пт 11.11.16	100,0	Э,С	2 403,75	3,75	□
6	Создание отчета Остатки товаров	3,0	Пн 14.11.16	Ср 16.11.16	100,0	Э,С	2 403,75	3,75	□
7	Создание отчета Закупки и продаж	2,0	Чт 17.11.16	Пт 18.11.16	100,0	Э,С	1 603,75	3,75	□
8	Этап 2. Создание подсистемы Про	21,0	Пн 21.11.16	Пн 19.12.16	94,3		16 815,00	15,00	□
9	Создание основных объектов подси	3,0	Пн 21.11.16	Ср 23.11.16	100,0	Э,С	2 403,75	3,75	□
10	Программ. модуля Продажи	12,0	Чт 24.11.16	Пт 09.12.16	90,0	Э,С	9 603,75	3,75	□
11	Создание отчета Остатки товаров	3,0	Пн 12.12.16	Ср 14.12.16	100,0	Э,С	2 403,75	3,75	□
12	Создание отчета Ведомость по то	3,0	Чт 15.12.16	Пн 19.12.16	100,0	Э,С	2 403,75	3,75	□
13	Этап 3. Создание подсистемы Тре	33,0	Вт 20.12.16	Чт 02.02.17	89,1		25 015,00	15,00	□
14	Создание основных объектов подси	3,0	Вт 20.12.16	Чт 22.12.16	100,0	Э,С	2 403,75	3,75	□
15	Программирование документа Сос	6,0	Пт 23.12.16	Пт 30.12.16	80,0	Э,С	4 803,75	3,75	□
16	Модуль учета Абонементов	9,0	Пн 02.01.17	Чт 12.01.17	100,0		8 203,75	3,75	□
17	Создание документа Продажи а	9,0	Пн 02.01.17	Чт 12.01.17	100,0	Э,С	8 203,75	3,75	□
18	Создание отчета Динамика веса к	3,0	Пт 13.01.17	Вт 17.01.17	100,0				□
19	Программирование модуля пит	12,0	Ср 18.01.17	Чт 02.02.17	80,0	Э,С	9 603,75	3,75	□
20	Программ. Калькуляция блюда	12,0	Ср 18.01.17	Чт 02.02.17	80,0	Э,С	9 603,75	3,75	□
21	Этап 4. Настройка командных инте	9,0	Пт 10.02.17	Чт 22.02.17			7 211,25	11,25	□
22	Создание рабочей области началь	3,0	Пт 10.02.17	Вт 14.02.17		Э,С	2 403,75	3,75	□
23	Настройка интерфейса АРМ Админ	2,0	Ср 15.02.17	Чт 16.02.17		Э,С	1 603,75	3,75	□
24	Правка интерфейса документов и	4,0	Пт 17.02.17	Ср 22.02.17		Э,С	3 203,75	3,75	□
25	Связаться с клиентом для уточнения	1,0	Вт 01.11.16	Вт 01.11.16					□
26									
27									

Рис. 2 – План готового проекта

В команде Sprint длится 1-2 недели. За неделю все можно не успеть, за месяц может забыть. Поэтому 1-2 недели самый лучший вариант. Первый день спринта уходит на планирование проекта. Планирование – это процесс, при котором команда берет из списка требований наиболее приоритетные и разбивает на задачи, которые позволяют достичь желаемого результата.



№	Название задачи	Длит. дн.	Начало	Окончание	% завершени я	Ресурсы
1	Создание продукта "автоматизация	21,0	Вт 01.11.16	Вт 29.11.16	90,3	
2	Этап 1. Создание подсистемы Зап	6,0	Вт 01.11.16	Вт 08.11.16	100,0	
3	Создание основных объектов подс	3,0	Вт 01.11.16	Чт 03.11.16	100,0	С;Э
4	Программирование модуля Закуп	3,0	Пт 04.11.16	Вт 08.11.16	100,0	Э;С
5	Этап 2. Создание подсистемы Пр	6,0	Ср 09.11.16	Ср 16.11.16	100,0	
6	Создание основных объектов подс	3,0	Ср 09.11.16	Пт 11.11.16	100,0	Э;С
7	Программ. модуля Продажи	3,0	Пн 14.11.16	Ср 16.11.16	100,0	Э;С
8	Этап 3. Создание подсистемы Тре	9,0	Чт 17.11.16	Вт 29.11.16	86,7	
9	Создание основных объектов подс	3,0	Чт 17.11.16	Пн 21.11.16	100,0	С;Э
10	Программирование документа Сс	6,0	Вт 22.11.16	Вт 29.11.16	80,0	Э;С
11						
12						
13						
14						
15						
16						

Рис.3 – План проекта для создания прототипа

После ввода плана проекта его можно оптимизировать по Scrum методологии.

После применения Scrum методологии задачи длительностью больше недели разбились на две это говорит, что потенциально рабочий продукт этом этапе за один спринт не получится. Поэтому можно воспользоваться функцией разбития плана проекта на этапы и задачи для быстрого создания рабочего прототипа. План станет выглядеть следующим образом (рис. 3).

Выводы

Традиционные методологии управления проектами не подходят для IT проектов, поскольку данная область имеет свою специфику, но существуют гибкие методологии управления, например, Agile Project Management – АРМ.

Различные программы управления проектами могут быть достаточно дорогостоящими, не давая экономического эффекта. Несмотря на то, что программы для управления проектами могут давать большой набор инструментов, во многих случаях эти системы требуют индивидуальной доработки или дополнительных покупок программного обеспечения. Многие организации применяют системы управления проектами, для управления простыми, не сложными проектами и им не нужны все инструменты. Это может вызвать излишние затраты денег и трудности внедрения.

В ходе исследования удалось создать конфигурацию на платформе 1С и применить для управления Scrum методологию. В дальнейшем конфигурация будет дополнена обменом данными между типовыми конфигурациями «Зарплаты и управления персоналом» в 1С и модулем оценки зрелости команды.

Список литературы / References

1. Анализ методологий управления проектами [Электронный ресурс]. – URL: <http://infostart.ru/public/296315/> (дата обращения 15.10.2016)
2. Коровкина Н.Л., Трушкина Е.П. Разработка модели количественной оценки уровня зрелости управления ИТ-ПРОЕКТАМИ // Междисциплинарный научно-практический журнал ГУ-ВШЭ. -2010. -№4(14). -С. 12-20.
3. Совмещение традиционного и гибкого типов управления проектом - Метод гибкого управления проектом (Agile) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pmtoday.ru/project-management/agile/traditional-and-agile-blending/page-2.html> (дата обращения 16.10.2016)
4. Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л. Формализация начальной стадии разработки многопрограммного программного обеспечения /С.А. Фоменков, А.Б. Петровский // Многоотраслевая конференция по вопросам управления и информационной системы на 2013 год 2013 (Прага, Чешская Республика, Июль 23-26, 2013) 2013. – С. 107-111.
5. Орлова, Ю.А. Анализ моделей и методов повышения эффективности проектирования программного обеспечения / Ю.А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т.9. -№ 11(71). -С. 137-141.
6. Топ-7 методов управления проектами: Agile, Scrum, Kanban, PRINCE2 и другие [Электронный ресурс].– URL: <http://www.pmservices.ru/project-management-news/top-7-metodov-upravleniya-proektami-agile-scrum-kanban-prince2-i-drugie/> (дата обращения 20.10.2016)
7. Young H Kwak; C William Ibbs Оценка Зрелости Управления Проектами / Журнал проектный менеджмент. 2000. – С. 31.
8. Чалый С. Ф., Цимбаленко Р. Н. Адаптация процессов контроля команды разработчиков программ с использованием логических правил / Чалый С. Ф., Цимбаленко Р. Н., Буцукина И. Б. // Технологический аудит и резервы производства. 2013. -Т.3 № 1(11). -С.53-55.

9. Заболеева-Зотова, А.В. Программа комплексной автоматизации начальных этапов проектирования программного обеспечения / А.В. Заболеева-Зотова, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев // Исследования операций и анализа данных, Мексика Канкун Центр непрерывного образования Национального политехнического института (IPN). – Канкун, 2012. – С. 65-73. – Англ.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Analiz metodologiy upravleniya proektami [Analysis of project management methodologies] [Electronic resource]. - URL: <http://infostr.ru/public/296315/> (date of circulation 15.10.2016) [In Russian]

2. Korovkina N.L., Trushkina E.P. Razrabotka modeli kolichestvennoy otsenki urovniya zrelosti upravliniya IT-proektami [Development of a model for quantitative assessment of the maturity level of IT project management] // Mezhdistsiplinarniy nauchno-prakticheskiy zhurnal GU-VSHE [Interdisciplinary scientific and practical journal SU-HSE]. -2010. –No.4 (14). – P. 12-20. [In Russian]

3. Sovmeshcheniye traditsionnogo i gibkogo tipov upravleniya proektom – Metod gibkogo upravleniya proektom (Agile) [Combining traditional and flexible types of project management - flexible project management method (Agile)] [Electronic resource]. - URL: <http://www.pmtoday.ru/priority-managent/agile/tratiotone-and-agil-blanding/page-2.html> (date of circulation on 16.10.2016) [In Russian]

4. Zaboleeva-Zotova A.V., Orlova Yu.A., Rozaliev V.L. Formalizatsiya nachalnoy stadii razrabotki mnogoprogrammnogo programmno obespecheniya [Formalization of the initial development stage of multiprogram software] / Fomenkov S.A., Petrovskiy A.B. // Mnogootraslevaya konferentsiya po voprosam upravleniya i informatsionnoy sistemy na 2013 [Multi-sectoral conference on management and information systems on 2013] (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) 2013. - P. 107-111. [In Russian]

5. Orlova, Yu.A. Analiz modeley I metodov povysheniya effektivnosti proektirovaniya programmno obespecheniya [Analysis of models and methods for increasing the efficiency of software development] / Yu.A. Orlov // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Volgograd State Technical University]. 2010. V.9. – No. 11 (71). – P. 137-141. [In Russian]

6. Top-7 metodov upravleniya proektami: Agile, Scrum, Kanban, PRINCE2 i drugiye [Top-7 methods of project management: Agile, Scrum, Kanban, PRINCE2 and others] [Electronic resource] - URL: <http://www.pmservsec.ru/project-management-news/top-7-metodov-upravleniya-Pronektami-agile-ssrum-kanban-prinse2-i-drugie/> (date of circulation on 20.10.2016) [In Russian]

7. Yong H Kwak; C. Williams Ibbs Otsenka Zrelosti Upravleniya Proektami [Evaluation of Project Management Maturity] / Project Management. 2000. - P. 31. [In Russian]

8. Chaliy S.F., Tsymbalenko R.N. Adaptatsiya protsessov kontrolya komandy razrabotchikov program s ispolzovaniyem logicheskikh pravil [Adaptation of control processes of the software development team using logical rules] / Chaliy S.F., Tsymbalenko RN, Butskina IB // Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva [Technological audit and production reserves]. 2013. - V.3 – No. 1 (11). – P.53-55. [In Russian]

9. Zaboleeva-Zotova, A.V. Programma kompleksnoy avtomatizatsii nachalnykh etapov proektirovaniya programmno obespecheniya [Program of integrated automation of the initial stages of software development] / A.V. Zaboleeva-Zotova, Yu.A. Orlova, V.L. Rosaliev // Issledovaniye operatsiy i analiza dannykh, Meksika, Kankun, Tsentr neprerivnogo obrazovaniya Natsionalnogo politekhnicheskogo instituta (IPN) [Operations Research and Data Analysis, Mexico Cancun Continuing Education Center of the National Polytechnic Institute (IPN)] - Cancun, 2012. - P. 65-73. - Engl.



Все статьи, опубликованные в «Международном научно-исследовательском журнале», загружаются в РИНЦ.

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) — библиографическая база данных научных публикаций российских учёных. Для получения необходимых пользователю данных о публикациях и цитируемости статей на основе базы данных РИНЦ разработан аналитический инструмент *ScienceIndex*.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.130>

Романчиков С.А.

ORCID: 0000-0002-1825-0032, Кандидат технических наук,

Военная академия материально-технического обеспечения

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ****Аннотация**

Предложены методические подходы к определению интегрального показателя качества полевых технических средств и технологического оборудования продовольственной службы. Для повышения точности вычислений расчета весов использован метод расстановки приоритетов, который за определенное количество итераций позволяет получить устойчивую матрицу. Результаты исследований при применении методов квалиметрического моделирования позволяют определить возможности ПТС и технологического оборудования исходя из показателей их качества, а также осуществлять сравнение существующих образцов с эталонными или перспективными техническими средствами ПС.

Ключевые слова: показатель качества, техническое средство, технологическое оборудование, классификационная группа.

Romanchikov S.A.

ORCID: 0000-0002-1825-0032, PhD in Engineering,

Military academy of logistics

**METHODOLOGY OF ASSESSING THE POSSIBILITIES OF FIELD TECHNICAL EQUIPMENT
AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF FOOD SERVICE****Abstract**

The article offers methodical approaches to the definition of an integrated indicator of quality of field technical means and technological equipment of the food service. We used the method of prioritization in order to improve the accuracy of calculating weights, which allows us to obtain a stable matrix for a certain number of iterations. The results of studies where the methods of qualimetric modeling have been used allows us to determine the capabilities of food service and technological equipment based on their quality indicators, as well as to compare existing samples with references or prospective technical means of the food service.

Keywords: quality index, technical means, technological equipment, classification group.

Сущность предлагаемого подхода к определению интегрированного показателя качества полевых технических средств (ПТС) и эффективности технического оборудования заключается в последовательной композиции формирующих его частных показателей. Структура и состав показателей качества, а также их классификация определены в ГОСТе 16504-81 [1, С. 6], при этом, следует учесть, что такие нестандартные показатели качества как автономность, универсальность, мобильность, живучесть, характерные для ПТС, к настоящему времени не стандартизованы.

Обобщенный показатель эффективности технологического процесса рассчитывается как взвешенная сумма частных показателей по зависимости¹:

$$K_j^o = \sum_{\substack{i=1 \\ n \in N}}^n a_i k_{ji}, \quad (1)$$

где K_j^o – обобщенный (интегральный) показатель эффективности j -й единицы технологического оборудования или j -го ПТС; a_i – вклад частного i -го показателя качества в величину обобщенного (интегрального) показателя K_j^o ; N – множество частных показателей, определяющих обобщенный (интегральный) показатель; k_{ij} – нормированный i -й частный показатель эффективности (качества) j -й единицы технологического оборудования или j -го ПТС.

Значение k_{ij} определяется из соотношения:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{й частный показатель определяет эффективность} \\ & \text{(качество) } j - \text{й единицы технологического оборудования или } j - \text{го ПТС.} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Таким образом, для решения задачи необходимо определить:

множество N частных показателей качества, обеспечивающих возможность использования ПТС или технологического оборудования;

подмножества частных показателей $n_j \in N$, формирующих обобщенные (интегральные) показатели качества ПТС и технологического оборудования;

¹ Представление K_j^o в линейной (аддитивной) форме является в данном случае вполне допустимым, поскольку каждая пара частных показателей (k_{ji}, k_{je}), $i \neq e$ не зависит по предпочтению от своего приращения.

численные значения весов частных показателей a_i .

Для формирования множества показателей качества, определяющих возможность использования технологического оборудования или ПТС целесообразно воспользоваться данными (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели качества, определяющие возможность использования полевых технических средств и технологического оборудования продовольственной службы

Показатели качества	Единицы измерения показателей качества
Безотказность	час
Ремонтопригодность	час
Восстанавливаемость	час
Долговечность	час
Живучесть	уровень (1-5)
Гигиенические	уровень (1-5)
Рациональность формы	балл (0-10)
Автономность	уровень (1-5)
Энергоемкость изготовления и эксплуатации изделия	уровень (1-5)
Длительность цикла технического обслуживания и ремонта	час
Повторяемость	% (1-100)
Вероятность выброса вредных газов, уровень которых не должен превышать предельно допустимой концентрации	% (1-100)
Патентно-правовые	балл (0-10)
Электробезопасность	уровень (1-5)
Функциональная безопасность	уровень (1-5)
Взрывобезопасность	уровень (1-5)
Пожарная безопасность	уровень (1-5)
Экономичность	рубль
Универсальность	уровень (1-5)

Сформированная совокупность показателей упорядочивается путем приписывания порядкового номера i ($i=1, \dots, N$) каждому показателю.

На следующем этапе определяются подмножества показателей качества n_j , характерные для каждой классификационной группы технологического оборудования и ПТС. Результаты проделанной работы оформляются в виде матрицы $K = \|k_{ji}\|$, каждый элемент которой означает наличие или отсутствие частных показателей и величину k_{ji} .

Для определения меры "вклада" каждого показателя в величину K_j^o необходимо произвести расчет весов частных показателей. В настоящее время методы расчета весовых коэффициентов широко освещены в литературе. Теоретические подходы к решению этой проблемы изложены в [2, С. 76], [3, С. 68], а многообразные пути практического решения приведены в работах [3, С. 84], [4, С. 127], [5, С. 74]. С целью повышения точности вычислений для расчета весов признаков целесообразно использовать метод расстановки приоритетов [6, С. 89], [6, С. 139], [8, С. 28], который за определенное количество итераций позволяет получить устойчивую матрицу - вектор-столбец $A = \|a_i\|$.

Тогда формулу для определения K_j^o можно записать в матричной форме, т.е.

$$\|k_{ji}\| \times \|a_i\| = \|k_j^o\| \quad (2)$$

Чтобы решить «проблему размерности» показателей в формулу для вычисления K_j^o включают не абсолютные значения k_{ji} , а их нормированные значения k_{ji}^H , рассчитываемые по формуле

$$k_{ji}^H = \frac{k_{ji}}{k_{ji}^o}, \quad (3)$$

где k_{ji}^o – пороговые (эталонные) значения частных показателей качества.

Однако ввиду противоречивости целей определяющих возможность использования технологического оборудования и ПТС интегральный критерий оценки их эффективности (качества) должен учитывать ситуации, когда значения одних показателей стремятся к максимуму, а других к минимуму.

Разбив подмножество k_{ji} группы показателей, стремящихся к максимуму и минимуму можно привести зависимость (1) к более универсальному, окончательному виду

$$K_j^o = \sum_{\substack{i=1 \\ m \in N}}^m a_i k_{ji} + \sum_{\substack{i=m \\ l \in N}}^l a_i \frac{1}{k_{ji}} \rightarrow \max \quad (4)$$

Рассмотрим пример расчета значимости показателей качества технологического оборудования и ПТС ПС с этой целью сформируем таблицу значений эталонных и фактических показателей качества и определим их нормированные значения (табл. 2).

Таблица 2 – Нормативные показатели качества полевых технических средств и технологического оборудования продовольственной службы

№ п/п	Показатели качества	Эталонные	Фактические	Нормативные
1	2	3	4	5
1.	Безотказность	1700,0	1150,0	0,68
2.	Ремонтопригодность	2,0	2,5	0,63
3.	Восстанавливаемость	4,0	2,8	0,70
4.	Долговечность	25000,0	21100,0	0,84
5.	Живучесть	5,0	3,4	0,68
6.	Вероятность выброса вредных газов, уровень которых не должен превышать предельно допустимой концентрации	0,0	60,0	0,43
7.	Функциональная безопасность	5,0	3,5	0,70
8.	Электробезопасность	5,0	4,0	0,80
9.	Взрывобезопасность	5,0	3,2	0,64
10.	Длительность цикла технического обслуживания и ремонта	2,0	4,0	0,63
11.	Экономичность	100,0	50,0	0,50
12.	Патентно-правовые	10,0	2,0	0,20

Для расчета весов частных показателей составим таблицу парных сравнений элементы которых свидетельствуют о предпочтениях одних показателей над другими по вкладу в обобщенный или интегральный показатель качества (табл. 3).

Таблица 3 – Матрица парных сравнений показателей качества

Номера показателей	Номера показателей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5
2	0,0	1,0	1,0	1,5	0,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
6	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
7	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
8	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	0,0	1,0	1,5	1,0	1,0
10	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
11	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
12	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

При этом, каждому элементу матрицы присваивается количественное значение β_{ij} по следующему соотношению

$$k_{ij} = \begin{cases} 1,5 & \text{если частный показатель по предпочтению важнее } i > j \\ 1, & \text{если частные показатели равнозначные по предназначению } i = j. \\ 0, & \text{если частный показатель менее важен } i < j. \end{cases}$$

Веса частных показателей рассчитываются по зависимости

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^n B_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n B_{ij}} \quad (5)$$

и приведены расчетные значения весов частных показателей для средств приготовления, транспортирования и приема пищи, табл. 4.

Таблица 4 – Значения весов частных показателей

	Наименование (номера) частных показателей												$\sum \alpha_i$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Веса показателей	0,114	0,081	0,066	0,081	0,103	0,037	0,099	0,099	0,088	0,073	0,081	0,081	1,0

Полученные значения нормированных показателей качества и их весов позволили определить интегральные (обобщенные) показатели качества рассматриваемого в примере ПТС значения обобщенных показателей этих технических средств рассчитанные по формуле 4 (приведены в табл. 5).

Таблица 5 – Значения обобщенных показателей

Наименование ПТС	Значение обобщенного показателя качества K_o
Автомобильные кухни	0,62
Прицепные кухни	0,60
Возимые кухни	0,70
Переносные кухни	0,76
Газовые кухни	0,63
Кухонные наборы	0,56
Переносные плиты	0,63

Следует отметить, что значения интегральных показателей качества ПТС отражают в количественной форме степень их приближения к эталонным образцам или наиболее эффективным аналогам. Это позволяет оценить возможность ПТС и технического оборудования ПС для применения в условиях военного времени, а также выделять лучшие ПТС из классических групп.

Таким образом, разработанная методика оценки возможностей полевых технических средств и технологического оборудования продовольственной службы в отличие от имеющихся, основана на применении методов квалиметрического моделирования возможностей ПТС исходя из показателей их качества, а также сравнения существующих образцов с эталонными или перспективными техническими средствами ПС. Направлением дальнейших исследований в области оценки возможности применения ПТС в различных природно-климатических условиях и боевой обстановки являются разработки методических подходов к определению показателей мобильности, живучести, автономности.

Список литературы / References

- ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Введ. 2002-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 6–7.
- Чумаков Н. М. Оценка эффективности сложных технических устройств / Н.М. Чумаков, Е.И. Серебряный // – М.: Сов. радио, 1980. – 192 с.
- Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук // – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
- Зак Ю. А. Прикладные задачи многокритериальной оптимизации / Ю. А. Зак // М.: Экономика, 2014. – 455 с.
- Ногин В. Д. Линейная свертка в многокритериальной оптимизации / В. Д. Ногин // Искусственный интеллект и принятие решений. – М.: Роспечать, 2014. – № 4. С. 73 – 82.
- Блумберг В. А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов. / В. А. Блумберг, В. Ф. Глущенко // – Л.: Лениздат, 1982. – 160 с.
- Ермошин Н. А. Управление логистическими рисками при проектировании производственной структуры дорожно-строительных организаций / Н. А. Ермошин, / Вестник гражданских инженеров. – СПб.; СПбГАУС, 2010. – № 3. – С. 138 – 140.
- Ермошин Н. А. Имитация условий применения оргструктур для обеспечения устойчивой работы автомобильных дорог / Н. А. Ермошин / Подготовка специалистов силовых структур: проблемы, перспективы, тенденции развития Сборник научных трудов. Пермь, Изд-во ПВИ войск национальной гвардии, 2016. С. 26–33.

Список литературы на английском языке / References in English

- GOST 16504-81. Sistema gosudarstvennyh ispytaniy produkci. Ispytaniya i kontrol' kachestva produkci. Osnovnye terminy i opredeleniya. [The system of state product tests. Testing and quality control of products. Basic terms and definitions] – Vved. 2002-01-01. – М.: Izd-vo standartov, 2003. – P. 39-43. [in Russian]

2. Chumakov N. M. Ocenka jeffektivnosti slozhnyh tehniceskikh ustrojstv [Evaluation of the effectiveness of complex technical devices] / N.M. Chumakov, E.I. Serebrjanyj // – M.: Sov. radio, 1980. – 192 P. [in Russian]
3. Nikolaev V.I., Bruk V.M. Sistemotekhnika: metody i prilozhenija [System engineering: methods and applications] / V.I. Nikolaev, V.M. Bruk // – L.: Mashinostroenie, 1985. – 199 P. [in Russian]
4. Zak Ju. A. Prikladnye zadachi mnogokriterial'noj optimizacii [Applied problems of multicriteria optimization] / Ju. A. Zak // M.: Jekonomika, 2014. – 455 P. [in Russian]
5. Nogin V. D. Linejnaja svertka v mnogokriterial'noj optimizacii [Linear convolution in multicriteria optimization] / V. D. Nogin // Iskusstvennyj intellekt i prinjatие reshenij [Artificial Intelligence and decision making]. – M.: Rospechat', 2014. – № 4. P. 73 – 82. [in Russian]
6. Bljumberg V. A. Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioritetov [Which solution is better? Prioritization method] / V. A. Bljumberg, V. F. Glushhenko // – L.: Lenizdat, 1982. –160 P. [in Russian]
7. Ermoshin N. A. Upravlenie logisticheskimi riskami pri proektirovanii proizvodstvennoj struktury dorozhno-stroitel'nyh organizacij [Management of logistics risks in the design of the production structure of road construction organizations] / N. A. Ermoshin, / Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers] – SPb.; SPbGAUS, 2010. – № 3. – P. 138 – 140. [in Russian]
8. Ermoshin N. A. Imitacija uslovij primeneniya orgstruktur dlja obespecheniya ustojchivoj raboty avtomobil'nyh dorog [Simulation of conditions for the use of organizational structures to ensure the sustainable operation of highways] / N. A. Ermoshin / Podgotovka specialistov silovyh struktur: problemy, perspektivy, tendencii razvitiya Sbornik nauchnyh trudov. [Training of specialists of power structures: problems, perspectives, development trends Collection of scientific works.] Perm', Izd-vo PVI vojsk nacional'noj gvardii, 2016. P. 26–33. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.048>

Свечкарев С.В.¹, Васильев А.С.², Забелин К.Н.³

¹ORCID: 0000-0002-7838-2972, Кандидат технических наук,
Томский политехнический университет

²ORCID: 0000-0003-0048-9240, Кандидат технических наук,
Томский политехнический университет

³Общество с ограниченной ответственностью «Энергонефть Томск»

СИНХРОНИЗАЦИЯ ВЫДЕЛЕННЫХ РАЙОНОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Аннотация

Рассмотрены условия обеспечения точной синхронизации выделенного района энергосистемы с распределенной генерацией к питающей сети, с учетом специфики работы предприятий нефтегазовой отрасли. Приведены данные моделирования процессов при различных условиях аварийного отключения энергорайонов от сети. Предложен алгоритм управления энергоблоками газотурбинной станции для обеспечения условий точной синхронизации. Результаты исследований показали, что адаптивное управление настройками автоматических регуляторов частоты и мощности энергоблоков газотурбинной станции позволяют обеспечить условия точной синхронизации выделенного района энергосистемы к питающей сети.

Ключевые слова: послеаварийные режимы, распределенная генерация, синхронизация районов энергосистемы, адаптивное управление, автоматический регулятор частоты и мощности.

Svechkarev S.V.¹, Vasiliev A.S.², Zabelin K.N.³

¹ORCID: 0000-0002-7838-2972, PhD in Engineering,
Tomsk Polytechnic University

²ORCID: 0000-0003-0048-9240, PhD in Engineering, Tomsk Polytechnic University

³Limited Liability Company “Energoneft Tomsk”

SYNCHRONIZATION OF SELECTED AREAS OF ENERGY SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION

Abstract

We have studied the conditions of ensuring accurate synchronization of the allocated area of the energy system with distributed generation to the power grid with regard to the specifics of oil and gas industry operation. The data of processes modeling under various conditions of emergency switching-off of energy areas from a network are given in the paper. An algorithm for controlling power units of a gas turbine station aimed at providing conditions for accurate synchronization are proposed. The results of the research showed that adaptive control of the settings of automatic frequency and power controllers of the power units of a gas turbine station ensures the conditions for exact synchronization of the allocated area of the energy system to the power network.

Keywords: post-emergency modes, distributed generation, synchronization of energy system areas, adaptive control, automatic frequency and power control.

Предприятия нефтегазовой отрасли вносят существенный вклад в развитие промышленности России и наполнение бюджетов всех уровней. В процессе добычи нефти образуется три различных компонента: нефть, вода (закачиваемая обратно в пласт для поддержания пластового давления) и попутный нефтяной газ, транспортировка которого является экономически нецелесообразной, по причине относительно малого его количества и больших энергозатрат на его подготовку. Обычной практикой стало сжигание попутного газа в факелах на месторождениях.

В целях сокращения загрязнения атмосферы и по причине крупных штрафных санкций [1] при сжигании попутного газа стали активно внедряться автономные газотурбинные и газопоршневые электростанции небольшой мощности. Себестоимость единицы энергии данными генерирующими станциями, даже с учетом использования тепловой энергии уходящих газов в котлах превышает стоимость электроэнергии, получаемой по распределительным сетям. Однако наличие собственной генерации в районе большой удаленности от источников мощности позволяет обеспечить потребителей надлежащим уровнем надежности энергоснабжения, что гарантирует непрерывность производственного процесса.

При возникновении аварийной ситуации в сети высокого напряжения (обычно 110 кВ) энргорайон, включающий в себя газотурбинную электростанцию (ГТЭС), переходит в изолированный режим работы. При этом внутри изолированного энргорайона возникают предпосылки к синхронным качаниям, которые обусловлены следующими факторами:

1. Переход в изолированный режим сопровождается аварийным воздействием, обычно коротким замыканием.
2. Нагрузка выделенного района и суммарная мощность генерации энргоблоками ГТЭС не совпадают, поэтому при выделении энргорайона появляется избыточная разность моментов, которая приводит к начальному изменению частоты.

3. Первичные регуляторы частоты энргоблоков ГТЭС отрабатывают изменение частоты с перерегулированием.

Автоматические регуляторы возбуждения (АРВ) синхронных генераторов и двигателей также могут оказывать существенное влияние на характеристики колебательного процесса [2, С. 3], однако такое влияние возможно только при значительном отклонении уставок АРВ от оптимальных значений.

На рисунках 1–3 представлены графики переходов в изолированный режим работы выделенного энргорайона при различных условиях: с недостатком и избытком генерируемой мощности ГТЭС, а также до аварийным уравновешенным балансом генерируемой и потребляемой мощности.

На рисунках 1–6 приведены следующие обозначения:

- а) частота ГТЭС (f): 1 – максимальное значение частоты ($f_{\text{Макс}}$); 2 – минимальное значение частоты ($f_{\text{Мин}}$).
- б) Активные мощности (P): 3 – активная мощность 4-х из 6-ти генераторов по 4 МВт ГТЭС; 4 – активная мощность 2-х оставшихся генераторов ГТЭС.
- в) Напряжение на шинах ГТЭС (U): 5 – размах колебаний напряжения (ΔU);

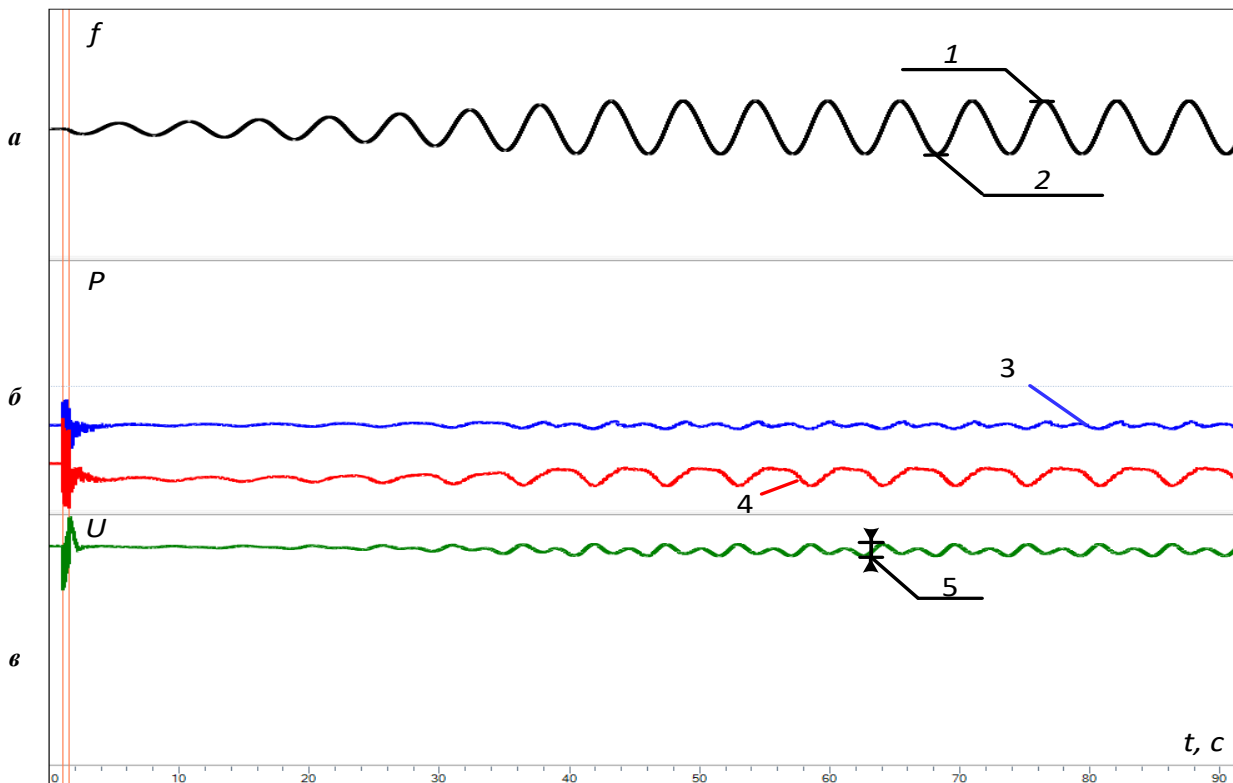


Рис. 1 – Переход в автономный режим выделенного энргорайона с недостатком генерируемой мощности ГТЭС

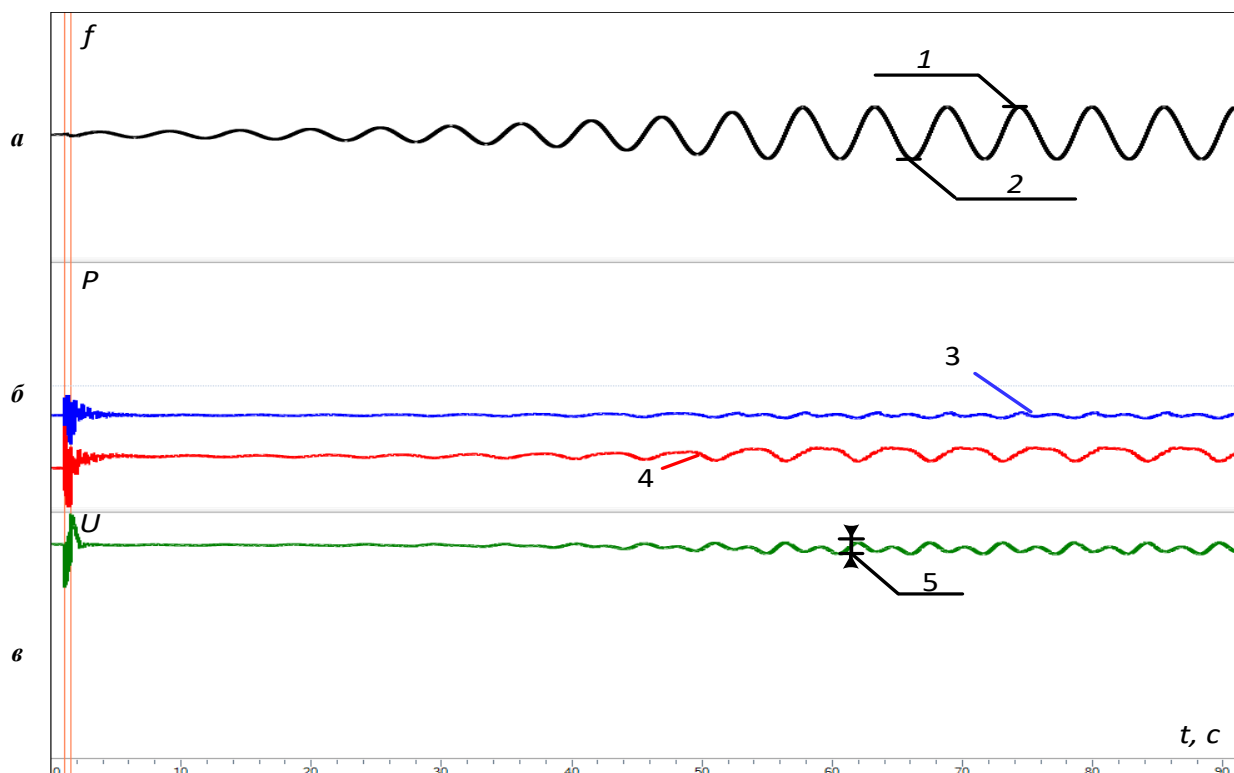


Рис. 2 – Переход в автономный режим выделенного энергорайона с избытком генерируемой мощности ГТЭС

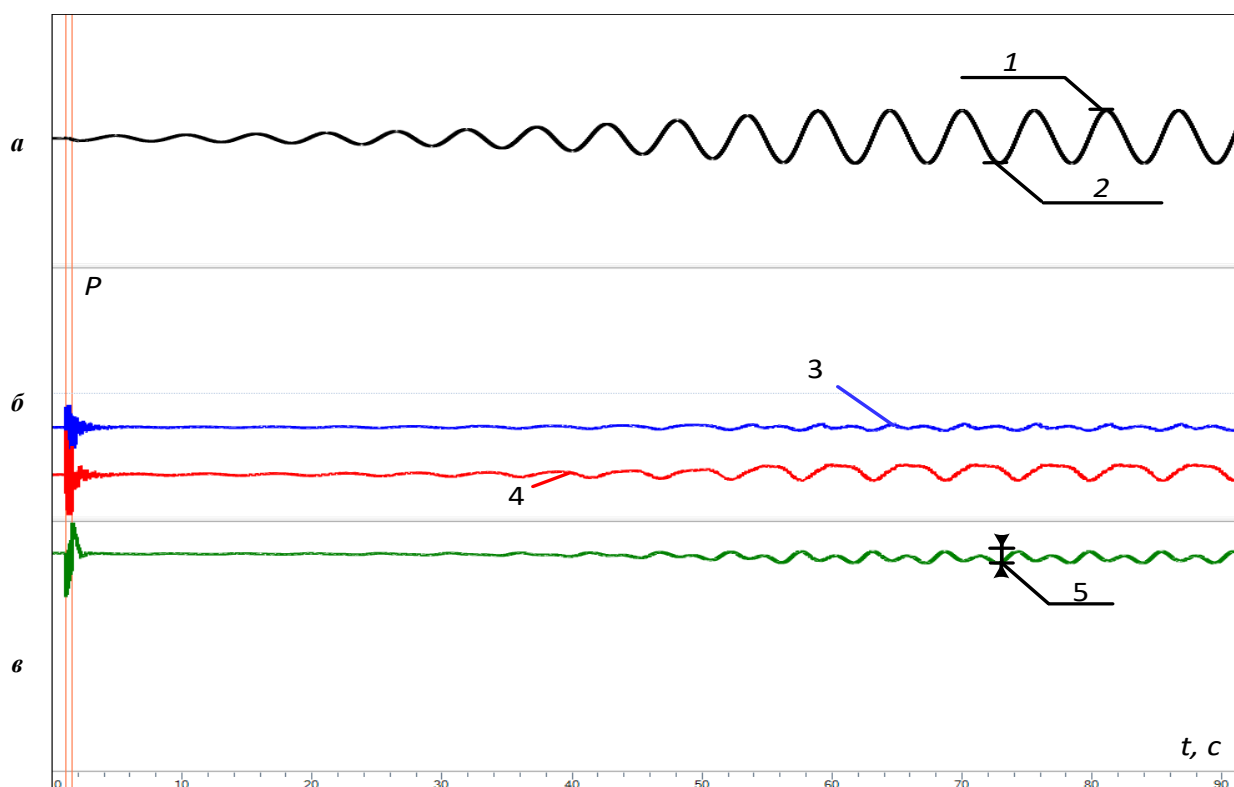


Рис. 3 – Переход в автономный режим выделенного энергорайона с уравновешенным балансом генерируемой и потребляемой мощности

Амплитуда синхронных качаний по частоте $\Delta f = (f_{\text{Макс}} - f_{\text{Мин}})/2$ может достигать 3 Гц, а отклонение по напряжению ΔU составляет до 5%.

Наличие синхронных качаний в изолированном энергорайоне не позволяет произвести точную синхронизацию с высоковольтными сетями. Поэтому развитие такой ситуации зачастую приводит к необходимости отключения потребителей, соответственно к значительным финансовым потерям и рискам развития технологических аварий, связанным с добычей и перекачкой нефти.

Таким образом, возникают две задачи:

1. Предотвратить отключение потребителей.
2. Снизить уровень или ликвидировать синхронные качания в выделенном энергорайоне и максимально быстро обеспечить условия для точной синхронизации выделенного энергорайона с сетью высокого напряжения.

Анализ синхронных качаний в выделенном энергорайоне показывает, что основное влияние на амплитуду синхронных качаний оказывает первичное автоматическое регулирование частоты энергоблоков, при условии сохранения частотных свойств нагрузки и нормальных настроек АРВ. Однако изменение коэффициентов статизма по отклонению частоты может привести к еще большим амплитудам качаний. Поэтому предлагается следующая методология устранения синхронных качаний:

1. Предаварийное определение суммарной мощности нагрузки по данным телеизмерений.
2. Разделение генерируемой мощности ГТЭС на составляющие: условно постоянную (без автоматического первичного регулирования частоты) и условно переменную (с учетом регулирования).
3. Задание для условно постоянной составляющей основной части генерируемой мощности, при этом условно переменная составляющая должна гарантировано перекрывать возможный диапазон изменения активной мощности нагрузки.
4. Задание зоны нечувствительности по частоте для автоматических регуляторов частоты вращения условно постоянной составляющей на уровне 1.5%, что обеспечит отсутствие управляющих воздействий в изолированном режиме работы.

Например, суммарная мощность 6-ти энергоблоков ГТЭС по 4 МВт составляет $P_{\text{СУММ ГТЭС}} = 24 \text{ МВт}$, а мощность нагрузки изолированного энергорайона $P_H = 20 \text{ МВт}$. Доля условно переменной составляющей задается $\Delta P = \pm 4 \text{ МВт}$. Поэтому для двух энергоблоков условно переменной составляющей задается мощность 4 МВт равными частями по 2 МВт, которая позволит снизить и нарастить генерацию от 0 до 8 МВт. 16 МВт условно постоянной части генерации ГТЭС распределяется между 4-мя энергоблоками равномерно по 4 МВт. При выделении такого сбалансированного энергорайона в автономный режим работы синхронные качания быстро затухают (рис. 4). Так же быстро синхронные качания затухают при выделении энергорайона с предаварийным избытком (рис. 5) и дефицитом (рис. 6) генерации ГТЭС.

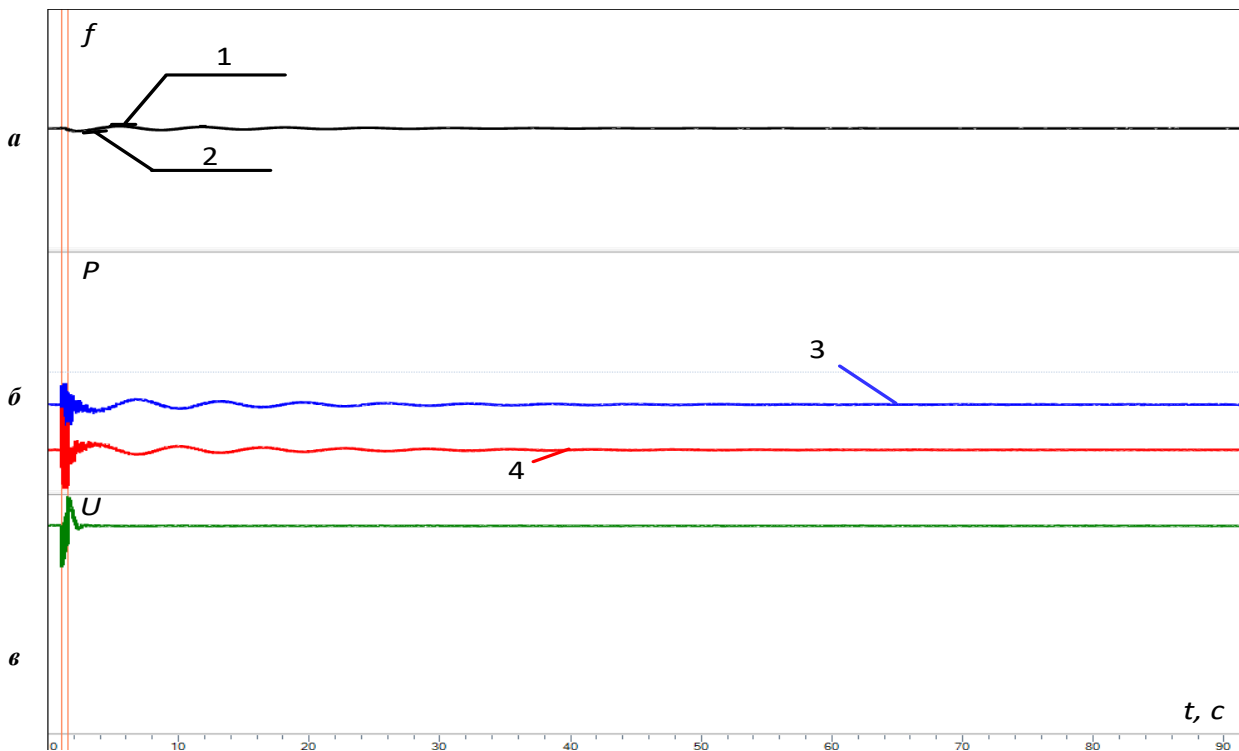


Рис. 4 – Переход в автономный режим выделенного энергорайона с уравновешенным балансом генерируемой и потребляемой мощности

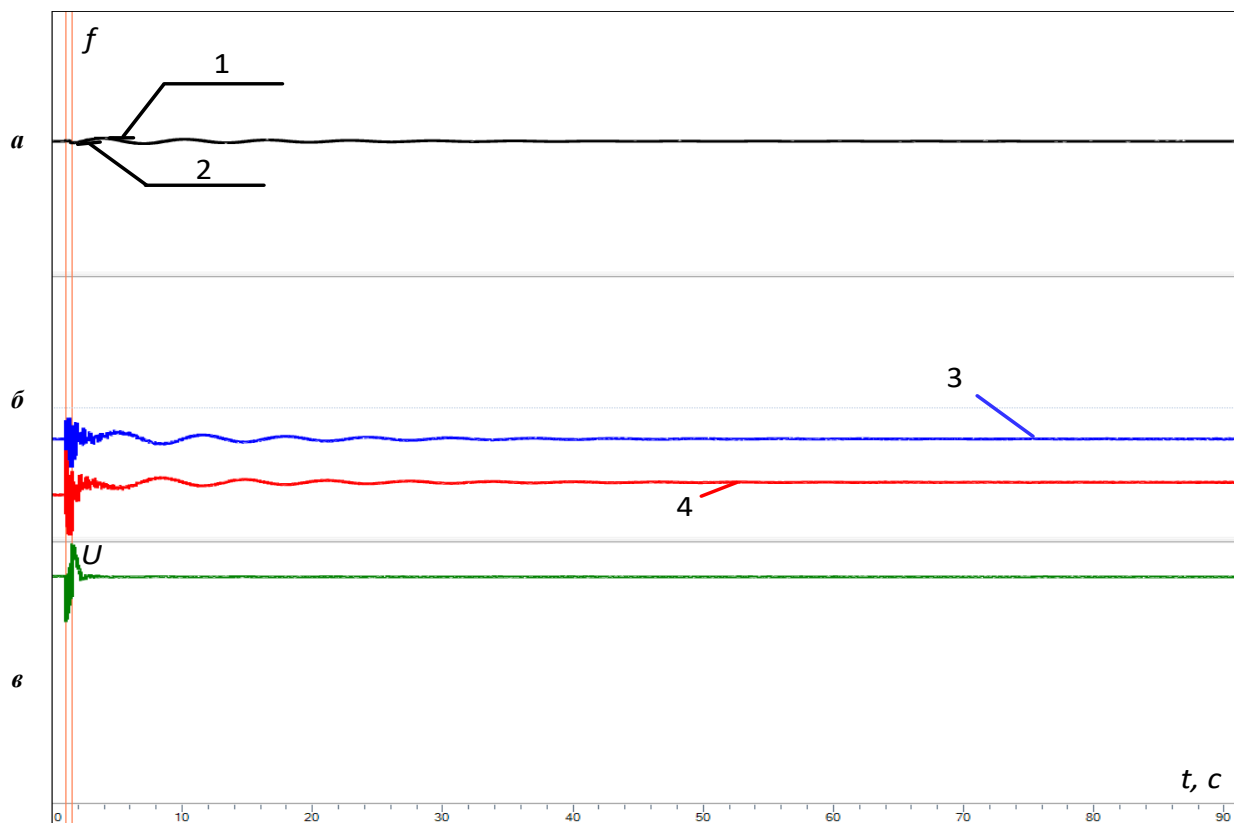


Рис. 5 – Переход в автономный режим выделенного энергорайона с избытком генерируемой мощности ГТЭС

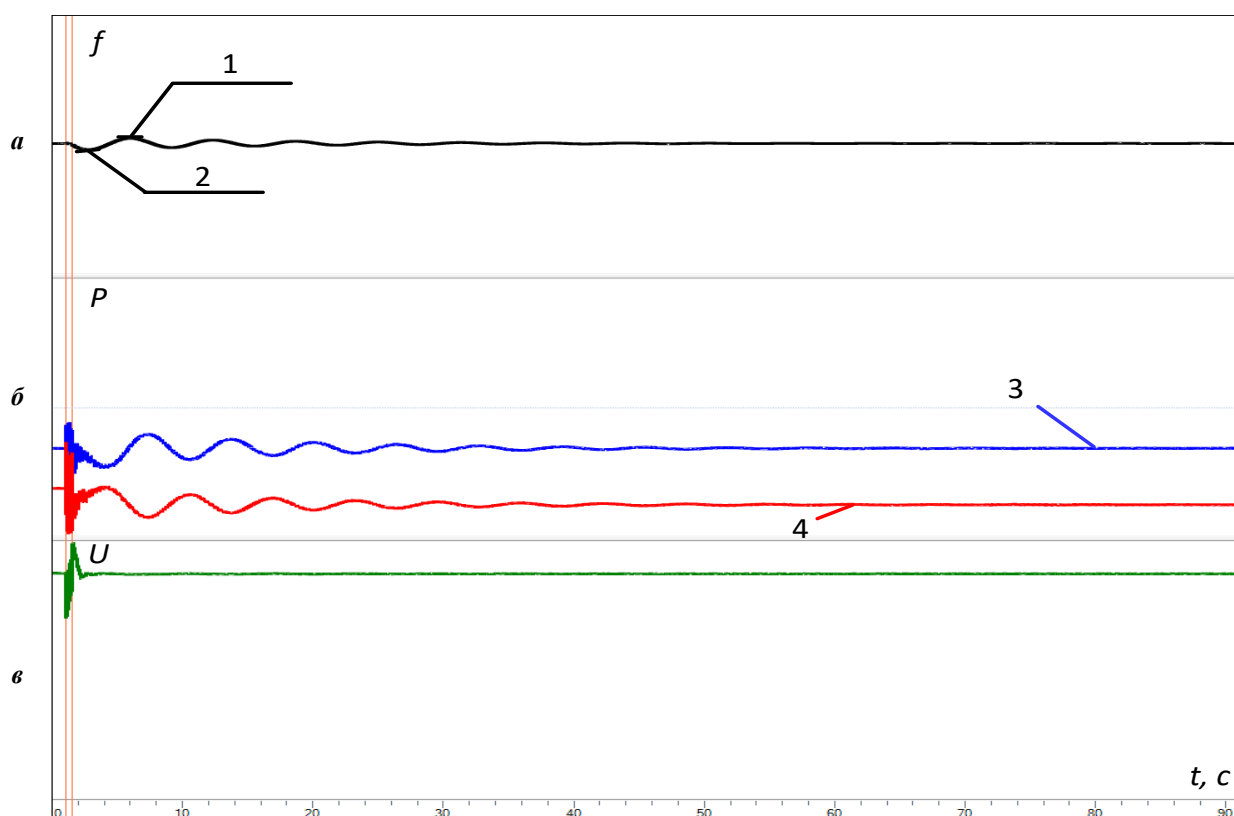


Рис. 6 – Переход в автономный режим выделенного энергорайона с недостатком генерируемой мощности ГТЭС

Однако в послеаварийном режиме снижается надежность электроснабжения ввиду снижения резервов мощности или ограничения количества запасенного первичного энергоносителя. Более того, резервов мощности в выделенном энергорайоне может оказаться недостаточно для покрытия потребления в длительном режиме работы.

Для обеспечения быстрой синхронизации требуется применение автоматических устройств управления, способных надежно привести систему к условиям точной синхронизации [3, С. 1]. Однако на сегодняшний день не существует стандартных решений, что связано, в частности, с подверженностью данного процесса влиянию режимных изменений [3, С. 5].

Таким образом, решается основная задача: потребители не отключаются от сети и создаются условия для обеспечения точной синхронизации выделенного энергорайона с сетью высокого напряжения, которая производится

штатными методами, а применение автоматического управления синхронизацией снижает длительность изолированной работы энергоблока при малых резервах первичного энергоносителя.

Список литературы / References

1. Постановлением Правительства РФ от 08.11.2012 N 1148 (в редакции Постановления Правительства от 17.12.2016 №1381) "Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа".

2. Свечкарев С. В., Васильев А. С., Рыбакова М. В., Алехин, Р. А. Valov В. Влияние настроек автоматического регулятора возбуждения на динамическую устойчивость энергосистемы / С. В. Свечкарев // Интеллектуальные энергосистемы : труды IV Международного молодежного форума, 10-14 октября 2016 г., г. Томск в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ). — 2016. — Т. 3. — [С. 33-37].

3. Прохоров А. В., Беляев Н. А., Хрущев Ю.В., Васильев А.С. Управление движением по программным траекториям для сетей с распределенной генерацией / А. В. Прохоров // Инновационные технологии умных сетей электроснабжения в Азии / IEEE 2016. — [С. 990-995]. [Английский]

Список литературы на английском языке / References in English

1. Postanovlenie pravitelstva RF ot 08.11.2012 N 1148 (v redaktsyy Postanovleniya pravitelstva ot 17.12.2016 №1381) "Ob osobennostiakh istchisleniya platy za negativnoe vozdejstvie na okruzhajushchuyu sredu pri vybrosakh v atmosfernyy vozdukh zagriaznizjuschikh veschestv, obrazujuschihsia pri sgyanii na fakelnykh ustanovkakh i (ili) rasseivanii poputnogo neftianogo gasa" [Governmental decree in RF of 08.11.2012 N 1148 (in the reduction of Governmental decree in RF of 17.12.2016 №1381) "About the particularity of payment calculation for a negative influence on environment during throwing out into the atmosphere of pollutants which are produced under burning in the flare units and/or dispersal of the petroleum gas into the atmosphere"] [in Russian].

2. Svechkarev, S.V.; Vasiliev, A.S.; Rybakova, M.V.; Alekhin, R.A. Valov, B. Vlijanie nastroek avtomaticheskogo regulatora vzbuhdeniya na dinamicheskuyu ustojchivost energosistemy [An influence of automatic var regulator tuning on power system dynamic stability] // Intellectualnye energosistemy: Trudy IV Mehdunarodnogo molodjoghnogo foruma [Smart grid: Treatises of the 4th International youth forum]. — 2016. — Tomsk / Natsyonalnyj issledovatel'skij Tomskij Politekhnikeskij universitet (TPU), Energeticheskij institut (ENIN) [National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Institute of Power Engineereng]. — 2016. — V. 3 — P. 33–37 [in Russian].

3. Prokhorov, A. V.; Belyaev, N. A.; Khrushchev, Yu. V.; Vasiliev, A.S. Application of Programmed Trajectory Motion Control for the Grids Containing Distributed Generation // 2016 IEEE INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES - ASIA (ISGT-ASIA) P. 990-995



«Международный научно-исследовательский журнал» включен в базу данных WorldCat.

WorldCat — крупнейшая в мире библиографическая база данных, насчитывающая свыше 240 млн записей о всех видах произведений на 470 языках мира. База создается совместными усилиями более чем 72 тыс. библиотек из 170 стран мира в рамках организации OCLC.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.065>Смоленцева А.А.¹, Квашнина Н.А.²¹ Кандидат технических наук, доцент,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

² Магистрант Высшей школы биотехнологии и пищевых технологий,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ КАЧЕСТВА МЯСНЫХ ФАРШЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ**Аннотация**

Исследованы технологические свойства говяжьих фаршей торговых марок «Мираторг» и «Самсон». Проведена оценка качества традиционной кулинарной продукции, приготовленной из котлетного мяса и говяжьего фарша промышленного производства. Установлено, что качество говяжьего фарша «Самсон» соответствует требованиям технических нормативов общественного питания, он может быть рекомендован для приготовления традиционных кулинарных изделий из рубленого мяса. Изделия из фарша торговой марки «Мираторг» отличаются повышенной потерей массы и низкой органолептической оценкой. Даны рекомендации по разработке новых видов кулинарной продукции из фарша с повышенным содержанием жира.

Ключевые слова: говяжий фарш, технологические свойства, кулинарная продукция, органолептическая оценка.

Smolentseva A.A.¹, Kvashnina Kh.A.²¹ PhD in Engineering, Associate Professor,

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

² Graduate of the Higher School of Biotechnology and Food Technology,

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

EVALUATION OF QUALITY CONFORMANCE OF MINCED MEAT OF INDUSTRIAL PRODUCTION TO THE REQUIREMENTS OF TECHNICAL STANDARDS OF PUBLIC CATERING**Abstract**

The article discusses technological properties of the beef minced meat of "Miratorg" and "Samson" trademarks. We carried out the evaluation of the quality of traditional culinary products prepared from cutlet and ground beef meat of industrial production. It is established that the quality of "Samson" beef conforms to the requirements of technical standards for public catering. We can recommend using it for the preparation of traditional culinary products from chopped meat. Products made from minced meat of the trade mark "Miratorg" are characterized by the increased loss of weight and low organoleptic properties. Recommendations are given on the development of new types of culinary products from minced meat with high fat content.

Keywords: beef stuffing, technological properties, culinary products, organoleptic evaluation.

Современная организация производства в предприятиях общественного питания основана на использовании полуфабрикатов разной степени готовности. При выборе полуфабрикатов руководствуются следующими критериями: высокая степень унификации, соответствие качества полуфабриката техническим нормативам, низкая стоимость. Унифицированным полуфабрикатом для производства кулинарной продукции из рубленого мяса является мясной фарш. На этот полуфабрикат разработан национальный стандарт ГОСТ Р 55365. Производство мясного фарша разного термического состояния и вида упаковки налажено многими предприятиями мясной промышленности. Сборник технических нормативов для предприятий общественного питания устанавливает требования к качеству котлетного мяса, которое является основным полуфабрикатом для мясных рубленых изделий. В котлетном мясе говядины содержание жировой и соединительной ткани не должно превышать соответственно 10 % и 10 % [1, с. 499]. Это обеспечивает приготовление изделий требуемого качества, включая органолептические характеристики и потери массы при термической обработке.

Цель работы: исследовать качество и технологические свойства говяжьих фаршей промышленного производства для оценки их соответствия техническим нормативам и обоснования использования в предприятиях общественного питания.

Объектами исследования являются:

- котлетное мясо (шейная часть), мясной полуфабрикат категории А;
- фарш говяжий ГОСТ Р 55365, полуфабрикат мясной рубленый охлажденный категории А, торговая марка «Самсон», произведен ООО "Мясокомбинат Всеволожский", Ленинградская область;
- фарш говяжий ТУ 10.13.14-017-18181321-2016, полуфабрикат мясной рубленый охлажденный категории Б, торговая марка «Мираторг», произведен ООО «Брянская мясная компания», Брянская область;
- бифштекс натуральный рубленый, биточки, тефтели из говядины, приготовленные по техническим нормативам предприятий общественного питания [1, С. 312-320].

Методы исследования: массовую долю сухих веществ определяли высушиванием образцов до постоянной массы, массовую долю жира – методом Герберга по ГОСТ Р 54607.5 [2, С. 5-10]; потери массы при термической обработке – по ГОСТ 31988 [3]; органолептическую оценку изделий – по ГОСТ 31986 [4].

Влагоудерживающую способность (ВУС, %) – разность между содержанием влаги в фарше и количеством влаги, отделившейся в процессе термической обработки, определяли по методике [5] и вычисляли по формуле (1):

$$\text{ВУС} = V_{\phi} - \frac{b \cdot e}{c \cdot A} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где V_{ϕ} – содержание воды в фарше, %; b – масса потерь, г;

e – количество воды, выделившееся в процессе сушки, г;

c - масса пробы водно-жировой эмульсии, отобранной на анализ, г;

A - масса отобранной пробы мясного фарша, г.

Жирудерживающую способность фарша (ЖУС, %) – разность между содержанием жира в фарше и количеством жира, отделившимся в процессе термической обработки, вычисляли по формуле (2):

$$\text{ЖУС} = \text{Ж}_\phi - \frac{b \cdot g}{c \cdot A} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где Ж_ϕ - содержание жира в фарше, %;

g - количество жира, выделившееся из пробы водно-жировой эмульсии в процессе экстракции, г.

Результаты. Сравнительный анализ физико-химических показателей исследуемых образцов (табл.) показал, что фарш торговой марки «Самсон» близок по содержанию белков, жиров и влаги к котлетному мясу, соответствует требованиям стандарта ГОСТ Р 55365 [6, С. 8] и техническим нормативам общественного питания. Фарш говяжий торговой марки «Мираторг» по содержанию жира и сухих веществ значительно превышает остальные образцы, что может сказаться на его технологических свойствах и органолептических характеристиках кулинарных изделий.

Для определения потерь массы при термической обработке: 50 г фарша формовали в виде изделия округло-приплюснутой формы, запаивали в пакет из полимерной пленки и обрабатывали в пароконвектомате при температуре 85 °С в течение 40 минут. Эти режимы обработки позволяют достичь нормируемого санитарными нормами значения температуры внутри изделия. Результаты определения потерь массы представлены в таблице.

Таблица – Характеристика показателей качества говяжьего фарша и кулинарных изделий

Наименование показателя	Характеристика показателя		
	Котлетное мясо	Фарш «Самсон»	Фарш «Мираторг»
Массовая доля жира, %	10,0	8,8	35,0
Массовая доля белка, %	17,8	16,0	12,0
Массовая доля влаги, %	71,3	72,5	42,1
Потери массы при тепловой обработке, %	-	32,7	40,7
ВУС, %	-	42,3	25,2
ЖУС, %	-	6,3	12,0
Потери массы при тепловой обработке, %			
- бифштекс натуральный рубленый			
- биточки из говядины	31,8	34,3	47,0
- тефтели из говядины	16,8	15,4	20,9
	19,0	21,2	27,9
Органолептическая оценка, баллы			
- бифштекс натуральный рубленый	4,2	3,9	2,9
- биточки из говядины	4,3	4,0	2,8
- тефтели из говядины	4,4	4,3	3,8

Потери массы фаршей при термической обработке обусловлены дегидратацией белков мышечной ткани и плавлением жира. Исследования ВУС и ЖУС показали, что потери влаги не зависят от содержания белков и исходной влажности и составляют для обоих образцов около 40 % от первоначального содержания. Относительные потери жира в исследуемых образцах существенно различаются и составляют для фарша «Самсон» 28 %, для фарша «Мираторг» - 66 %. Таким образом, потери массы в первую очередь определяются содержанием жира в фарше.

Для исследования технологических свойств готовили изделия одинаковой формы (округло-приплюснутой) и выхода (50 г), различающиеся составом котлетной массы и видом панировки. В массу для бифштексов добавляли нарезанный мелким кубиком шпик (в фарш «Мираторг» шпик не добавляли), воду и специи, изделия не панировали; в массу для биточков – хлеб, воду, специи, панировали в сухарях. Тефтели готовили с добавлением пассерованного лука, отварного риса, специй, воды, панировали в муке. Тепловую обработку всех изделий проводили способом, рекомендуемым техническими нормативами: обжарка на жарочной поверхности, с последующим доведением до готовности в конвектомате при температуре 180 °С в течение 8-10 минут. Готовность определяли по цвету изделия на разрезе и температуре внутри изделия – 85-90 °С.

Потери массы изделий, приготовленных из котлетного мяса и фарша «Самсон», сопоставимы друг с другом; для биточков - соответствуют техническим нормативам общественного питания (19 %), для бифштексов и тефтелей немного превышают норму (30 % и 15 % соответственно). Это отразилось на сочности изделий и суммарной органолептической оценке. Потери массы всех изделий из фарша марки «Мираторг» превышают норму: для бифштексов – на 57 %, для биточков – на 10 %. Органолептическая оценка (ниже 3 баллов) позволяет отнести эти изделия к браку. Изделия характеризуются сухой, неоднородной консистенцией, с крупными частицами грубой соединительной ткани, темным серо-коричневым цветом и пересоленным вкусом. Эти недостатки в меньшей степени проявляются в тефтелях - изделиях неоднородной текстуры, с добавлением крупы и лука.

Выводы: Таким образом, исследование технологических свойств говяжьих фаршей показало, что говяжий фарш, приготовленный по ГОСТ Р 55365, отвечает требованиям технических нормативов общественного питания и может быть рекомендован для изготовления традиционных рубленых изделий. Говяжий фарш повышенной жирности

категории Б рекомендуется комбинировать в изделиях с крупами и овощами. Эти продукты содержат крахмал или пищевые волокна, обладающие способностью связывать жир, что снизит потери массы при термической обработке и повысит качество изделий.

Список литературы / References

1. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Сборник технических нормативов. Ч. 1. – М.: Хлебпродинформ, 1996. – 620 с.
2. ГОСТ Р 54607.5-2015 Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Методы определения жира. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
3. ГОСТ 31988-2012 Услуги общественного питания. Метод расчета отходов и потерь сырья и пищевых продуктов при производстве продукции общественного питания. – М.: Стандартинформ, 2014. – 11 с.
4. Способ определения влагоудерживающей способности мясного фарша: авт.свид. 1125526 SU/ Савалатулина Р.М., Алиев С.А., Любченко В.И., Горбатов В.М.; Заявитель Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности. - № 3468309/28-13; Опубликовано 23.11.84, Бюлл. № 43. – 3 с.
5. ГОСТ 31986-2012 Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
6. ГОСТ Р 55365-2012 Фарш мясной. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. - 27 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sbornik receptur bljud i kulinarlyh izdelij dlja predpriyatij obshhestvennogo pitaniya. Sbornik tehniceskikh normativov. [A collection of recipes for dishes and culinary products for public catering establishments. Collection of technical specifications] P. 1. - М.: Hlebprodinform, 1996. – 620 p. [in Russian]
2. GOST R 54607.5-2015 Uslugi obshhestvennogo pitaniya. Metody laboratornogo kontrolja produkcii obshhestvennogo pitaniya. Metody opredelenija zhira. [Catering services. Methods of laboratory control of public catering products. Methods for determining fat.] – М.: Standartinform, 2016. – 12 p. [in Russian]
3. GOST 31988-2012 Uslugi obshhestvennogo pitaniya. Metod rascheta othodov i poter' syr'ja i pishhevyh produktov pri proizvodstve produkcii obshhestvennogo pitaniya. [Catering services. Method of calculating wastes and losses of raw materials and food products in the production of public catering products]. – М.: Standartinform, 2014. – 11 p. [in Russian]
4. Spособ opredelenija vlagouderzhivajushhej sposobnosti mjasnogo farsha. [Method for determining the moisture-holding ability of minced meat]: avt.svid. 1125526 SU/ Savalatulina R.M., Aliev S.A., Ljubchenko V.I., Gorbato V.M.; zayavitel' Vsesojuznyj nauchno-issledovatel'skij institut mjasnoj promyshlennosti. [Applicant All-Union Scientific Research Institute of Meat Industry] - № 3468309/28-13; Published 23.11.84, Bull. № 43. – 3 p. [in Russian]
5. GOST 31986-2012 Uslugi obshhestvennogo pitaniya. Metod organolepticheskoj ocenki kachestva produkcii obshhestvennogo pitaniya. [Catering services. Method of organoleptic evaluation of the quality of food products]. – М.: Standartinform, 2014. – 12 p. [in Russian]
6. GOST R 55365-2012 Farsh mjasnoj. Tehniceskie uslovija. [Minced meat. Technical conditions.] – М.: Standartinform, 2014. - 27 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.035>

Смольников А.Д.¹, Шариков Ю.В.²

¹Аспирант, ²Доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ЯЧЕЙКЕ ПРИ ПОМОЩИ 2D-НЕСТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ

Аннотация

В статье обоснована актуальность вопроса снижения теплотерь при электролитическом получении алюминия. Также рассмотрены допущения, которые необходимо принять при проведении математического моделирования процесса теплопереноса в электролизной ячейке. Приведены результаты расчёта параметров материалов, входящих в футеровку электролизёра. Также показан результат 2D моделирования в специализированном программном пакете.

Ключевые слова: электролиз, 2D моделирование, теплотери.

Smolnikov A.D.¹, Sharikov Y.V.²

¹Postgraduate Student, ²PhD in Engineering, Professor, St. Petersburg Mining University.

MODELING OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN ELECTROLYSIS CELL WITH A 2D NON-STATIONARY MODEL

Abstract

The topicality of the issue of reducing heat loss during electrolytic aluminum production is substantiated in the article. The authors made assumptions and considered mathematical modeling of the heat transfer process in an electrolysis cell. The results of parameters calculating of the materials entering the electrolyzer lining are presented. The result of 2D modeling in a specialized software package is also shown.

Keywords: electrolysis, 2D modeling, heat loss.

В настоящее время перед компаниями по производству алюминия стоит задача получения максимального количества готового продукта с единицы производственной площади. Данная задача всегда является первостепенной для любого производства, которое стремится к росту и развитию. В данный момент эта проблема становится крайне актуальной из-за отчётливой тенденции к падению цены на алюминий согласно данным

лондонской биржи. С 2 772 долларов за тонну в 2011 году цена упала до 1 934 долларов за тонну (на момент 11.04.2017 г.) [1]. В таком случае целесообразно действовать двумя способами. Во-первых, нужно увеличивать производительность отдельных электролизных ячеек. По этому пути идёт большинство алюминиевых «гигантов» таких как ОК «РУСАЛ», RioTinto Alcan Inc., Alcoa Inc, Aluminum Corporation of China Limited и другие. Благодаря передовым технологиям, зарубежные компании успешно запустили сверхмощные электролизные ячейки на силу тока от 500 кА до 600 кА [2]. К сожалению, как всегда бывает, производительность на практике получилась несколько ниже, чем в теории. Данная ситуация встречается в любом производстве, но особенно отчётливо она прослеживается, если речь идёт о крупнейших комбинатах по производству алюминия. В данном случае не обойтись без второго способа – это снижение материальных и энергетических потерь. Вот основной перечень подразумеваемых потерь:

- потери глинозёма и фтористых добавок, при загрузке в питающие бункеры электролизных ванн;
- механические повреждения обожжённых анодов;
- разлив металла при выпуске его из электролизёра;
- большие теплотери через стенки электролизёра.

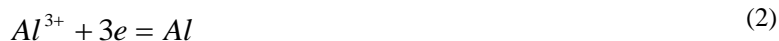
Если минимизация первых трёх пунктов напрямую зависит от качественного проведения регламентированных операций человеком, то минимизация теплотери является более сложной задачей. Дело в том, что при протекании процесса на боковых и торцевых стенках ванны образуются гарниссажи (иными словами наросты шлама). Это рядовая часть технологического процесса, но в том случае, если их образуется слишком много, изменяется форма рабочего пространства (ФРП) ванны, что может привести к замыканию анода на катод, и аварийному режиму работы. Избыточное наращивание гарниссажей возникает при низкой температуре протекания процесса. Повышение температуры происходит за счёт увеличения силы тока, или изменения межполюсного расстояния (МПР). Данный процесс вполне нормален, но было бы намного проще регулировать рост гарниссажей при меньшем количестве теплотери. Одновременно с этим уменьшатся затраты электроэнергии на нагрев электролита. [3]

В силу того, что прямые замеры теплотери затруднительны, кроме того их трудно связать с условиями работы и конструктивными характеристиками электролизеров, мощным средством исследования процессов теплотери и совершенствование их конструкции и условий работы, является математическое моделирование процессов, происходящих внутри электролизеров.

Основная реакция электролиза – это реакция разложения глинозёма (1):



На катоде появляются избыточные электроны, которые захватываются катионами алюминия и приводят к его восстановлению по реакции 2:



На аноде происходит поглощение электронов от отрицательно заряженных анионов по реакции 3:



Также на катоде и аноде протекают такие реакции как: разложение криолита на ионы, выделение натрия на катоде, образование карбида алюминия, образование металлического кремния, и другие [3, С. 5]. В контексте моделирования теплопереноса в электролизной ячейке можно ограничиться только основной реакцией, и выделить одну реакционную зону в аппарате. Остальные зоны, которые представляют различные слои футеровки, можно считать инертными.

В нашем исследовании было проведено моделирование процесса теплопереноса электролизёра с силой тока 600 кА. Конструкционные параметры электролизной ванны были рассчитаны также в ходе данного исследования.

В программном пакете ThermEx [4] реализована возможность моделирования данного процесса, но с некоторыми допущениями. Во-первых, данная программа позволяет создавать 2D нестационарную модель аппарата. Исходя из этого, необходимо рассмотреть электролизёр в разрезе, и в контексте этого разреза задавать все параметры и граничные условия. Такое допущение вполне уместно, так как отношение длины рассматриваемого электролизёра к его ширине достаточно велико. Во-вторых, в виду высокой вязкости можно считать, что перенос тепла происходит за счет теплопроводности с эффективным коэффициентом теплопроводности, равным сумме молекулярной и естественно-конвективной теплопроводности. Футеровка электролизной ванны состоит из нескольких материалов, расположенных послойно. Для данного случая в ThermEx также есть возможность задания многослойной стенки с различными свойствами (плотности, теплоёмкости и коэффициента теплопроводности). [5]

Первым этапом моделирования было создание геометрии аппарата. На рисунке 1 представлен интерфейс программы ThermEx, в котором производится данная операция. Как видно из рисунка, только одна из зон электролизёра является реакционной, все остальные инертные, как и было сказано ранее.

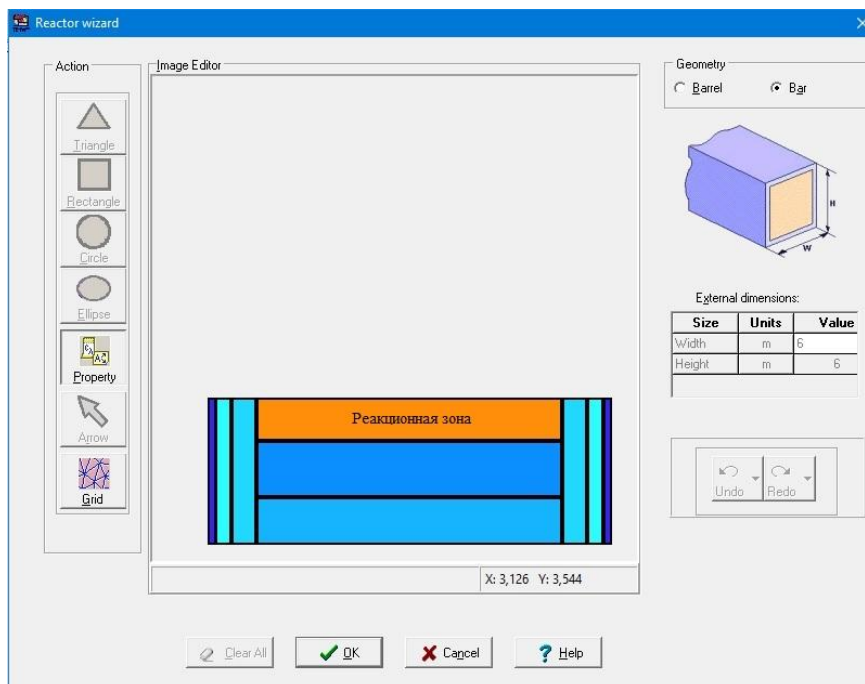


Рис. 1 - Внешний вид окна редактора геометрии аппарата

В этом же окне задаются параметры реакции и свойства материалов, участвующих в теплообменном процессе. Также задаются граничные условия в виде начальной температуры и коэффициента теплоотдачи с внешних стенок электролизёра.

Следующим этапом моделирования является построение сетки из треугольных элементов. В программном пакете использован сеточный метод для решения дифференциальных уравнений в частных производных с переменным шагом сетки в областях больших градиентов температур. Внешний вид геометрии аппарата с сеткой представлен на рисунке 2.

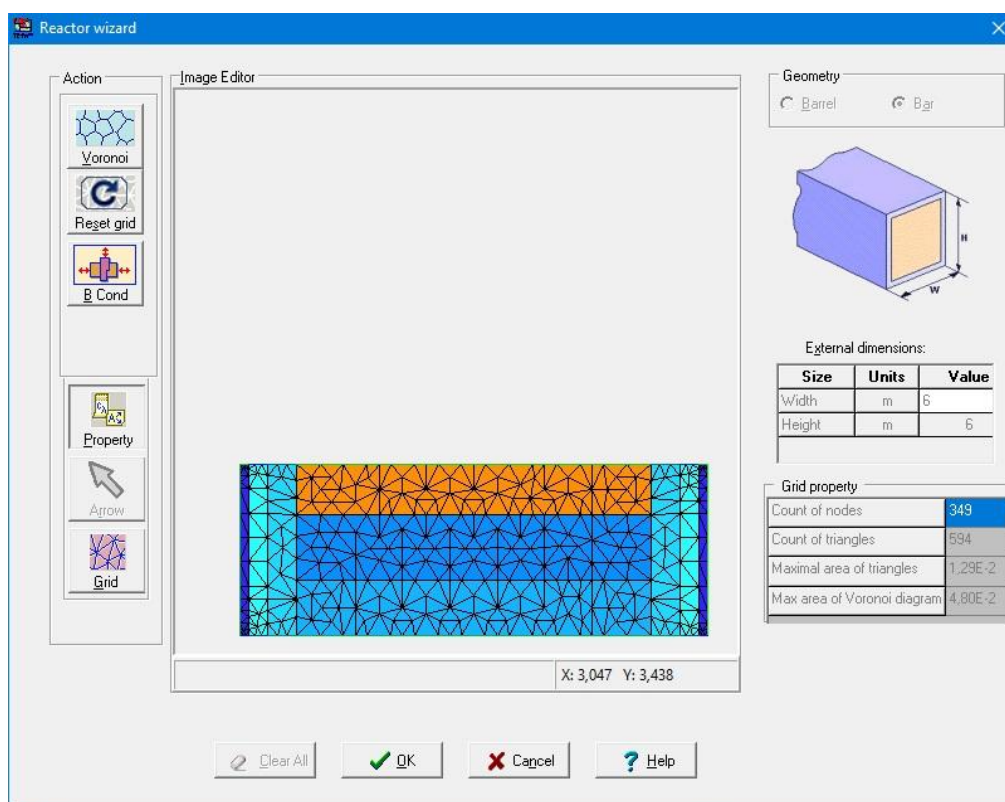


Рис. 2 - Изображение разреза электролизёра с нанесённой сеткой в программе «ThermEx»

Все параметры, рассчитанные в ходе работы, приведены в таблице 1.

Также в ходе моделирования были заданы коэффициенты уравнения, описывающего кинетику реакции, происходящей в реакционной зоне. [6]

Таблица 1 - Параметры материалов

	λ , Вт/(м*К)	α , Вт/(м ² *К)	Rt, м ² *К/Вт	k, Вт/(м ² *К)
Шамот	1,3144			
Шамотный порошок	0,8487			
Уголь	250			
Сталь	47			
Боковая стенка		10,0028	0,4845	2,064
Свод		10,2112	6,3694	0,157
Подина		9,7674	0,682	1,4663

где λ – коэффициент теплопроводности, α – коэффициент теплоотдачи, Rt – коэффициент термического сопротивления стенки, k – коэффициент теплопередачи.

В результате мы получили три стадии процесса. Первая стадия представлена на рисунке 3.

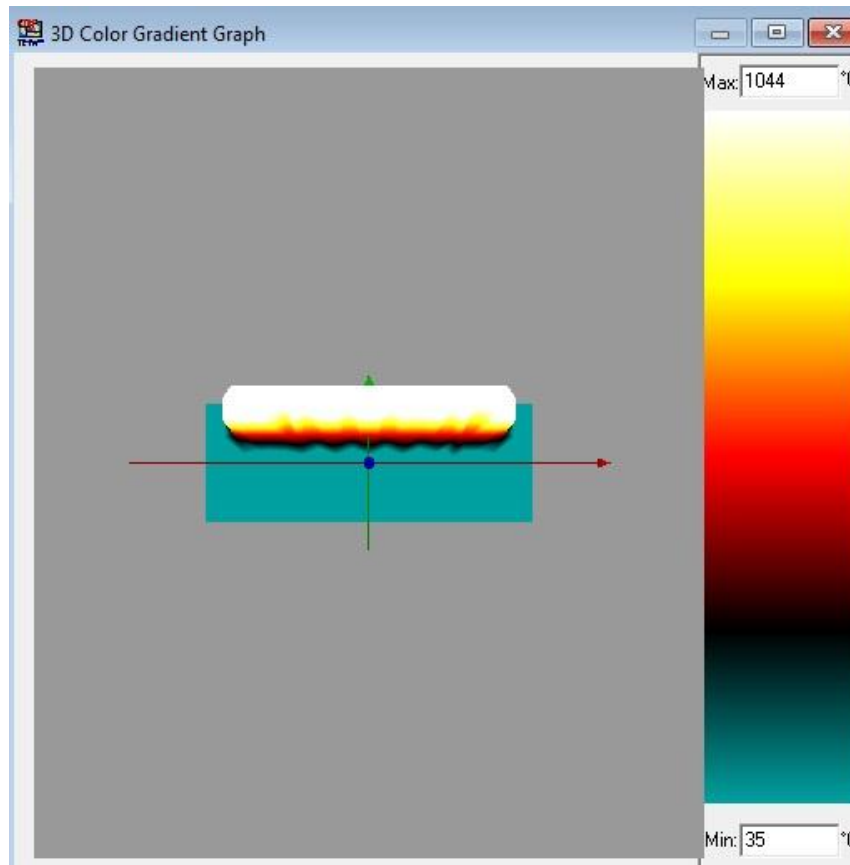


Рис. 3 - Первая стадия процесса

Как видно из рисунка, основная масса теплотерь приходится на свод электролизной ячейки. Далее происходит постепенное остывание расплава и перенос тепла происходит через боковые стенки (рисунок 4). После остывания криолит-глинозёмного расплава, процесс теплопереноса практически прекращается, так как температура внутри электролизёра становится очень близкой к температуре окружающей среды (рисунок 5).

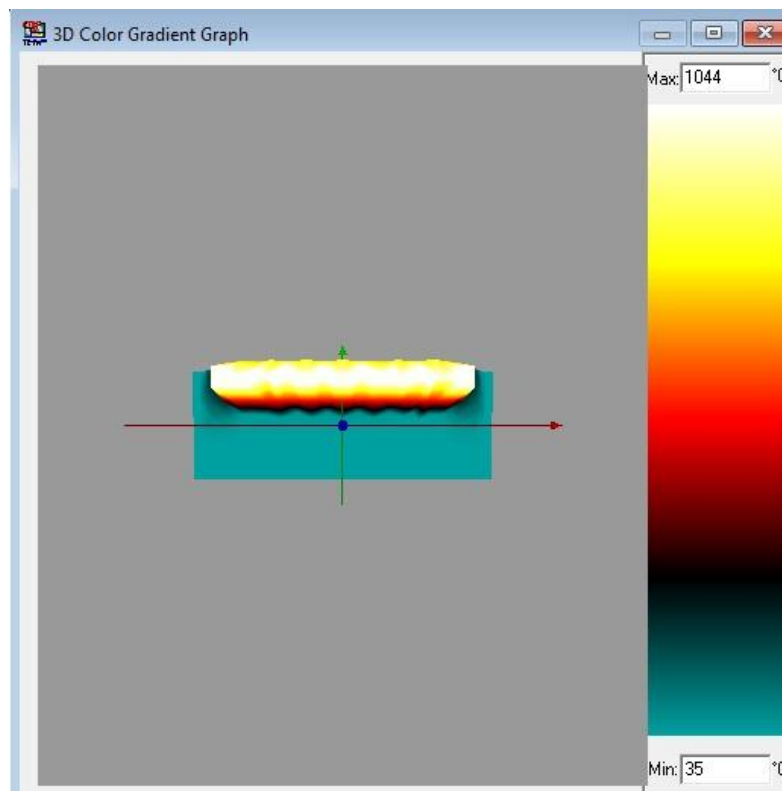


Рис. 4 - Вторая стадия процесса

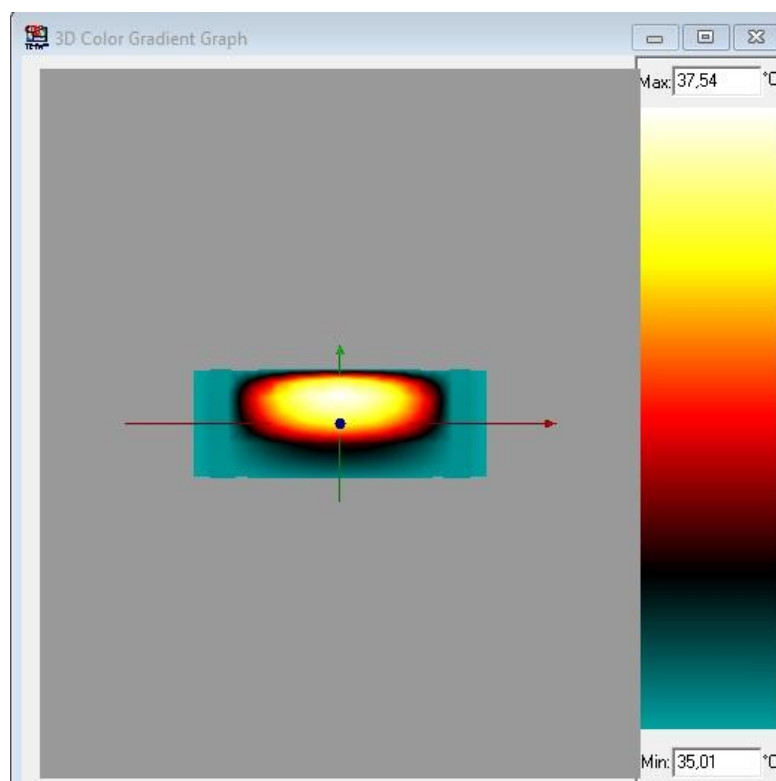


Рис. 5 - Третья стадия процесса

Результат данной работы показывает полуколичественную картину изменения поля температуры в процессе электролиза под действием внутренних источников тепла и теплообмена с окружающим пространством с учетом настелей и теплофизических свойств футеровки. Для более точного расчета тепловых полей и тепловых потерь будет использован программный пакет «ANSYS FLUENT» с учетом полученных данных о теплофизических свойствах шихты и фанеровочных материалов.

Заключение.

1. Проведен анализ процессов, происходящих в электролизной ванне при получении алюминия.
2. Получена двухмерная нестационарная математическая модель процесса электролиза, учитывающая тепловые эффекты и теплопотери в окружающую среду.
3. Исследовано влияние теплофизических свойств футеровки и состава шихты и межполюсного расстояния на тепловые потери и расход электроэнергии при производстве алюминия в электролизерах больших размеров.

Список литературы / References

1. ЛМЕ / LME (Лондонская Биржа Металлов), графики, цены [Электронный ресурс] – URL: <http://metal4u.ru/lme/> (дата обращения: 11.04.2017)
2. Виктор Манн, РУСАЛ: «Революционные технологии стали реальностью»// Вестник РУСАЛа.-2017.-N17 [Электронный ресурс] – URL: http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization_teh/mann-realnost.html (дата обращения: 11.04.2017)
3. Янко Э.А. Производство алюминия: пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов/ Э.А. Янко.- СПб.: Изд-во С-Петерб. ун-та, 2007.-307с.
4. ThermEx software: <http://www.cisp.spb.ru/thermex>
5. A. Kossoy, V. Belokhvostov and E. Koludanova, Thermal decomposition of AIBN: Part D: Verification of simulation method for SADT determination based on AIBN benchmark, *Thermochimica Acta* (2015) V. 621, pp 36-43, DOI: 10.1016/j.tca.2015.06.008
6. Петров П.А. Управление процессом электролитического получения алюминия с использованием алгоритма расчета ненаблюдаемых параметров: дисс. канд. техн. наук: 05.13.06: защищена 17.12.2009/ Петров Павел Андреевич. – СПб, 2009. – 190с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. LME / LME (Londonskaja Birzha Metallov), grafiki, ceny [(London Metals Exchange), charts, prices] [Electronic resource] – URL: <http://metal4u.ru/lme/> (accessed: 11.04.2017). [in Russian]
2. Viktor Mann, RUSAL: «Revoljucionnye tehnologii stali real'nost'ju»// Vestnik RUSALa.-2017.-N17 [Revolutionary technologies have become a reality] [Electronic resource] – URL: http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization_teh/mann-realnost.html (accessed: 11.04.2017). [in Russian]
3. Janko Je.A. Proizvodstvo aljuminija: posobie dlja masterov i rabochih cehov jelektroliza aljuminievyh zavodov [Aluminum production: a manual for craftsmen and workshops for the electrolysis of aluminum plants]/ Je.A. Janko.- SPb.: Izd-vo S-Peterb. un-ta, 2007.-307p. [in Russian]
4. ThermEx software: <http://www.cisp.spb.ru/thermex>
5. A. Kossoy, V. Belokhvostov and E. Koludanova, Thermal decomposition of AIBN: Part D: Verification of simulation method for SADT determination based on AIBN benchmark, *Thermochimica Acta* (2015) V. 621, pp 36-43, DOI: 10.1016/j.tca.2015.06.008
6. Petrov P.A. Upravlenie processom jelektroliticheskogo poluchenija aljuminija s ispol'zovaniem algoritma rascheta nenabljudаемых parametrov [Controlling the process of electrolytic aluminum production using the algorithm for calculating unobservable parameters]: dis. of PhD in Eng: 05.13.06: defense of the thesis 17.12.2009/ Petrov Pavel Andreevich. – SPb, 2009. – 190p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.082>Усынина А.Э.¹, Дербасова Е.М.²¹0000-0001-7795-1646, Старший преподаватель,²Кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет**ПРОБЛЕМА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ МАЛОВОДНЫХ РАЙОНОВ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ****Аннотация**

В Астраханской области за последние 10 лет прослеживается стабильное ухудшение состояния малых водотоков, имеющих важное народно-хозяйственное назначение для населения северных районов области. Стабильно прослеживается снижение проточности поверхностных водотоков, их заиливание, что представляет серьезную угрозу подтопления населенных пунктов во время паводка. В статье предлагается для решения обеспечения жителей маловодных районов или имеющих поверхностный источник водоснабжения, не отвечающий санитарным нормам, и лишенных возможности его применять в хозяйственно-питьевых целях, использовать резервные запасы подземных вод предварительно очищенные с помощью мембранных технологий.

Ключевые слова: подземные воды, водоподготовка, жесткость воды, минерализация.

Usynina A.E.¹, Derbasova E.M.²¹0000-0001-7795-1646, Senior Lecturer, ²PhD in Engineering, Associate Professor,

Astrakhan Institute of Civil Engineering, Astrakhan

PROBLEM OF WATER SUPPLY IN LOW WATER REGIONS OF ASTRAKHAN REGION**Abstract**

There has been a steady deterioration of small watercourses state in the Astrakhan region over the past 10 years. Small watercourses are an important for national and the population of the northern regions of the region. There is a stable decrease in the flowability of surface watercourses. They are being silted which poses a serious threat to the flooding of populated areas. In the article it is proposed to use reserves of groundwater previously purified with the help of membrane technologies to solve the problem of providing residents of low water areas with water and the problem of having a superficial source of water supply that does not meet sanitary standards and cannot be used for domestic and drinking purposes.

Keywords: underground water, water treating, water hardness, mineralization.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из главных и приоритетных задач в мире, от выполнения которой зависит благополучие и здоровье человечества, сохранение стабильной санитарно-эпидемиологической ситуации.

По данным исследований ООН [7] через 20-30 лет более 4 млрд. жителей планеты остро ощутят нехватку пресной воды. Ситуация вызвана глобальными климатическими изменениями, увеличением показателей демографии населения, а также ухудшающемся состоянием источников водоснабжения.

Актуальна проблема водообеспечения населения и для многих регионов нашей страны. Примером вододефицитного района служит Астраханская область, где за последнее десятилетие отмечается ухудшение показателей качества водотоков Нижней Волги, вызванное как антропогенной деятельностью, так и большими объемами сбрасываемых в водоемы загрязняющих веществ [1].

Решение проблемы возможно за счет использования подземного водотока в качестве резервного источника водоснабжения для потребителей, поскольку в гидрогеологическом отношении Астраханская область принадлежит к Каспийскому гидрогеологическому району Прикаспийского артезианского бассейна. Запас пресных вод сосредоточен в пределах Волго-Ахтубинской поймы и на севере степной части области, а также на локальных участках остальной территории [4-5].

До 2004 года опорная наблюдательная сеть состояла из 124 скважин [2]. В настоящее время более 60 скважин законсервированы, многие находятся в нерабочем состоянии.

Одним из маловодных районов Волго-Ахтубинской поймы является село Старица Астраханской области. Основным поверхностным водоисточником на территории населенного пункта является река Волга. Большая часть территории села расположена на правом реки и, только небольшая часть, на левом берегу в междуречье Волго-Ахтубинской поймы.

Застройка МО «Старицкий сельсовет» расположена за пределами зоны санитарной охраны водотока. Поверхностные водотоки, представленные протоками, ериками, озерами, находятся в пойменной части территории муниципального образования. Пополнение части протоков происходит только в период паводка с реки Волга, имеющей постоянную гидравлическую связь с водотоками.

Система водоснабжения села Старица объединенная противопожарная и хозяйственно-питьевая, низкого давления. Разводящие сети построены более 25 лет назад из разнородных материалов: сталь, чугун, асбестоцемент находятся в ветхом состоянии.

По содержанию железа и показателям мутности подаваемая потребителям села водопроводная вода не соответствует требованиям СанПин 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества" и ГН 2.1.5.1315-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования".

Полупустынный поселок Верхний Баскунчак, расположенный на территории Ахтубинского района области, отдаленный от поверхностного водотока, имеет ряд существенных проблем в действующем водохозяйственном комплексе, таких как износ водопроводных сетей, старение основных производственных фондов, отсутствие модернизации и реконструкции систем водоснабжения и водоотведения, и остро нуждается в альтернативном резервном источнике водоснабжения.

Согласно Комплексной программе по социальному переустройству поселения с 2011 года в населенном пункте началось реформирование системы жилищно-коммунального хозяйства, а также капитальные работы по восстановлению водопроводных сетей и оформление необходимой документации на артезианские скважины, введенных в эксплуатацию более 30 лет назад. Использование резерва подземных источников для хозяйственно-питьевых целей населением позволит снизить тарифы в два раза на потребление водных ресурсов.

Однако состояние подземного источника водоснабжения населения не позволяет региону использовать водные запасы на полную мощность (табл. 1) [3].

Таблица 1 - Результаты лабораторных испытаний артезианских вод из скважин пос. Верхний Баскунчак Ахтубинского района Астраханской области [3]

Показатели	измерения	Фактическое значение результата испытаний						
		Скважина №3А	Скважина №6	Скважина №7	Скважина №10	Скважина №10А	Скважина №16	Скважина №19
Запах	Баллы	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Цветность	Градус цветности	2,5	2,5	2,2	8,0	8,0	5,0	33
Мутность	Мг/дм ³	1,45	1,45	1,2	1,91	1,9	1,91	4,41
Водородный показатель (рН)	Ед.	7,9	7,8	7,7	7,7	7,7	7,3	7,2
Сухой остаток	Мг/дм ³	1300	770	730	460	560	2020	1860
Жесткость общая	°Ж	12,2	4,0	8,0	4,9	4,9	26,9	23,7
Кальций	Мг/дм ³	134	48	77	76	76	338	252
Магний	Мг/дм ³	65,9	20	15	13	13	122	135
Натрий	Мг/дм ³	194	150	30	31,7	32	170	184
Калий	Мг/дм ³	2,8	1,1	2,2	2,3	2,2	1,8	1,7
Хлориды	Мг/дм ³	443	95,8	40	35	36	936	833
Сульфаты	Мг/дм ³	148	62,4	70	67,8	67	140	218
Гидрокарбонаты	Мг/дм ³	311	396	250	238	239	311	232
Железо общее	Мг/дм ³	0,57	0,18	0,7	0,1	0,15	0,7	2,22

В таблице 2 приведены органолептические показатели и результаты химического анализа семи скважин, расположенных на территории поселка. Согласно требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, предъявляемым к питьевому водоснабжению, некоторые из показателей превышают допустимые показатели (табл. 2).

Таблица 2 - Сравнительная характеристика качества подземных минерализованных вод в пос. Верхний Баскунчак в Ахтубинском районе Астраханской области

Показатели	Фактическая концентрация, мг/дм ³				Предельно допустимая концентрация по СанПиН 2.1.4.1074-01 в питьевой воде, мг/дм ³
	Скв.3А	Скв.7	Скв.16	Скв.19	
Общее солесодержание	1300	Не превыш.	2020	1860	1000
Жесткость общая	12,2	8,0	26,9	23,7	7,0
Железо общее	0,57	0,7	0,7	2,22	0,3

По табличным данным можно сделать вывод о том, что воды, отобранные из скважин подземного водоисточника, жесткие ($J_{\text{общ}} = 8-12$ мг-экв/л), а в некоторых и очень жесткие ($J_{\text{общ}} > 12$ мг-экв/л), солоноватые и имеют повышенное содержание железа.

На рисунке 1 представлена диаграмма Пурбе, определяющая состояние системы железо-вода в координатах Eh – pH [10].

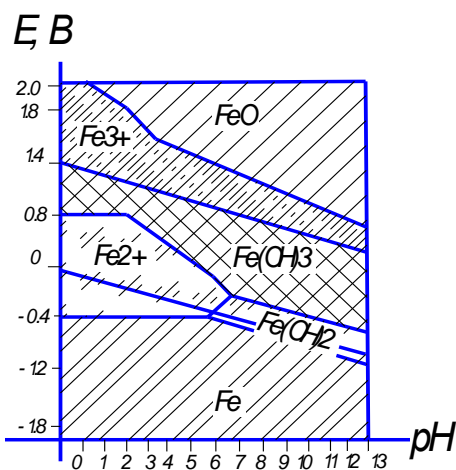


Рис. 1 - Диаграмма Пурбе для системы Fe – H₂O

Окислительно-восстановительный потенциал любой обратимой системы определяется по формуле:

$$Eh = E_0 + (0.0581/n) \lg(O_x/R_{ed}), \text{ мВ при } t = 20^\circ\text{C} \quad (1)$$

где Eh — окислительно-восстановительный потенциал данной среды;

E_0 — окислительно-восстановительный потенциал, измеренный при равных концентрациях окисленной и восстановленной форм;

O_x — концентрация окисленной формы;

R_{ed} — концентрация восстановленной формы;

N — число электронов, принимающих участие в окислительно-восстановительном процессе.

Согласно таблице 1 pH подземных вод соответствует значениям 7,2 – 7,9, редокс - потенциал Eh подземных вод, как правило, соответствует диапазону от -0,2 до +0,5. Из приведенной диаграммы (рис. 1) очевидно, что для железа при pH > 7 устойчив Fe(OH)₃, а Fe³⁺ неустойчив. Значит, при pH > 7 ион Fe³⁺ будет полностью гидролизироваться:



Двухвалентное железо в данной ситуации находится в растворенном состоянии. Вода, вступая в контакт с воздухом, насыщается кислородом, в результате окислительный потенциал системы повышается.

Решение питьевого водоснабжения населения поселка возможно путем предварительной подготовки воды. Основной задачей процесса водоподготовки является снижение общего солесодержания, жесткости и железа в воде. Известно, что избыток железа в воде пагубно влияет на здоровье человека, функционирование его внутренних органов, вызывает развитие различных онкологических заболеваний и аллергических реакций.

Традиционными методами обезжелезивания воды является аэрация с последующим фильтрованием.

Эффективным решением проблемы предлагается установка компактных, полностью автоматизированных станций очистки, включающих основные стадии предочистки и обеззараживания воды (рис. 2).

На первой стадии водоочистки происходит удаление из воды коллоидных частиц гидроксида железа (III), способных выпадать в осадок, на микрофильтрационных мембранных модулях. Далее на второй стадии на блоках

ультрафильтрационных мембран предлагается удаление коллоидного и бактериального органического железа, где также происходит обеззараживание воды (рис.2).

Применение безреагентного метода ультрафильтрационного разделения альтернативно традиционным методам обеззараживания воды. Ультрафильтрационные мембраны с размером пор 0,01–0,05 мкм способны воспрепятствовать проскоку в очищаемую воду патогенных микроорганизмов, бактерий и вирусов, при достаточно низком энергопотреблении установок (от 0,2 до 0,5 кВт·ч/м³ [6,9]) за счет небольшого перепада давления на мембранном элементе (5–15 м) [10].

По данным некоторых работ [6,8] себестоимость питьевой воды, полученной с помощью ультрафильтрации, составляет от 0,03 до 0,25 евро/м³, а общие затраты с учетом замены мембран оцениваются на уровне 0,5–0,6 евро/м³.

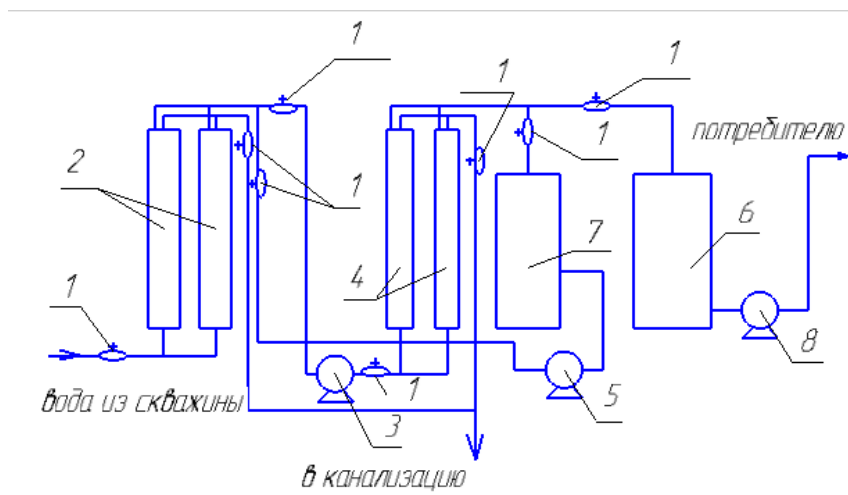


Рис. 2 - Двухступенчатая схема микро – и ультрафильтрационной установок очистки подземных вод:

- 1 – клапан; 2 – микрофильтрационная установка; 3 – насос для подачи воды на ультрафильтрационные фильтры;
4 – ультрафильтрационный мембранный блок; 5 – промывной насос; 6 – бак очищенной воды;
7 – напорный бак для промывки; 8 – насос подачи воды потребителю

Вода из резервного водоисточника под напором, создаваемого скважинными насосами, поступает на предварительную очистку в блоки микрофильтрационных фильтров, затем дополнительными насосами повышения давления на ультрафильтрационную установку. Очищенная вода собирается в емкость очищенной воды, откуда насосами подается потребителю. При необходимости осуществления промывки мембранных установок промывным насосом подают воду для обратной промывки фильтров (1 – 5 раз/час работы системы [6]), с использованием по необходимости дезинфицирующего реагента (NaHClO).

Предложенная схема позволит сократить затраты на реагентное хозяйство, что значительно снизит стоимость 1м³ очищенной воды, тогда как в муниципальных районах области в настоящее время стоимость потребляемой воды населением достигает 30, а в некоторых районах до 50 руб. за 1 м³.

Список литературы / References

1. Боронина, Л.В. Оценка качества поверхностных водоисточников на основе показателей временных рядов динамики [Текст] / П.Н. Садчиков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. №11. – с. 15–21.
2. Боронина, Л.В. Экологическое состояние водных источников аридной зоны юга России [Текст] / А.Э.Усынина // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. – 2015. - №7(7). – с. 153–158.
3. Данные результатов химического анализа подземных вод поселка Верхний Баскунчак Ахтубинского района Астраханской области, предоставленные от ООО «Интегральные водные технологии», 2013 г.
4. Михайлов, Г. М. Гидрогеологическая характеристика состояния подземных вод на территории Астраханской области [Текст] / Г. М. Михайлов // Мелиорация малых водотоков, нерестилищ дельты р. Волги и Волго-Ахтубинской поймы: материалы Международной науч. - практ. конф. – Астрахань: ООО «ЦНТЭП», 2007. – С. 305–314.
5. Отчет о состоянии и использовании природных ресурсов Астраханской области на 01.01.07 г. [Текст]. – Астрахань, 2007. – 86 с.
6. Первов, А. Г. Метод ультрафильтрации в современном водоснабжении проблемы и перспективы [Текст] / А.П. Андрианов // Сантехника. – 2006. - №6. – с. 12–21.
7. ЮНЕСКО. Новый Доклад ООН о состоянии водных ресурсов: Глобальные водные ресурсы испытывают сильное негативное воздействие со стороны быстро растущего спроса и изменения климата [Электронный ресурс] . – URL: <http://en.unesco.org> (дата обращения: 22.04.2017).
8. Laine J.-M., Vial D., Moulart P. / Status after 10 years of operation – overview of UK technology today // Proceedings of the Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production. Paris, France, 3–6 October, 2000 – V. 1, p. 17–27.
9. Mavrov V., Chmiel H., Kluth J., Meier J., Heinrich F., Ames P., Backes K., Usner P. Comparative study of different MF and UF membranes for drinking water production. // Desalination. 1998. V. 117, p. 189–196.
10. Pourbaix M. Thermodynamics and corrosion. Corrosion Science, Vol. 3(1), No. 10, pp. 963–988, 1990.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Boronina, L.V. Ocenka kachestva poverhnostnykh vodoistochnikov na osnove pokazatelej vremennykh rjadov dinamiki [Estimation of the quality of surface water sources on the basis of the time series of dynamics] / P.N. Sadchikov // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. – 2012. №11. – p. 15-21. [in Russian]
2. Boronina, L.V. Ekologicheskoe sostojanie vodnykh istochnikov aridnoj zony juga Rossii [Ecological condition of water sources in the arid zone of the south of Russia] / A.I. Usynina // Vestnik uchebno-metodicheskogo obiedinenija po obrazovaniju v oblasti prirodooobustrojstva i vodopol'zovanija. [Bulletin of the educational and methodological association on education in the field of environmental management and water management] – 2015. - №7(7). – p. 153-158. [in Russian]
3. Dannye rezul'tatov himicheskogo analiza podzemnykh vod poselka Verhnij Baskunchak Ahtubinskogo rajona Astrahanskoy oblasti, predstavlennoye ot OOO «Integral'nye vodnye tekhnologii» [The results of the chemical analysis of groundwater in the village of Verkhny Baskunchak in the Akhtuba district of the Astrakhan region, provided by LLC Integral Water Technologies], 2013. [in Russian]
4. Mihajlov, G. M. Gidrogeologicheskaja harakteristika sostojanija podzemnykh vod na territorii Astrahanskoy oblasti [Mikhailov, G.M. Hydrogeological characteristics of the state of groundwater in the Astrakhan region] / G. M. Mihajlov // Melioracija mal'nykh vodotokov, nerestilishh del'ty r. Volgi i Volgo-Ahtubinskoy pojmy: materialy Mezhdunarodnoj nauch. - prakt. konf. [Melioration of small watercourses, spawning grounds of the Delta River. Volga and the Volga-Akhtuba floodplain: materials of the International Scientific and Practical Conference]. – Astrahan': OOO «CNTJeP», 2007. – P. 305–314. [in Russian]
5. Otchet o sostojanii i ispol'zovanii prirodnykh resursov Astrahanskoy oblasti na 01.01.07 g. [The report on a condition and use of natural resources of the Astrakhan area on 01.01.07.]. – Astrahan', 2007. – 86 p. [in Russian]
6. Pervov, A. G. Metod ul'trafil'tracii v sovremennom vodosnabzhenii problemy i perspektivy [Pervov, A.G. The method of ultrafiltration in modern water supply problems and prospects] / A.P. Andrianov // Santehnika [Sanitary engineering]. – 2006. - № 6. – p. 12-21. [in Russian]
7. JuNESKO. Novyj Doklad OON o sostojanii vodnykh resursov: Global'nye vodnye resursy ispytyvajut sil'noe negativnoe vozdejstvie so storony bystro rastushhego sprosa i izmenenija klimata [UNESCO. The new UN report on the state of water resources: Global water resources are strongly affected by rapidly growing demand and climate change] [Electronic resource]. – URL: <http://en.unesco.org> (accessed: 23.07.2008). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.037>Уханов А.П.¹, Хохлов А.А.², Хохлов А.Л.³, Голубев В.А.⁴, Хохлов Е.А.⁵¹Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ²ORCID: 0000-0002-1927-4533, аспирант, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА³ORCID: 0000-0001-5420-0487, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА⁴Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА⁵ORCID: 0000-0003-2249-2415, инженер, ООО «КФХ Возрождение»**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЫЖИКОВО-МИНЕРАЛЬНОГО ТОПЛИВА****Аннотация**

С целью изучения возможности использования рыжикового масла в качестве биодобавки к минеральному дизельному топливу были проведены лабораторные исследования физических свойств дизельного смешанного топлива на основе рыжикового масла. Исследования включали в себя определение взаимосвязи кинематической вязкости и плотности рыжиково-минерального топлива от температуры. Результаты проведенных лабораторных исследований позволяют отобразить динамику изменения вязкостно-температурных и плотностных свойств минерального дизельного топлива, рыжикового масла и их композиций.

Ключевые слова: дизельное топливо, биотопливо, плотность, вязкость, рыжиковое масло.

Ukhanov A.P.¹, Khokhlov A.A.², Khokhlov A.L.³, Golubev V.A.⁴, Khokhlov E.A.⁵¹PhD in Engineering, Professor, FSBEI of Higher Education – Penza State Agriculture University²ORCID: 0000-0002-1927-4533, Post-graduate student,

FSBEI of Higher Education – Ulyanovsk State Agricultural Academy

³ORCID: 0000-0001-5420-0487,

PhD in Engineering, Associate Professor, FSBEI of Higher Education – Ulyanovsk State Agricultural Academy

⁴PhD in Engineering, Associate Professor, FSBEI of Higher Education – Ulyanovsk State Agricultural Academy⁵ORCID: 0000-0003-2249-2415, Engineer, KFH Vozrozhdenie LTD**PHYSICAL PROPERTIES OF CAMELINA-MINERAL FUEL****Abstract**

A laboratory study of the physical properties of diesel mixed fuel based on Camelina oil was undertaken in order to study the possibility of the use of Camelina oil as a biologically active additive to mineral diesel fuel. The study includes the determination of the relationship between the kinematic viscosity and density of the Camelina and mineral fuel from temperature. The results of the laboratory tests allow to display the dynamics of changes in the viscosity, temperature and density properties of mineral diesel fuel, Camelina oil and their compositions.

Keywords: diesel fuel, biofuel, density, viscosity, Camelina oil.

Одна из центральных задач XXI века – это постепенное изменение сырьевой базы первичных энергоресурсов, которая в настоящее время формируется преимущественно на основе трех не возобновляемых углеводородных источников энергии – это природный газ, нефть и уголь.

В связи с этим, остро встает вопрос замещения минерального дизельного топлива (частичного или полного) возобновляемыми альтернативными энергоносителями, из которых самым перспективным является биотопливо на основе растительного рыжикового масла.

Вместе с тем высокие показатели плотности и вязкости растительных масел значительно превышают одноименные показатели минерального дизельного топлива. Плотность и вязкость дизельного топлива влияет на смесеобразование. Увеличение вязкости топлива приводит к укрупнению капель в факеле, ухудшению испарения топлива. Топливо с большой вязкостью и плотностью догорает в ходе такта расширения, снижая экономичность двигателя и повышая дымность отработанных газов. Причем значения этих показателей остаются высокими при температурах, характерных для топливной системы даже в летний период. Это обстоятельство затрудняет использование растительных масел в натуральном виде в качестве моторного топлива и предполагает применение дополнительных способов его подготовки [1-4].

Наиболее простой и доступный способ применения растительных масел в качестве моторных топлив – это использование биодобавки к минеральному дизельному топливу (дизельное смесевое топливо). Наиболее целесообразным, по технико-экономическим соображениям, является приго-товление дизельного смесового топлива непосредственно в системе питания двигателя в процессе работы тракторного агрегата. Для этого в топливную систему низкого давления дизеля устанавливают смеситель топлива [5-7]. Соотношение компонентов рыжиково-минерального топлива, приготовлен-ного в смесителе, определяется дозирующими устройствами смесителя.

Проблемой, при таком варианте приготовления смесового топлива, является соблюдение заданного состава его компонентов при различных температурах окружающей среды. В конструкцию устройств, применяемых для дозирования компонентов смесового топлива, поступающих в смеситель, должны быть заложены вязкостно-температурные и плотностные свойства растительных масел и минерального дизельного топлива, которые имеют различные характеристики [1,8].

С целью изучения возможности использования рыжикового масла в качестве биодобавки к минеральному ДТ необходимо провести лабораторные исследования по изучению вязкости, плотности и теплотворной способности дизельного смесового топлива в различных пропорциях: минеральное дизельное топливо марки Л–0,2-40 (100%ДТ), рыжиковое масло (100%РыжМ), 10%РыжМ + 90%ДТ; 20%РыжМ + 80%ДТ; 30%РыжМ + 70%ДТ; 40%РыжМ + 60%ДТ; 50%РыжМ + 50%ДТ; 60%РыжМ + 40%ДТ; 70%РыжМ + 30%ДТ; 80%РыжМ + 20%ДТ; 90%РыжМ + 10%ДТ (рис. 1).



Рис. 1 – Композиции дизельного смесового топлива

Исследования вязкости и плотности проводились на криотермостате вискозиметрическом LOIPLT-912 с поддержанием необходимой температуры с точностью до 0,01°C. Криотермостат выполнен в настольном варианте и состоит из модуля терморегулирования LT-900 (1) и модуля охлаждения (2) рис. 2, 3.

Кинематическую вязкость ν (мм²/с) определяли в соответствии с ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94) с помощью стеклянных вискозиметров ВПЖ-2, ВПЖ-4 с диаметром капилляра от 0,34 мм до 2,37 мм.

На отводную трубку 3 (рис. 3а) надевали резиновую трубку, далее зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускали колено 1 в сосуд с композицией ДСТ и засасывали её (с помощью резиновой груши) до верхней метки М₁, следя за тем, что бы в испытуемом топливе не образовались пузырьки воздуха. В момент, когда уровень испытуемого

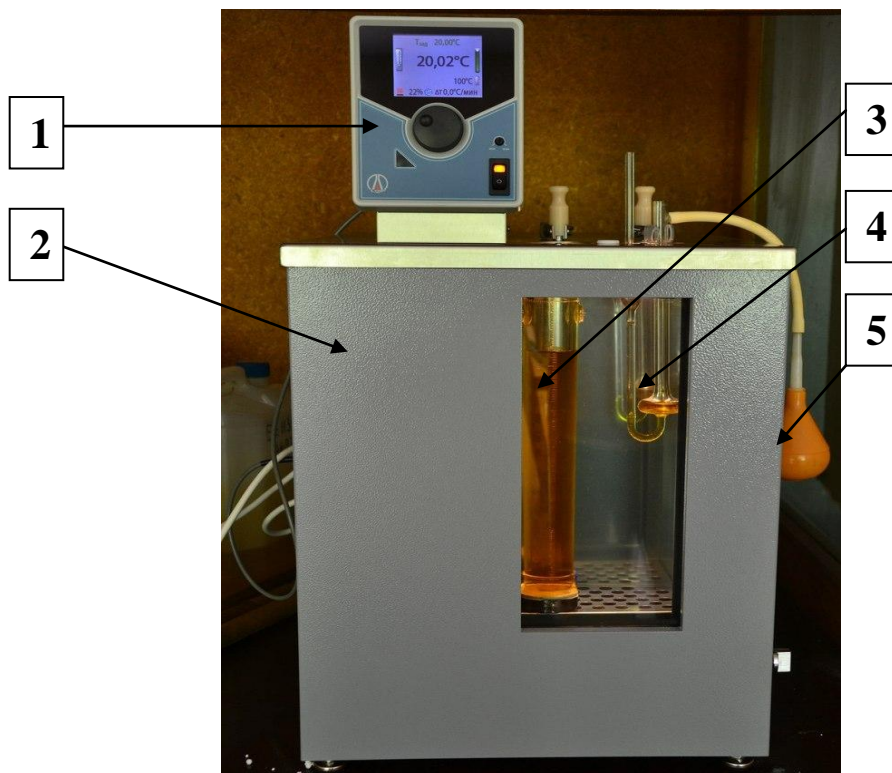


Рис. 2 – Криотермостат вискозиметрический LOIPLT-912:

1 - модуль терморегулирования LT-900; 2 - модуль охлаждения; 3 - мерный стакан с ареометром;
4 – вискозиметр ВПЖ-4; 5 – груша

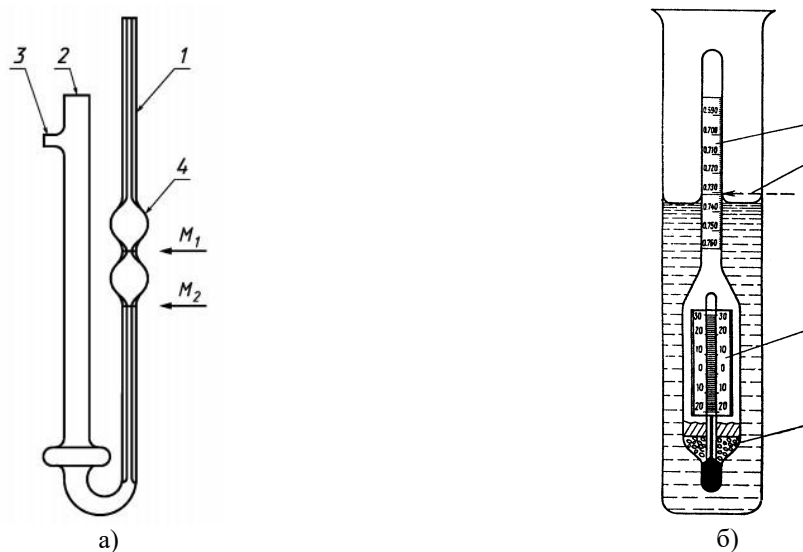


Рис. 3 – Оборудование для измерения вязкости и плотности

а – вискозиметр Пинкевича (ВПЖ-4): 1 – колено 1; 2 – колено 2; 3 - отводная трубка; 4 -расширения; M_1 – верхняя метка; M_2 – нижняя метка; б – ареометр: 1 –шкала плотности; 2 – шкала термометра; 3 – груз

топлива достигал верхней метки M_1 , вискозиметр вынимали из сосуда и быстро переворачивали в нормальное положение. Вискозиметр устанавливали в криотермостат так, чтобы расширение 4 было ниже уровня рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости использовали технический спирт при температуре от минус $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до плюс $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ водно-глицериновую смесь. После выдержки в криотермостате не менее двух минут, засасывали жидкость в колено 1 примерно до $1/3$ высоты расширения 4. Соединяли колено 1 с атмосферой и определяли время перемещения мениска жидкости от верхней метки M_1 до нижней M_2 . Опыт повторяли 3 раза.

Кинематическую вязкость ν ($\text{мм}^2/\text{с}$) рассчитывали по формуле

$$\nu = C \cdot t,$$

где C – калибровочная постоянная вискозиметра $\text{мм}^2/\text{с}^2$; t - среднее арифметическое значение времени истечения, с.

Результаты исследований зависимости вязкости минерального дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесового топлива от температуры представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Вязкость минерального дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесового топлива

Показатель	Вязкость исследуемых топлив, мм ² /с										
Температура	100% ДТ	90%ДТ -10% РыжМ	80%ДТ -20% РыжМ	70%ДТ -30% РыжМ	60%ДТ -40% РыжМ	50% ДТ - 50% РыжМ	40% ДТ - 60% РыжМ	30% ДТ - 70% РыжМ	20% ДТ - 80% РыжМ	10% ДТ - 90% РыжМ	100% РыжМ
-10°C	10,8	14,8	30,8	43,9	61,6	116,3	104,8	111,1	310,3	398,6	598,3
-5°C	8,8	11,7	16,6	23,1	30,9	40,2	54,5	69,0	107,7	144,6	233,7
0°C	7,5	9,7	13,7	18,9	25,3	32,0	48,0	53,4	88,9	106,1	142,3
10°C	4,9	6,5	8,7	12,2	14,8	18,2	23,4	27,5	41,4	62,8	78,6
20°C	3,8	4,9	6,5	8,8	10,7	13,0	16,5	19,1	28,0	40,6	49,8
30°C	3,0	3,8	5,0	6,2	7,5	9,7	12,1	13,9	20,1	28,1	33,7
40°C	2,5	3,1	4,0	4,9	5,8	6,9	9,3	10,5	14,8	20,4	24,0
50°C	2,1	2,6	3,3	4,0	4,7	5,5	6,0	8,2	11,3	15,5	17,9
60°C	1,7	2,2	2,7	3,3	3,8	4,5	4,9	6,7	9,0	12,0	13,8
70°C	1,4	1,9	2,5	2,9	3,5	4,1	4,5	6,1	8,2	10,5	13,2
80°C	1,3	1,7	2,1	2,5	3,2	3,8	4,2	5,6	6,7	8,6	11,2

Анализ приведенных данных показывает, что вязкость рыжиково-минерального топлива при температуре равной 60°C близка к стандартным значениям вязкости летнего дизельного топлива (3,0...6,0 мм²/с) и только у композиций ДСТ с содержанием рыжикового масла 80% и 90% вязкость превышает в 1,5 и 2 раза соответственно.

Плотность исследуемых топлив ρ (кг/м³) определяли в соответствии с ГОСТ 51069-97 с помощью ареометров АНТ-2 ГОСТ 18481-81 разных диапазонов измерения (рис. 36).

Цилиндр с исследуемым топливом помещали в криотермостат, заполненный рабочей жидкостью, затем задавали необходимую температуру на блоке терморегулирования. Когда температура исследуемого топлива в цилиндре сравнивалась с заданной, аккуратно погружали ареометр, не допуская намочения стержня, считывали и записывали показания шкалы ареометра.

Результаты исследований плотности минерального дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесового топлива от температуры представлены в табл. 2

Таблица 2 - Плотность минерального дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесового топлива

Показатель	Плотность исследуемых топлив, кг/м ³										
Температура	100 % ДТ	90% ДТ - 10% РыжМ	80% ДТ - 20% РыжМ	70% ДТ - 30% РыжМ	60% ДТ - 40% РыжМ	50% ДТ - 50% РыжМ	40% ДТ - 60% РыжМ	30% ДТ - 70% РыжМ	20% ДТ - 80% РыжМ	10% ДТ - 90% РыжМ	100 % РыжМ
-10°C	850	858	869	876	884	892	904	912	922	931	940
-5°C	847	855	865	874	882	890	901	909	920	928	938
0°C	844	852	861	870	878	885	896	904	916	925	934
10°C	836	844	854	861	866	873	881	889	896	904	927
20°C	830	838	847	854	860	867	875	883	889	899	923
30°C	822	831	840	847	853	860	868	875	882	892	916
40°C	816	825	834	841	847	852	861	869	876	885	910
50°C	809	818	826	831	839	846	854	861	868	879	903
60°C	802	810	819	827	833	839	850	856	865	876	896
70°C	795	804	814	823	830	835	847	854	862	872	888
80°C	788	797	807	812	823	832	843	850	860	870	881

Анализ приведенных данных показывает, что плотность рыжиково-минерального топлива при нагреве до 60°C незначительно отличается от стандартных значений плотности летнего дизельного топлива (830...850 кг/м³) и только у композиций ДСТ с содержанием рыжикового масла 80% и 90% плотность превышает на 2% и 3% соответственно.

Результаты исследований, представленные в таблицах 1 и 2, позволяют отобразить динамику изменения вязкостно-температурных и плотностных свойств минерального дизельного топлива, рыжикового масла и их композиций.

Использование полученных зависимостей плотности и вязкости различных композиций рыжиково-минерального топлива от температуры позволит при разработке дозирующих устройств смесителей топлива, получать дизельные смесовые топлива с заданным содержанием компонентов.

Список литературы / References

1. Уханов, А.П. Опыт использования сурепно-минерального топлива в дизеле сельскохозяйственного трактора: монография / А.П. Уханов, Д.А. Уханов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – 179 с.
2. Хохлов, А.А. Биотопливо на основе рыжикового масла / А.А. Хохлов, А.А. Глуценко // II-я Всероссийская студенческая научная конференция «В мире научных открытий». – 2013.- С. 290-295.

3. Хохлов, А.А. Использование дизельного смесового топлива и его влияние на экологические показатели дизеля / А.А. Хохлов, А.А. Гузьев, Г.В. Карпенко // Всероссийская студенческая НК (с международным участием) «В мире научных открытий». – Ульяновск: ГСХА им. П.А. Столыпина, 2014. – Т.2, Ч.3. – С. 166-170.
4. Уханов, А.П. Устройства для конструктивной адаптации дизелей автотракторной техники к работе на биоминеральном топливе/А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Хохлова, А.А. Хохлов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. -№2. – С. 34—39.
5. Уханов, А.П. Перспективы использования возобновляемых биологических источников энергии предприятиями АПК России / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Хохлова, А.А. Хохлов, А.А. Гузьев //Материалы VII Международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 238-244.
6. Патент № 2582535 РФ МПК F02M 43/00, F02D 19/06. Двухтопливная система питания дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, А.А. Хохлов, Е.Г. Ротанов, А.Л. Хохлов – 2014152644/06; Заявл. 24.12.2014; Оpubл. 27.04.2016 Бюл. № 12.
7. Патент № 2582700 РФ МПК B01F 5/06. Смеситель-дозатор растительного масла и минерального дизельного топлива / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, А.А. Хохлов, Е.Г. Ротанов, А.Л. Хохлов - 2014152680/05; Заявл. 24.12.2014; Оpubл. 27.04.2016 Бюл. № 12
8. Хохлова, Е.А.Эффективность использования рыжикового масла в качестве компонента смесового дизельного топлива / Е.А.Хохлова, А.А.Хохлов, А.А. Гузьев// Материалы II Международной научно-практической конференции. - 2015. - С. 141-145.

Список литературы на английском языке/ References in English

1. Ukhanov, A. P. Opyit ispolzovaniya surepno-mineralnogo topliva v dizele selskohozyaystvennogo traktora: monografiya [Experience in the use of rapeseed and mineral fuel diesel farm tractor: monograph] // A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov. – Penza: RIO PGSKHA, 2016. –. 179 P. [in Russian]
2. Khokhlov, A. A. Biotoplivo na osnove ryizhikovogo masla [Biofuels based on camelina oil] / A. A. Khokhlov, A. A. Glushchenko // II-ya Vserossiyskaya studencheskaya nauchnaya konferentsiya «V mire nauchnykh otkrytiy» [II Russian student scientific conference "The world of scientific discoveries"]. – 2013.- P. 290-295. [in Russian]
3. Khokhlov, A. A. Ispolzovanie dizelnogo smesevogo topliva i ego vliyanie na ekologicheskie pokazateli dizelya [The Use of diesel fuel blends and its influence on the environmental performance of diesel] / A. A. Khokhlov, A. A. Guzaev, G. V. Karpenko // Vserossiyskaya studencheskaya NK (s mezhdunarodnyim uchastiem) «V mire nauchnykh otkrytiy» [Russian student scientific conference "The world of scientific discoveries"]. – Ulyanovsk: GSKHA im. P.A. Stolypina, 2014. - V. 2, P. 3.- P. 166-170. [in Russian]
4. Ukhanov A. P. Ustroystva dlya konstruktivnoy adaptatsii dizeley avtotraktornoy tehniki k rabote na biomineralnom toplive [The Device for the constructive adaptation of diesel engines of trucks and tractors to work on biomineral fuel]/A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, E.A. Khokhlova and others // Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskohozyaystvennoy akademii. [Proceedings of the Samara state agricultural Academy]. – 2016. - №. 2. – P. 34-39. [in Russian]
5. Ukhanov A. P. Perspektivy ispolzovaniya vozobnovlyemykh biologicheskikh istochnikov energii predpriyatiyami APK Rossii [Prospects of use of renewable sources of energy, agribusiness companies of Russia] / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, E. A. Khokhlova, and others // Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Materials of VII International scientific-practical conference]. - 2016. - P. 238-244. [in Russian]
6. Patent № 2582535 RF MPK F02M 43/00, F02D 19/06. Dvuhtoplivnaya sistema pitaniya dizelya [A dual fuel supply system diesel] / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, A. A. Khokhlov, E. G.Rotnov, A. L. Khokhlov – 2014152644/06; Zayavl. 24.12.2014; Opubl. 27.04.2016 Byul. №. 12. [in Russian]
7. Patent № 2582700 RF MPK B01F 5/06. Smesitel-dozator rastitelnogo masla i mineralnogo dizelnogo topliva [Mixer-dispenser of vegetable oil and mineral diesel fuel] / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, A. A. Khokhlov, E. G. Rotnov, A. L. Hohlov - 2014152680/05; Zayavl. 24.12.2014; Opubl. 27.04.2016 Byul. №. 12. [in Russian]
8. Khokhlova, E. A., Effektivnost ispolzovaniya ryizhikovogo masla v kachestve komponenta smesevogo dizelnogo topliva [The effectiveness of the use of camelina oil as a component of mixed diesel fuel] / E. A. Khokhlova, A. A. Khokhlov, A. A. Guzaev// Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Materials of II International scientific-practical conference]. - 2015. - P. 141-145. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.063>

Фединишина Е.Ю.

ORCID: 0000-0002-5224-7182, Кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ТЕСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**Аннотация**

Приведены результаты изучения влияния технико-эксплуатационных характеристик пароконвекционных аппаратов с разными функциональными и конструктивными особенностями на параметры термической обработки полуфабрикатов из дрожжевого, слоеного дрожжевого, слоеного пресного и песочного теста. Испытания проводились в конвекционном и пароконвекционном режиме (в различных сочетаниях пара и конвекции в рабочей камере) при минимальной и максимальной загрузке рабочей камеры. Установлено, что при рекомендуемых режимах термообработки в пароконвектомате качество готовых изделий не уступает изделиям, выпеченным в пекарском шкафу в традиционных режимах. Для получения изделий стабильно хорошего качества нужна корректировка параметров обработки для каждой модели оборудования. На основе полученных данных были разработаны рекомендации по применению универсального оборудования для выпечки изделий из теста.

Ключевые слова: высокотехнологичное оборудование, технологические параметры, изделия из теста, пароконвекционные печи.

Fedinishina E.Yu.

ORCID: 0000-0002-5224-7182, PhD in Engineering, Associate Professor

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THERMAL PROCESSING OF SEMI-FINISHED PRODUCTS MADE OF DOUGH WITH THE USE OF HIGH-TECH EQUIPMENT**Abstract**

The article contains results of the study of technical and operational characteristics of steam convection units' influence with different functional and design features on the parameters of heat treatment of semi-finished products from yeast, puff yeast, puff fresh and short-pastry. The tests were carried out in convection and vapor convection mode (in various combinations of steam and convection in the working chamber) with minimum and maximum loading of the working chamber. It is established that the quality of the finished products is not inferior to products made in a baking cabinet in traditional modes with the recommended modes of heat treatment in the steamer. To obtain products of consistently good quality, it is necessary to carry out the correction of processing parameters for each equipment model. We developed recommendations for the use of universal equipment for baking dough products on the basis of the data obtained.

Keywords: high-tech equipment, technological parameters, dough products, steam convection ovens.

Одной из основных задач государственной политики в области индустрии питания является совершенствование технологического процесса пищевых производств, в том числе повышение эффективности работы высокотехнологичного оборудования с использованием ресурсосберегающих технологий.

Изделия из теста имеют значительную долю в общем объеме выпускаемой общественным питанием продукции, пользуются спросом у населения. В технологическом процессе их производства одним из определяющих качество этапов является термическая обработка (выпекание). В настоящее время в мучных и кондитерских цехах предприятий питания разных типов наряду со специализированным тепловым оборудованием используются современные универсальные аппараты – пароконвекционные печи, позволяющие обрабатывать продукцию в режиме пара, в конвекционном и пароконвекционном режимах [1, С. 69], [4, С. 4]. Этот тип оборудования обладает широким спектром основных и дополнительных функций, позволяющих повысить качество готовой продукции и снизить материальные затраты при условии рационального его использования [2, С. 20], [4, С. 4].

На рынке представлены различные марки пароконвектоматов отечественных и зарубежных производителей, отличающиеся по конструкции и набору функций. Известно, что технологические параметры изготовления продукции с использованием пароконвекционных печей отличаются от традиционных. При выборе параметров термической обработки сырья нужно учитывать технико-эксплуатационные характеристики модели оборудования [3, С. 24]. Между тем, практика показывает, что эффективное использование дорогостоящих аппаратов затруднено из-за отсутствия рекомендаций по рациональному подбору оборудования и недостатка научно обоснованных сведений о регламентах термической обработки отечественного сырья, в том числе полуфабрикатов из теста. Целесообразность использования пароконвекционных печей в мучных цехах изучена недостаточно.

В связи с изложенным, исследование, направленное на определение режимов термообработки изделий из отечественного сырья и установление зависимости параметров технологического процесса производства мучных кондитерских изделий от функциональных особенностей моделей пароконвекционных печей является актуальным.

Для исследований отобраны три модели пароконвектоматов нескольких производителей, имеющие разный объем рабочей камеры (4, 6, 10 уровней). Выбранные модели имеют отличия по эксплуатационным параметрам и технологическим возможностям. Наряду с простыми моделями с минимальным набором функций исследованы пароконвектоматы с дополнительными функциями: автоматическое регулирование влажности в рабочей камере, регулирование скорости вращения вентилятора, «смачивание».

Для определения оптимальных параметров термообработки выбраны изделия из дрожжевого, слоеного дрожжевого, слоеного пресного и песочного теста, как наиболее востребованные у потребителей. Все виды используемого сырья соответствовали требованиям действующих стандартов и технических условий. Испытания проводились в конвекционном и пароконвекционном режиме (в различных сочетаниях пара и конвекции в рабочей

камере) при минимальной и максимальной загрузке рабочей камеры в 3-5-кратном повторении. В качестве контрольного варианта термообработки выбрано выпекание изделий в пекарском шкафу в режимах, рекомендуемых технологическими нормативами. Продолжительность тепловой обработки и органолептические показатели определялись для каждой исследуемой модели пароконвектомата. Органолептическая оценка выпеченных изделий (форма, состояние поверхности и мякиша, запах, вкус) осуществлялась по 5-бальной шкале путем проведения дегустаций.

Эксперимент проводился по двум направлениям:

- определение оптимальных параметров выпечки для каждой группы изделий;
- установление влияния конструктивных особенностей испытуемых моделей оборудования на технологический процесс и качество готовой продукции.

Режимы, продолжительность тепловой обработки и органолептические показатели опытных образцов определялись для каждой исследуемой модели оборудования при использовании основных и дополнительных функций в различных сочетаниях. На основании полученных данных разработаны общие рекомендации по использованию пароконвекционных печей для выпечки изделий из теста (табл. 1).

Таблица 1 – Оптимальные параметры тепловой обработки изделий из теста в пароконвекционных печах

Наименование изделий	Режим тепловой обработки	Температура, °C	Влажность, %	Продолжительность тепловой обработки, мин.	Рекомендации
Мелкоштучные изделия из дрожжевого теста	Пароконвекционный	160...170	30...40	13...15	функция «смачивание»
Пироги	Пароконвекционный	150...160	20...30	30...50	функция «смачивание»
Мелкоштучные изделия из дрожжевого слоеного теста	Первый вариант: пароконвекционный	160	30	13...15	функция «смачивание»
	Второй вариант: 1. пароконвекционный 2. конвекционный	160 170	30 -	8...10 4...5	
Мелкоштучные изделия из слоеного пресного теста	Конвекционный	190...200	-	15...18	регулирование скорости вращения вентилятора
Печенье песочное	Конвекционный	160	-	14...15	регулирование скорости вращения вентилятора

Анализ данных таблицы 1 показывает, что режимы выпечки в пароконвектомате отличаются от традиционных. Для каждого вида теста необходим подбор режима с учетом функциональных особенностей модели аппарата. Так, пароконвекционный режим наиболее подходит для обработки изделий из дрожжевого и слоеного дрожжевого теста. Полуфабрикаты из других видов теста целесообразно обрабатывать в конвекционном режиме при пониженной скорости вентилятора (дополнительная опция в некоторых моделях оборудования). В условиях конвекции воздуха температуру греющей среды необходимо снижать в среднем на 25...30%. Кроме того, параметры термообработки зависят от вида, массы и размера изделий.

Установлено, что при рекомендуемых режимах выпечки качество готовых изделий не уступает изделиям, выпеченным в пекарском шкафу в традиционных режимах. Опытные образцы из дрожжевого теста имеют правильную форму, поверхность с золотистой корочкой, консистенция пышная, мякиш эластичный. Упек изделий находится в пределах установленных норм. Применение дополнительных возможностей аппарата («смачивание» поверхности изделий, автоматическое регулирование влажности в рабочей камере) позволяет улучшить некоторые показатели (более гладкая поверхность с равномерным колером, равномерная пористость).

Особый интерес представляет выпекание в пароконвектомате изделий из дрожжевого слоеного теста с использованием комбинированного режима тепловой обработки: на первом этапе изделия обрабатываются в пароконвекционном режиме, затем доведение до готовности осуществляется в условиях конвекции без добавления пара в рабочую камеру. Такая комбинация позволяет достичь наилучших результатов: изделия пропекаются более равномерно, имеют гладкую золотистую поверхность, пышную форму, более развитую слоистость (Рис. 1). Упек изделий уменьшается на 4...5% в сравнении с изделиями, выпеченными в пароконвекционном режиме.

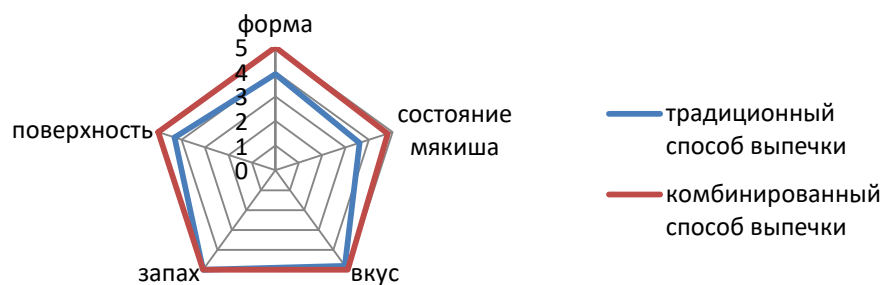


Рис. 1 – Органолептическая оценка качества изделий из слоеного дрожжевого теста

Органолептическая оценка изделий из слоеного пресного и песочного теста так же дала положительные результаты. Слоеные изделия имеют хороший равномерный подъем без вздутий, мякиш без закала, золотистый цвет. Печенье из песочного теста имеет равномерный светло-коричневый цвет, без закала. Использование дополнительной возможности снижения скорости вращения вентилятора позволяет избежать излишнего пересыхания изделий, образования более темных полос по краям изделий.

Выпекание изделий из теста в пароконвекционных печах возможно одновременно на всех уровнях рабочей камеры, что увеличивает производительность аппарата. При максимальной загрузке рабочей камеры продолжительность тепловой обработки возрастает на 5-10%. Конструктивные особенности пароконвекционных печей влияют на равномерность полей температур и скорость движения теплоносителя в рабочей камере, что в свою очередь, оказывает влияние на равномерность колера на поверхности и пропекаемость изделий размещенных на разных уровнях рабочей камеры. Для получения изделий стабильно хорошего качества нужна корректировка параметров обработки для каждой модели оборудования. Так же рекомендуется использовать противни с невысокими бортами, размещать их равномерно по всему объему рабочей камеры (лучше на каждом втором уровне).

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

Проведенные исследования подтвердили возможность применения пароконвекционных печей в кондитерском производстве. Наиболее целесообразна их установка в цехах с небольшой мощностью, где пароконвектомат будет использоваться одновременно для производства гастрономической и кондитерской продукции (выпекание изделий, изготовление начинок, фаршей, отделочных полуфабрикатов).

Режимы термообработки зависят от функциональных особенностей пароконвектомата, степени загрузки рабочей камеры аппарата и требуют корректировки для каждой модели оборудования. При максимальной загрузке аппарата увеличивается продолжительность тепловой обработки изделий.

Наличие у модели пароконвекционной печи дополнительных функций (регулирование скорости вращения вентилятора, автореверс и тактовый режим, «смачивание») обеспечивает стабильно высокое качество готовых изделий.

Список литературы / References

1. Лоза А.В. Применение на кораблях пароконвекционных печей для выпечки хлеба / А.В. Лоза // Судостроение. – 2005. – №3. – С.69-70.
2. Фединишина Е. Пароконвектомат – знай и умеи / Е.Ю. Фединишина, М.Н. Куткина // Питание и общество. – 2007. – №9. – С.20-21.
3. Фединишина Е.Ю. Рекомендации по тепловой обработке различных видов кулинарной продукции в пароконвектомате // Е.Ю. Фединишина, М.Н. Куткина, Е.Л. Иванов и др. // Питание и общество. – 2006. – № 6. – С.24.
4. Фединишина, Е.Ю. Разработка и обоснование технологии приготовления кулинарной продукции в пароконвектомате: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.15: защищена 28.05.2007: утв. 02.11.07/Фединишина Екатерина Юрьевна. - СПб.: ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский торгово-экономический институт», 2007. – 128 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Loza A.B. Primeneniye na korablyakh parokonvektsionnykh pechey dlya vypechki khleba [Application by the ships the combi steamers for baking of bread] / A.B. Loza // Sudostroyeniye [Shipbuilding]. – 2005. – № 3. – P. 69-70. [in Russian]
2. Kutkina M., Fedinishina Ye. Parokonvektomat - znay i umey. [Steamconvector - know and know] / Pitaniye i obshchestvo [Nutrition and Society]. – 2007. – № 9. – P.20-21. [in Russian]
3. Fedinishina E.Yu. Rekomendatsii po teplovoy obrabotke razlichnykh vidov kulinarnoy produktsii v parokonvektomate [] / Ye. Funshinana, M. Kutkina, Ye. Ivanov and others /Pitaniye i obshchestvo [Nutrition and Society]. – 2006. – № 6. – P.24 [in Russian]
4. Fedinishina E.Yu. Razrabotka i obosnovanie prigotovleniya kulinarnoy produktsii v parokonvektomate [Development and justification of preparation of culinary products in a combi steamer]: dis. ... of PhD in Engineering : 05.18.15 : defense of the thesis 28.05.07 : approved 02.11.07/ Fedinishina Ekaterina Yurevna . – SPb: SPbTEI, –2007. – 19 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.039>

Федотов А.А.

Соискатель,

Омский государственный университет путей сообщения

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-08-01560)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**Аннотация**

Представлена модель упругих колебаний, фиксируемых на поверхности трубопровода в результате ударного точечного воздействия. Проведена оценка адекватности полученного аналитического выражения путем сравнения характеристик теоретического сигнала с эмпирическим, полученным на макете трубопровода и на действующем участке трубопровода протяженностью 200 м. Результаты моделирования позволили сделать вывод о высокой достоверности модели в задаче аналитического описания колебаний трубопровода при работе в ближней зоне и необходимости введения дополнительных параметров в полученное выражение для описания упругих колебаний в протяженных действующих трубопроводах.

Ключевые слова: модель колебаний, упругие колебания, трубопровод, ударное воздействие, виброакустический способ контроля, стержневая теория.

Fedotov A.A.

Postgraduate Student,

Omsk State Transport University

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 17-08-01560)

MATHEMATICAL MODEL OF ELASTIC VIBRATION OF A PIPELINE UNDER IMPACT EFFECT**Abstract**

The article presents a model of elastic oscillations fixed on the surface of a pipeline as a result of the point impact effect. We conducted the evaluation of the adequacy of the obtained analytical expression by means of comparing the characteristics of the theoretical signal with the empirical one, obtained on the pipeline layout and on the operating section of the pipeline with a length of 200 m. The results of the simulation allowed us to conclude that the model is highly reliable in the problem of analytical description of pipeline oscillations, in particular, when operating in the near zone and when there is the need to introduce additional parameters into the expression obtained to describe elastic oscillations in long operating pipelines.

Keywords: oscillation model, elastic oscillations, pipeline, impact effect, vibro-acoustic control method, bar theory.

В работах [1,2] обозначена проблема обеспечения безопасности линейной части магистральных трубопроводов, выраженная в отсутствии эффективных решений по автоматическому обнаружению несанкционированной деятельности. Представлен активный виброакустический способ контроля [2], [3], позволяющий предотвращать совершение хищений нефтепродуктов посредством контроля состояния структуры оболочки трубопровода и окружающей его среды.

Контроль состояния трубопровода обеспечивается формированием в его оболочке периодической последовательности импульсов упругих колебаний генератором, установленным на поверхности трубы. При возникновении переизлучения акустической энергии (шурф, установка предмета) фиксируется изменение параметров виброакустического сигнала.

Теоретические сведения о формировании виброакустических сигналов в результате воздействия ударника с трубопроводом не приведены. В данной статье предлагается описать аналитически модель импульса упругих колебаний, возникающего в трубопроводе при точечном воздействии на его оболочке, что позволит в дальнейшем моделировать работу системы контроля.

Представляется возможным описать аналитически поперечные колебания трубопровода, если взять за основу модель колебания стержня [4]. Участок трубопровода можно представить в качестве стержня с различными типами закрепления, в зависимости от вида трубопровода и разновидности опор. Опоры могут представлять из себя упругое основание, либо основание с пружинами для компенсации вибраций и предотвращения разрушения трубы [5]. Наиболее близким условием закрепления для модели следует считать свободное.

Реализуем моделирование виброакустического сигнала, фиксируемого в лабораторных условиях на поверхности трубы без жидкости длиной пять метров с диаметром 0,038 м, покоящейся свободно на двух металлических опорах.

При разложении колебаний стержня по модам функция поперечных колебаниях имеет вид [4]:

$$X = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3 \sin kx + C_4 \cos kx$$

Постоянные C_1, C_2, C_3, C_4 определяются в каждом случае, в зависимости от условий закрепления стержня. Всегда имеется возможность записать такие концевые условия, которым соответствуют определенные величины C_1, C_2, C_3, C_4 , найдя которые, можно определить частоты и формы резонансных колебаний. Результирующие перемещения могут быть представлены суммой нормальных форм при поперечных колебаниях стержня в виде:

$$X = C_1 (\cos kx + \sin kx) + C_2 (\cos kx - \sin kx) + C_3 (\sin kx + \cos kx) + C_4 (\sin kx - \cos kx)$$

Для свободно опертого стержня постоянные C_1 и C_2 равняются нулю и $C_3 = C_4$. Для определения частот колебаний необходимо найти корни частотного уравнения:

$$\sin kx = 0,$$

положительные корни данного уравнения:

$$k_i x = i\pi = C_i,$$

$$\text{где } i = 1, 2, 3, \dots, \infty.$$

Результирующие перемещения при поперечных колебаниях [4]:

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} X_i (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t) \quad (1)$$

Если представить распределение перемещений в виде функции $y_0 = f_1(x)$, а распределение начальных скоростей, придаваемых ударником частицам трубы в виде $y = f_2(x)$, то результирующее перемещение с использованием выражения (1) в момент времени t :

$$y = \frac{2}{L} \sum_{i=1}^{\infty} \sin \frac{i\pi x}{L} \left[\cos \omega_i t \int_0^L f_1(x) \sin \frac{i\pi x}{L} dx + \frac{1}{\omega_i} \sin \omega_i t \int_0^L f_2(x) \sin \frac{i\pi x}{L} dx \right],$$

$$\text{где } A_i = \frac{2}{L} \int_0^L f_1(x) \sin \frac{i\pi x}{L} dx;$$

$$B_i = \frac{2}{L\omega_i} \int_0^L f_2(x) \sin \frac{i\pi x}{L} dx.$$

Для описания динамического поперечного перемещения трубопровода длиной L в точке x_2 вместо функции воздействия используем начальную скорость движения его частиц v , получаемую трубой в точке при воздействии генератором упругих колебаний с координатой x_1 , следовательно, $f_1(x) = 0$, $f_2(x_1) = v$, тогда:

$$A_i = 0;$$

$$B_i = \frac{2v}{L\omega_i} \sin \frac{i\pi x_1}{L}.$$

В выражение для динамического перемещения будет выглядеть следующим образом:

$$Y(t) = \frac{2v}{L} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_i} \sin \frac{i\pi x_1}{L} \sin \frac{i\pi x_2}{L} \sin \omega_i t \quad (2)$$

Для расчета частот колебаний трубы воспользуемся выражением из [6]:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{EJ}{ML}} C_i^4, \quad (3)$$

где C_i - корни частотного уравнения (10) для моды с номером i ; M - погонная масса трубы; L - длина трубы;

E - модуль Юнга материала стенки трубы.

В выражении (3) J - момент инерции стенки трубы, выражающийся через диаметр трубы d и толщину ее стенки h [6]:

$$J = \frac{\pi}{8} d^3 h$$

Формула (2) описывает сформировавшиеся колебания системы без затухания. Трубопроводная система, функционирующая в реальных условиях, является волноводом с рассеянием, переотражением и поглощением колебаний внешней средой. С учетом данных явлений для получения затухающего импульса следует ввести коэффициенты амплитудно-частотного и амплитудно-временного затухания. Упругие колебания в среде затухают, а фиксируемый полезный сигнал на поверхности трубопровода является зашумленным, следовательно, формулу (2) можно модифицировать следующим образом:

$$Y(t) = \frac{2\nu}{L} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_i} \sin \frac{i\pi x_1}{L} \sin \frac{i\pi x_2}{L} \sin \omega_i t \cdot e^{-t(\omega_i z + k)} + S(t) \quad (4)$$

где z – амплитудно-частотный коэффициент затухания; k – амплитудно-временной коэффициент затухания; $S(t)$ – помеха.

В формуле (4) присутствует помеха $S(t)$, являющаяся неотъемлемой частью регистрируемых сигналов и формируемая процессом перекачки транспортируемого продукта, внешней окружающей средой и регистрируемым оборудованием. Значения функции $S(t)$ получены посредством записи виброакустического сигнала оборудованием в моменты отсутствия полезного сигнала.

На рис. 1 изображен результат моделирования по формуле (3) для оценки формы моделированного сигнала в сравнении с усредненным импульсом, полученным эмпирически на основе выборки из 30 импульсов на макете трубопровода с параметрами, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры модели

Длина трубы, м	$L = 5$	Число мод	$n = 70$
Координата источника, м	$x_1 = 2,5$	Начальная скорость частиц трубы, м/с	$\nu = 1,43$
Координата приемника, м	$x_2 = 0,53$	Частота дискретизации сигнала, Гц	22050
Толщина стенки трубы, м	$h = 0,003$	Коэффициенты затухания	$z = 0,0013, k = 1,5$
Модуль Юнга для стали, Па	$E = 200 \cdot 10^9$	Плотность стали, кг/м ³	$\rho_0 = 7800$
Диаметр трубы, м	$d = 0,038$	Длительность импульса, с	3

Визуальная оценка параметров по форме импульса и его спектрограмме (рис. 2) позволяет сделать вывод о положительной корреляции значений амплитуд спектра частот вплоть до 1,5 кГц.

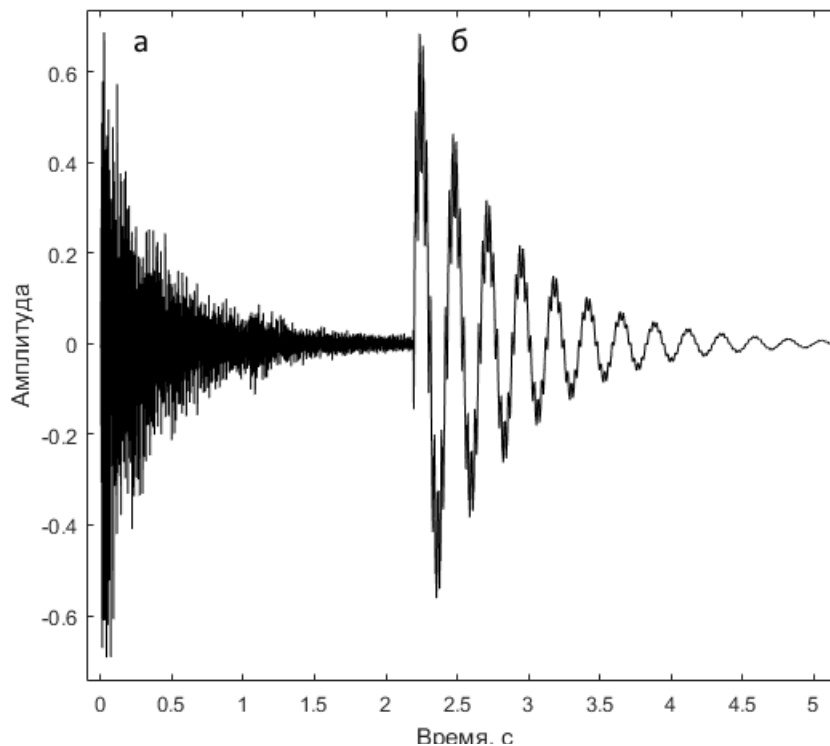


Рис. 1 – Импульсы при ударном воздействии для $L = 5$ м:
а – эмпирический; б – аналитический

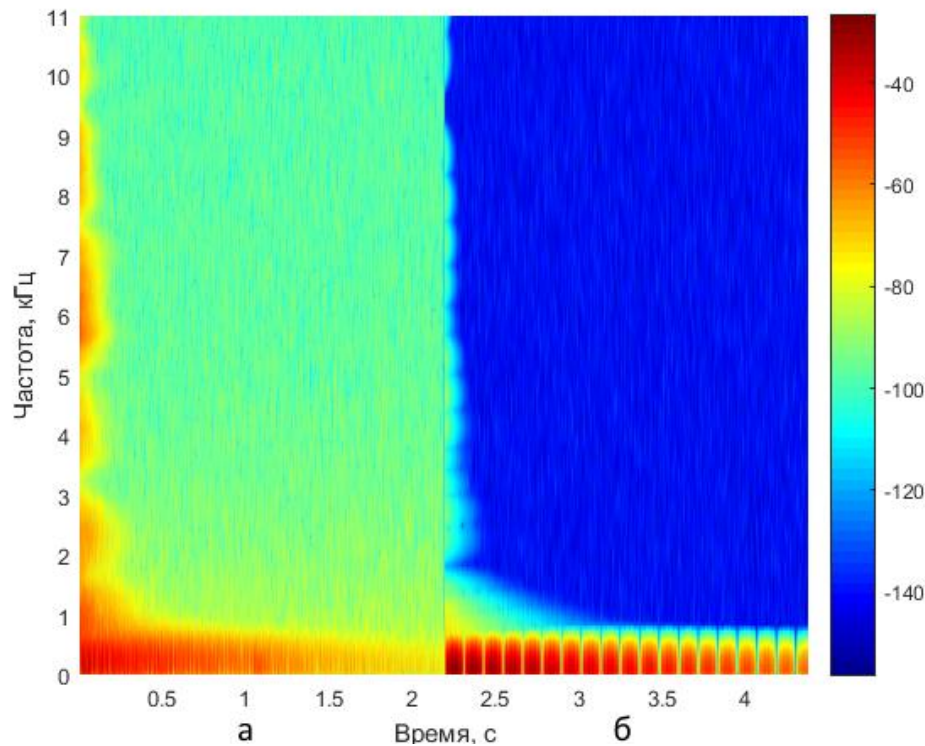


Рис. 2 – Спектрограмма импульсов при ударном воздействии:
а – эмпирический; б – аналитический

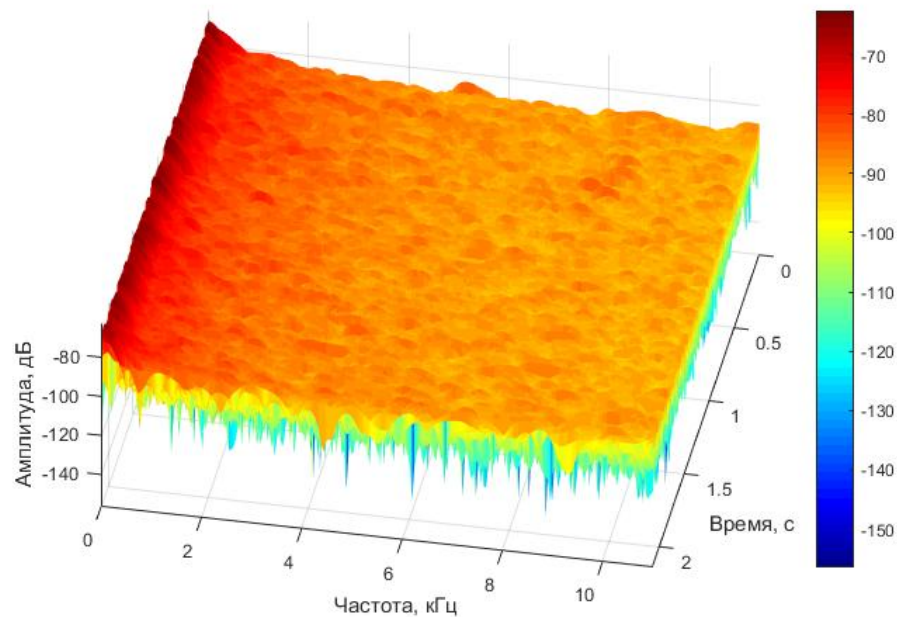
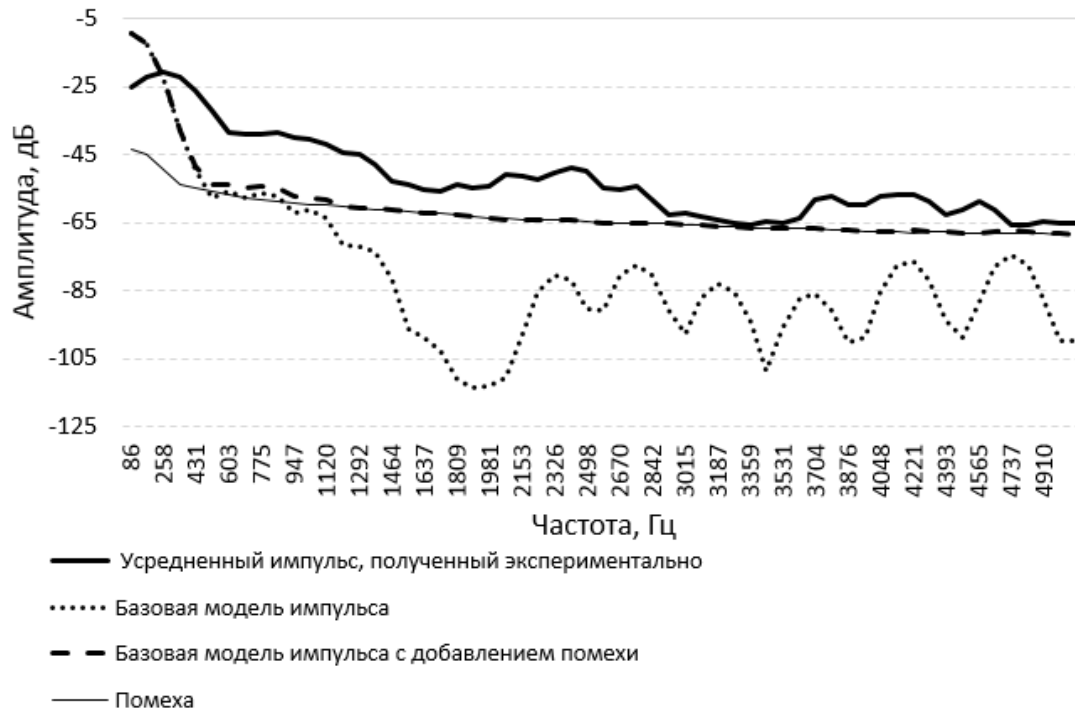


Рис. 3 – Спектрограмма помехи $S(t)$

Произведем оценку спектральной составляющей сигнала модели с использованием ненулевых значений помехи $S(t) \neq 0$ (рис. 3) посредством суммирования ее значений с функцией полезного сигнала $Y(t)$. На рис. 4 изображен амплитудный спектр сигнала по модели, зашумленного сигнала по модели, среднего эмпирического сигнала и помехи. Наличие помехи $S(t)$ в модели повышает корреляцию аналитического амплитудного спектра с эмпирическим ($R^2 = 0,71$ при $S(t) \neq 0$; $R^2 = 0,67$ при $S(t) = 0$).

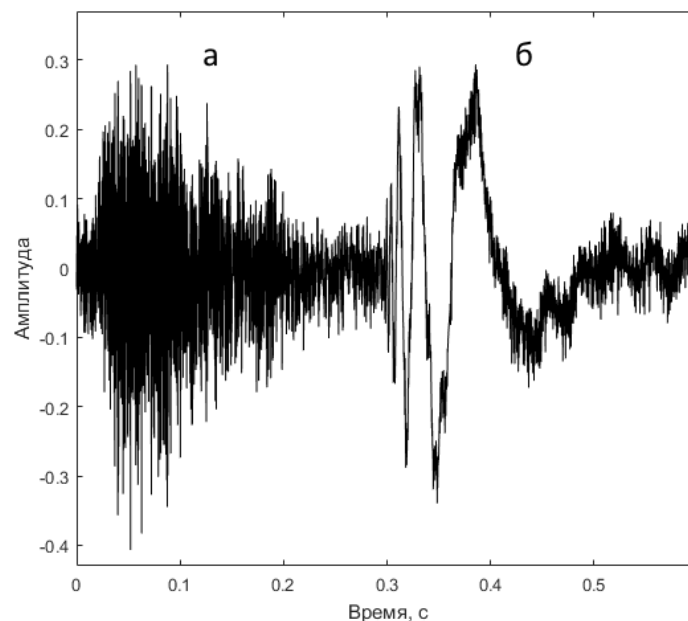
Рис. 4 – Амплитудный спектр сигналов, $L = 5м$

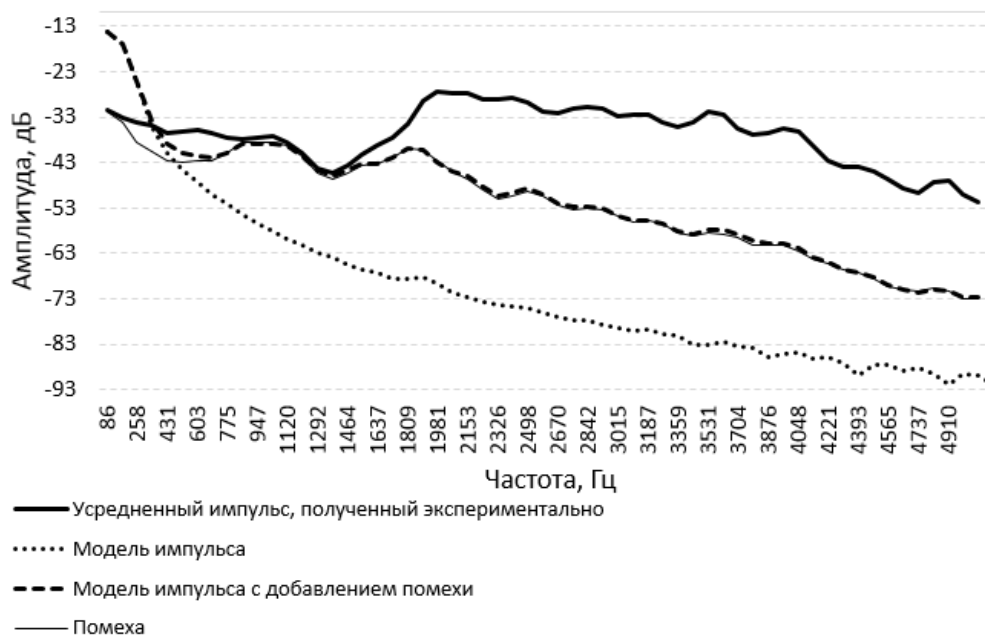
По результатам моделирования следует сделать вывод о значительной сходимости амплитудного спектра, формируемого моделью, с эмпирическим при воспроизведении частот до 1500 Гц ($R^2 = 0,96$). С расширением частотного диапазона до 5 кГц коэффициент детерминации амплитудных спектров снижается ($R^2 = 0,71$).

Проводилось моделирование поперечных колебаний действующего трубопровода протяженностью 200м с диаметром трубы 400мм. Масса перекачиваемой жидкости (вода) была учтена в выражении для частоты:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{EIC_i^4}{\left(\rho\pi dh + \frac{\rho_0\pi d^2}{4}\right)L^4}}$$

. Использование данной модели для аналитического описания вибракустического сигнала в трубопроводе такой протяженности менее эффективно (рис. 5,6), так как корреляция амплитудного спектра с эмпирическим существенно снижается с увеличением дистанции ($R^2 = 0,6$ для границы 1,5 кГц; $R^2 = 0,26$ для границы 5 кГц).

Рис. 5 – Импульсы при ударном воздействии для $L = 200м$:
а) – эмпирический; б) – аналитический

Рисунок 6 – Амплитудный спектр сигналов, $L = 200\text{м}$

Таким образом, получена математическая модель виброакустического сигнала, фиксируемого на оболочке трубопровода при ударном воздействии с заданными параметрами. Результаты моделирования позволяют сделать вывод об адекватности представленной модели при проведении расчета колебаний трубопровода для работы в ближней зоне. Значительные отклонения параметров моделированного сигнала от эмпирического на действующем трубопроводе протяженностью 200 м обусловлены отсутствием параметров в модели, учитывающих жесткость основания, которое составляют опоры, распределенные по всей протяженности трубопровода. Модификация выражения для расчета частот собственных колебаний с введением влияния жесткого основания позволит осуществить смещение основных гармоник сигнала в высокочастотную область, что повысит эффективность модели при описании виброакустического сигнала на протяженных трубопроводах.

Список литературы / References

1. Федотов А. А. Аналитическое исследование проблемы обнаружения и предотвращения хищений продуктов из магистральных продуктопроводов / А. А. Федотов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2013. – № 9. – С. 43-48.
2. Епифанцев, Б. Н. Концепция обеспечения безопасной работы магистральных трубопроводов в условиях внешних воздействий / Б. Н. Епифанцев, А. А. Пятков, А. А. Федотов // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – №12. – С. 42–49.
3. Способ обнаружения изменений параметров среды в окружении заглубленного магистрального продуктопровода : пат. 2463590 Рос. Федерация : МПК G 01 N 29/04 (2006.01) / Б. Н. Епифанцев, А. А. Федотов ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия". – № 2011121858/28; заявл. 30.05.2011; опубл. 10.10.2012; Бюл. № 28.
4. Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уквер У. Колебания в инженерном деле/Пер. с англ. Л. Г. Корнейчука; Под ред. Э. И. Григолюка. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
5. Андронов, И.Н. Ресурс надземных трубопроводов. В 2-х ч. Ч. 1. Факторы, ограничивающие ресурс. Стандартные методы испытаний / И.Н. Андронов, А.С. Кузьбожев, Р.В. Агинеи. – Ухта: УГТУ, 2008. – 272 с.: ил.
6. Миронов М.А., Пятаков П.А., Андреев А.А. Вынужденные изгибные колебания трубы с потоком жидкости // Акустический журнал. – 2010. – Том 56, №5. – С. 684-692.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fedotov A. A. Analiticheskoe issledovanie problemy obnaruzhenija i predotvrashhenija hishhenij produktov iz magistral'nyh produktoprovodov [Analytical research of detection and prevention problem of stealing products from main pipelines] / A. A. Fedotov // Mir nefteproduktov [World of oil products]. Vestnik neftyanyh kompanij. – 2013. – № 9. – S. 43-48. [in Russian]
2. Epifancev, B. N. Konceptcija obespechenija bezopasnoj raboty magistral'nyh truboprovodov v uslovijah vneshnih vozdeystvij [The concept of ensuring the safe operation of main pipelines in conditions of external influences] / B. N. Epifancev, A. A. Pjatkov, A. A. Fedotov // Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Safety of working in industry]. – 2013. – №12. – S. 42–49. [in Russian]
3. Sposob obnaruzhenija izmenenij parametrov sredy v okruzenii zaglublennogo magistral'nogo produktoprovoda [Method for detecting changes in environmental parameters of a buried main pipeline] : pat. 2463590 Ros. Federacija : MPK G 01 N 29/04 (2006.01) / B. N. Epifancev, A. A. Fedotov ; zjavitel' i patentoobladatel' Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Sibirskaja gosudarstvennaja avtomobil'no-dorozhnaja akademija [Siberian State Automobile and Highway University]". – № 2011121858/28; zjavl. 30.05.2011; opubl. 10.10.2012; Bjul. № 28. [in Russian]

4. Timoshenko S. P., Jang D. H., Ukver U. Kolebanija v inzhenernom dele [Oscillations in engineering] / Per. s angl. L. G. Kornejchuka; Pod red. Je. I. Grigoljuka. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 472 s. [in Russian]
5. Andronov, I.N. Resurs nadzemnyh truboprovodov. V 2-h ch. Ch. 1. Faktory, ogranichivajushhie resursy. Standartnye metody ispytaniy [Overground pipelines resource. In two parts. Part 1. Factors limiting the resource. Standard test methods] / I.N. Andronov, A.S. Kuz'bozhev, R.V. Aginej. – Uhta: UGTU, 2008. – 272 s.: il. [in Russian]
6. Mironov M.A., Pjatak P.A., Andreev A.A. Vynuzhennyye izgibnyye kolebanija truby s potokom zhidkosti [Forced bending vibrations of a tube with a liquid flow] // Akusticheskij zhurnal [Acoustic journal]. – 2010. – Tom 56, №5. – S. 684-692. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.033>

Филимонов И.В.

ORCID: 0000-0001-6008-8727, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЗОВАНИИ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И УБОРКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Аннотация

Целью данной статьи является ознакомление с проведёнными исследованиями в сфере информационного обеспечения, связанными с обоснованием оптимального состава механизированных технологических линий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур.

Результатом исследований является разработанное программное обеспечение, которое, используя алгоритм оптимизации по энергетическому критерию, на основе созданной базы данных позволяет повысить эффективность расчётов количественного и марочного состава машино-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий.

Ключевые слова: оптимизация, энергоресурсосбережение, программирование.

Filimonov I.V.

ORCID: 0000-0001-6008-8727, PhD in Engineering, Associate Professor, FSBEI HE NNSAA

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES AIMED AT IMPROVING THE EFFICIENCY OF PLANNING THE USE OF MECHANIZATION MEANS FOR CULTIVATION AND HARVESTING OF CROPS

Abstract

The purpose of this article is to get the reader acquainted with the research carried out in the field of providing information support of the optimal composition of mechanized technological lines for cultivating and harvesting crops.

The result of the research is the developed software, which enables the increase of the efficiency of calculating quantitative and vintage composition of the machine and tractor fleet of agricultural enterprises, using the optimization algorithm based on the energy criterion on the basis of the created database.

Keywords: optimization, energy and resource saving, programming.

Планирование использования средств механизации носит комплексный характер и включает в себя задачу расчёта оптимальной потребности в тракторах различных типов и классов, комбайнов, в сельскохозяйственной навесной и прицепной технике, в технологическом автомобильном транспорте и пр. Несмотря на кажущуюся простоту постановки данной задачи (определить количество сельскохозяйственной техники для максимально эффективного выполнения запланированного объема механизированных работ), поиск её решения без привлечения программных средств ЭВМ может быть весьма затруднителен. Это обусловлено тем, что один сельскохозяйственный агрегат включает в себя несколько типов машин, имеющих множество марок, возможное количество которых со временем все увеличивается. Необходимо также иметь в виду ограничения, накладываемые рядом внешних и внутренних хозяйственных факторов на определенные марки машин, а также то, что объёмы работ и их продолжительность меняются в зависимости от потребностей хозяйства и складывающихся природно-климатических условий. Определённые погодные условия, состояние техники и уровень организации её использования не позволяют тракторам и комбайнам своевременно выехать в поле, тем самым, заставляя привлекать большее количество технических ресурсов, чтобы сохранить необходимый темп работ и избежать значительных потерь урожая.

Учитывая необходимость рационального использования технических ресурсов сельскохозяйственных предприятий, представляет интерес информационный фактор интенсификации оптимизационных расчётов.

Оптимизация состава технологических линий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур является частью комплексной задачи планирования использования производственных ресурсов сельскохозяйственного предприятия [1], [2].

В зависимости от поставленных цели и задач оптимизации, доступных методов решения, заданной степени учёта ограничений и от подходов к формализованному представлению механизированных процессов применяется достаточно широкий спектр математических моделей оптимизации состава технологических линий, задействованных в получении растениеводческой продукции. Математически подобные задачи можно представить как линейными, так и нелинейными моделями, статическими, динамическими или стохастическими моделями.

Необходимо отметить, что при выборе модели оптимизации в первую очередь она должна соответствовать характеру решаемой задачи, и в тоже время быть приемлемой с точки зрения практической реализации.

Наиболее проработаны линейные модели, в которых в качестве критериев оптимизации использован минимум приведенных затрат. Однако использование критерия, основанного на денежной оценке ресурсов, в современных рыночных условиях не даёт объективных результатов.

Разработана линейная математическая модель оптимизации состава технологических линий по минимуму энергетических затрат [1]. Оптимизация проводится для одного конкретного блока работ, в котором сроки выполнения различных видов работ накладываются друг на друга, поэтому в это время требуется одновременно использовать всю рассматриваемую технику. Объем механизированных работ задаётся исходя из потребностей хозяйства в площадях под теми или иными видами культур, фактических засеянных или засаженных площадей, прогнозируемой урожайности. Сроки начала работ и их продолжительность определяются на основе имеющихся методик прогнозирования совместного развития природно-климатических условий и биологических процессов. Энергетические параметры рассчитываются исходя из энергетических эквивалентов топлива, затрат труда и ресурсов, использованных при создании техники.

Наиболее простой и доступный способ реализации линейной модели оптимизации состава технологических линий – с привлечением широко распространенного набора программ Microsoft Office.

Программа для оптимизации состава технологических линий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур выполнена на макроязыке Visual Basic for Application (VBA).

Программа позволяет оптимизировать звенья технологических линий с участием агрегатов, имеющих в своём составе трактор, до 2-х сельскохозяйственных машин, 1 или 0 сцепок.

Ввод исходных параметров для оптимизации и реализация модели осуществляются в процессоре электронных таблиц Microsoft Excel, являющимся частью интегрированного офисного пакета Microsoft Office.

База данных по выполняемым механизированным работам, применяемой технике и её параметрам использования, реализована в программе Microsoft Access, являющегося частью того же пакета.

Путем реализации технологии ActiveX Data Objects (ADO) и OLE DB в форму в Excel загружается исходная информация из таблиц базы данных и осуществляется выбор вида работ и марок сельскохозяйственной техники, участвующих в оптимизации. Выбранные данные попадают обратно в специально подготовленные таблицы Access, где на их основе с помощью SQL-запроса, записанного в коде VBA, формируется выборка из агрегатов, служащая основанием для оптимизации функциями надстройки «Поиск решений» в Excel.

В результате работы программы определяются: общее количество техники по маркам; количество агрегатов; общие энергозатраты; энергозатраты по каждому сельскохозяйственному агрегату.

Полученные параметры технологических линий имеется возможность сохранить в отдельном файле Excel с целью их дальнейшей математической обработки и анализа.

Запускающий файл содержит программу, включающуюся в себя 4 формы: «Управляющая форма», «Выборка данных», «Задание ограничений», форма для ввода числового значения ограничения. В составе файла имеется Модуль, в котором записаны собственные процедуры и функции, а также Лист1 (рис. 1.).

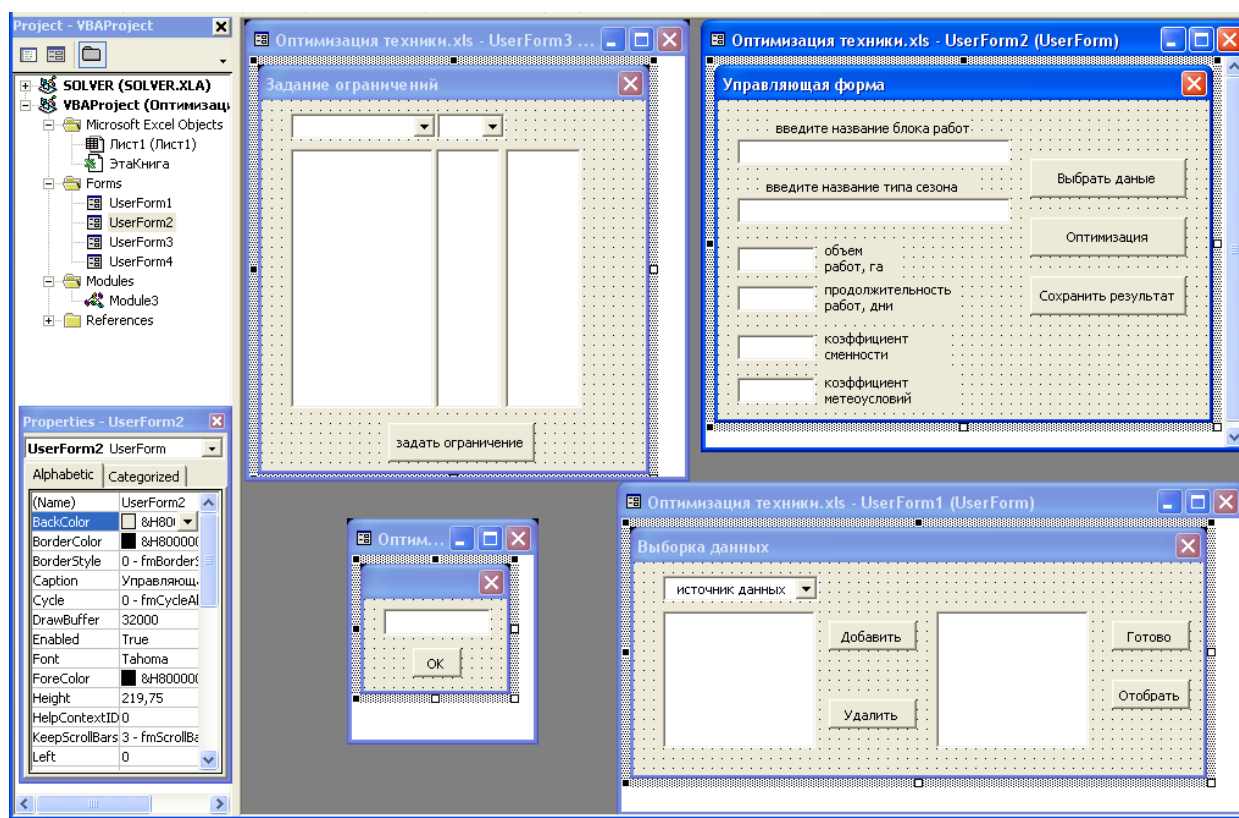


Рис. 1 – Общая структура VBA-проекта

Интерфейс и алгоритмы работы программы интуитивно понятны. В случае некорректного ввода или выбора информации программа информирует об этом пользователя.

База данных включает в себя 6 таблиц с наборами информации по тракторам, сельскохозяйственным машинам (1-я и 2-я машины), видам работ, сцепкам, используемому топливу (рис. 2), связанных с таблицей «агрегаты» отношением «один ко многим». Из этих таблиц осуществляется выборка исходных данных при оптимизации.

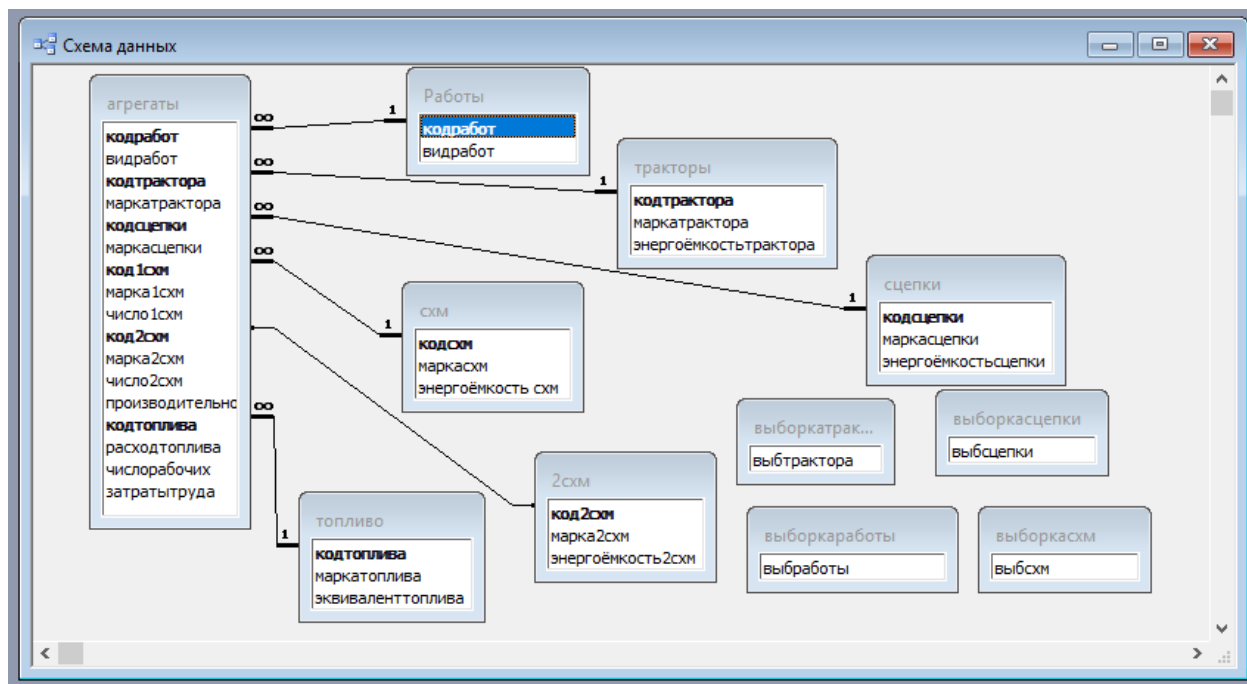


Рис. 2 – Структура базы данных

Дополнительные 4 таблицы, не имеющие никаких связей, служат для хранения отобранной пользователем информации. Из таблицы «агрегаты» на основании данных этих 4-х таблиц осуществляется выбор с помощью SQL-запроса, записанного в VBA-коде, необходимых агрегатов и занесение их на Лист Microsoft Excel в виде, удобном для проведения оптимизации.

Разработанная программа позволяет рассчитать оптимальное количество тракторов, сцепок и сельскохозяйственных машин, необходимое для выполнения заданного объема работ в оптимальные агротехнические сроки, что обеспечивает повышение эффективности использования производственных ресурсов в сельскохозяйственном предприятии.

Дальнейшее совершенствование программы может быть связано с расширением базы данных, а также с применением элементов планирования эксперимента, что дало бы возможность получать математические модели, отражающие влияние различных природно-производственных факторов на оптимальные параметры функционирования технологических линий в растениеводстве и кормопроизводстве.

Список литературы/ References

1. Филимонов И.В. Повышение эффективности функционирования средств механизации кормопроизводства путем адаптации к региональным условиям.: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01.: защищена 28.03.02: утв. 05.07.02 / Филимонов Илья Викторович. - Нижний Новгород, 2002. - 185 с.
2. Горбунов Б.И. Повышение эффективности функционирования кормопроизводства путём разработки методов энергоресурсосбережения и адаптации механизированных процессов к региональным условиям: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01.: защищена 23.10.03: утв. 09.01.04 / Горбунов Борис Иванович - Н. Новгород, 2003. - 430 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Filimonov I.V. Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya sredstv mekhanizatsii kormoproizvodstva putem adaptatsii k regional'nym usloviyam [Increase in efficiency of functioning of means of mechanization of a fodder production by adaptation to regional conditions]: dis. ... of PhD in Engineering : 05.20.01.: defense of the thesis 28.03.02 : approved 05.07.02 /Filimonov Ilya Viktorovich. - N.Novgorod, 2002. - 185 p. [in Russian].
2. Gorbunov B.I. Povishenie effektivnosti funkcionirovaniya kormoproizvodstva putem razrabotki metodov energoresursosberezheniya i adaptatsii mehanizirivannih processov k regionalnim usloviyam [Increase in efficiency of functioning of a fodder production by development of methods of energy resources saving and adaptation of the mechanized processes to regional conditions]: dis. ... of PhD in Engineering: 05.20.01.: defense of the thesis 23.10.03: approved 09.01.04 /Gorbunov Boris Ivanovich. - N.Novgorod, 2003. - 430 p. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.060>Фомина А.В.¹, Юн Д.Х.²^{1,2}Студент, Дальневосточный Федеральный университет, кафедра Гидротехники, теории зданий и сооружений**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РИСКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ
АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА****Аннотация**

В данной статье авторы рассмотрели влияние образования льда на устойчивость сооружения, бесперебойность работы, ремонтпригодность и безопасность при эксплуатации морских промысловых объектов в Арктике. Целью данной работы является анализ влияния риска обледенения надводной части строения на функциональность сооружений арктического шельфа. Важность проблемы обусловлена возросшей интенсивностью развития арктических территорий. Выявлены основные проблемы, которые необходимо учитывать при проектировании сооружений.

Ключевые слова: Шельфовое сооружение, лед, устойчивость, безопасность.

Fomina A.V.¹, Yun D.H.²^{1,2}Student, Far Eastern Federal University, Hydrotechnics Department, Theory of Buildings and Structures**ANALYSIS OF RISK INFLUENCE OF ICING ON THE FUNCTIONALITY OF ARCTIC OFF-SHORE
CONSTRUCTIONS****Abstract**

The following article examines the effect of ice formation on the stability of a structure, the continuity of operation, maintainability and safety in the operation of marine fishing facilities in the Arctic. The purpose of this work is to analyze the impact of the risk of the above-water part icing of the structure on the functionality of the structures of the Arctic shelf. The importance of the problem is related to the increased intensity of Arctic territories development. The paper identifies the main problems that need to be considered when designing structures.

Keywords: Off-shore constructions, icing, stability, safety.

При проектировании сооружений, предназначенных для работы в северных районах, необходимо учитывать суровые природные условия. Помимо воздействия горизонтальных сил движущегося льда, давления ветра и волн, существует риск обледенения элементов надводного строения. В арктических морях часто бывают дожди, снегопады и туманы, которые чрезвычайно затрудняют условия добычи полезных ископаемых на шельфе и повышают опасность судоходства. В статье описано влияние нарастания льда на верхних частях строения на основные функциональные характеристики сооружений для арктических морей.

Наращение льда воздействует на работоспособность шельфовых производственных объектов различными способами, включая продолжительность ремонта и интенсивность отказов оборудования. Это может привести к потерям мощности, экономическому ущербу и угрозам безопасности. В данной статье рассмотрено влияние образования льда на рабочую производительность морских промысловых объектов в Арктике.

Воздействие обледенения на устойчивость шельфовой платформы.

В арктическом шельфе для устранения проблем, связанных с ледообразованием, необходимо принимать во внимание механические или электрические методы борьбы с обледенением надводной части строения. Оборудование и площадки, требующие антиобледенительной защиты, должны располагаться вдали от воздействия морских волн. Это может быть достигнуто за счет использования полностью закрытых или полужакрытых частей с использованием затворов и ограждений, что приводит к увеличению использования энергии и материалов, и, следовательно, данные методы защиты негативно влияют на устойчивость шельфовой платформы. Кроме того, данные методы защиты являются дорогостоящими. Например, для покупки и установки системы противообледенительной защиты и антиобледенительных систем необходимы инвестиции в размере 5% от стоимости турбины мощностью 600 кВт. Срок окупаемости данных систем может составить 5 лет. Кроме того, причиной больших затрат на энергию морских установок в арктическом районе являются выбросы собственных парниковых газов от производства. Использование опасной химической ледовой защиты приводит к ухудшению качества окружающей среды и увеличивает производственные отходы и серьезные последствия для экологии Арктики.

Воздействие обледенения на бесперебойность работы.

Бесперебойность работы – это способность механизма выполнять требуемые функции в течение указанного времени и при определенных условиях. Большинство исследований надежности в арктических морских условиях были сосредоточены на конструктивной надежности. Тем не менее по-прежнему существует значительные неопределенности в отношении расчета нагрузок различных типов льда (например, морское брызговое обледенение, атмосферное обледенение или плавающий морской лед) и влияния их ледовой нагрузки на сооружения [4]. Влияние обледенения на надежность можно классифицировать как:

- Статические ледовые нагрузки;
- Воздействие ветра на обледенелые конструкции и оборудования;
- Динамические нагрузки;
- Разрушения, вызванные падением льда;
- Низкотемпературное напряжение на материал

Ледообразование увеличивает нагрузку на структурные компоненты и массовый дисбаланс сооружения. Антенны и антенные системы могут быть легко перегружены ледообразованием. Лед увеличивает нормальную нагрузку, что приводит к ослаблению крепежных деталей [3].

Воздействие обледенения на качество элементов сооружения.

Качество сооружения является показателем степени его соответствия проектным показателям и принятым стандартам качества. Морские производственные объекты состоят из сложных подсистем и элементов. Эти элементы могут иметь присущую им естественную изменчивость во время срока эксплуатации. Изменение параметров и размеров приводит к снижению надежности, несоответствию элементов сооружения проектным параметрам, вибрациям и т.д. Эти проблемы приводят к увеличению отказов оборудования. Следовательно, необходимо установить эффективный план обследований, чтобы контролировать качество элементов сооружения для предотвращения экономических потерь.

Качество элементов сооружения можно разделить на два типа: качество проектирования и качество изготовления. При проектировании используемые материалы требуют оценки качества и соответствия требуемым эксплуатационным характеристикам, чтобы подтвердить их надежность в течение срока эксплуатации объекта. Следовательно, набор тестов должен быть установлен для проверки качества проектирования. Изучение особенностей окружающей среды, условий эксплуатации и напряжений, которые могут возникать в элементах, может предотвратить сбой из-за износа и отказа от перенапряжения. Из-за отсутствия достаточного опыта и изучения обледенения с учетом всех внешних факторов в Арктическом регионе существуют значительные неопределенности в отношении расчета влияния льда, например, расчетов ледовой нагрузки на различные компоненты. Такая неопределенность может создать некоторые проблемы в процессе проектирования. Обледенение может создать ситуацию, при которой элементы установки неспособны работать в проектных пределах. Например, сварные швы охлаждаются быстрее в холодную погоду, что приводит к повышенной восприимчивости к растрескиванию как во время, так и после сварки. Наличие льда может снизить эксплуатационные характеристики устройств средств связи и датчиков. Например, на датчики температуры может воздействовать лед; исследования показывают, что в условиях обледенения ошибки измерения скорости ветра могут достигать 30%.

Воздействие обледенения на ремонтпригодность.

Ремонтпригодность, одно из основных свойств надёжности; заключается в приспособленности сооружения к проведению различных работ по его техническому обслуживанию и ремонту. Ремонтпригодность измеряется удобством и временем, в которое система может быть восстановлена до эксплуатационного уровня после отказа. Обледенение элементов сооружения может способствовать изменению характеристик ремонтпригодности деталей путем воздействия на них обслуживающего персонала и диспетчеров, элементов и средств технического обслуживания, технической поддержки.

В условиях обледенения обслуживающий персонал должен носить теплую одежду и перчатки, которые могут увеличить размеры тела и уменьшить подвижность и ловкость рук. Скользкие дорожки из-за обледенения также могут уменьшить мобильность персонала. Плохая видимость в рабочей области из-за снега или обледеневших окон затрудняет чтение технических данных и руководств эксплуатации и увеличивает вероятность неправильного ремонта, и, следовательно, это может привести к снижению ремонтпригодности. Обледенение может изменить доступность отказавшего элемента, изменив его внешний вид и форму, что ведет к неудобству обслуживания. Неудобство обслуживания может увеличить время доступа, замены и удаления поврежденных компонентов. Специалисты по техническому обслуживанию оценивают, что может быть экономлено около 30% времени на техническое обслуживание, если доступ к оборудованию был бы незатрудненным или неограниченным. Эффективная связь очень важна в ремонтпригодности. Лед на антеннах может вызвать недостаточное качество связи, затрудняя общение между оператором и обслуживающим персоналом[2].

Обледенение может создать проблемы для безопасного и быстрого прохода персонала к местам хранения оборудования и увеличить срок поставки запасных частей. Нарастание льда может привести к остановкам в вертолетных работах, которые важны для материально-технического обеспечения потребностей людей и материалов [1].

Влияние обледенения на безопасность.

Стабильность и целостность морских производственных объектов могут быть поставлены под угрозу большими скоплениями льда. Обледенение может привести к скользким поверхностям на поручнях, лестницах, палубах и т.д., что представляет собой угрозу безопасности персонала. Обледенения могут покрывать спасательные лодки и палубное оборудование для тушения пожаров, которые являются важными элементами оборудования. Лед на стрелах горелки может привести к взрыву, пожару или накоплению токсичных газов, если лед превышает грузоподъемность стрелы горелки. Обледенение на клапанах препятствует нормальной работе и способности видеть показания положения. Лед, падающий сверху, может причинить повреждения обслуживающему персоналу. Общая вероятность успеха эвакуации и спасения значительно сократится в присутствии льда на производственном объекте [5]. Обычно применяемые механические способы устранения обледенения требуют доступа к ледовому оборудованию, которое может обеспечить угрозу безопасности.

Освоение арктического шельфа связано с реальными рисками и поиском решений проблем для обеспечения безопасной эксплуатации сооружений. Главное место занимает комплексный подход к проблемам безопасности, так как может быть причинён вред не только обслуживающему персоналу, но и окружающей среде, которая особенно чувствительна к внешнему воздействию. Таким образом, необходимо уделять внимание при проектировании и эксплуатации сооружений риску возникновения обледенения на поверхностях верхних строений. Обледенение влияет на устойчивость сооружения, безопасность эксплуатации, соответствие качества элементов проектным характеристикам, а также на ремонтпригодность.

Список литературы / References

1. Алексеев Ю.Н. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 356 с.

2. Арчegov В.Б. Арктические моря России и их будущее//Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России: Сборник материалов научно-практической конференции/ВНИГРИ. СПб, 2013. – С.5-14.
3. Зубакин Г.К. Ледяные образования морей Западной Арктики. – СПб.: Типография ААНИИ, 2006. – 272 с.
4. Мельников Н.Н., Калашник А.И. Шельфовые нефтегазовые разработки западного сектора российской Арктики: геодинамические риски и безопасность//Газовая промышленность. – 2011. – № 661. – С. 52-61.
5. Hamilton J. M., Holub C., Mitchell D. A., Kokkinis T. Ice Management for Support of Arctic Floating Operations // OTC-22105, 2011.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Alekseev Ju.N. Ledotekhnicheskie aspekty osvoenija morskikh mestorozhdenij nefti i gaza. [Ledotechnical aspects of development of offshore oil and gas fields] – Spb.: Gidrometeoizdat, 2001. – 356 p. [in Russian]
2. Archegov V.B. Arkticheskie morja Rossii i ih budushhee[Arctic seas of Russia and their future]/Neftegazogeologicheskij prognoz i perspektivy razvitija neftegazovogo kompleksa Vostoka Rossii [Oil and gas geological forecast and development prospects of the oil and gas complex of the East of Russia]: Sbjrnik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii [The materials of the scientific-practical conference]/VNIGRI. SPb, 2013. – p.5-14. [in Russian]
3. Zubakina G.K. Ledjanye obrazovanija morej Zapadnoj Arktiki [Ice formations of the seas of the Western Arctic.]. – SPb.: Tipografija AANII, 2006. – 272 p. [in Russian]
4. Melnikov N.N., Kalashnik A.I. Shel'fovyje neftegazovye razrabotki zapadnogo sektora rossijskoj Arktiki: geodinamicheskie riski i bezopasnost' [Offshore oil and gas development of the western sector of the Russian Arctic: geodynamic risks and safety]/Gazovaja promyshlennost' [Gas industry]. – 2011. – № 661. – p. 52-61. [in Russian]
5. Hamilton J. M., Holub C., Mitchell D. A., Kokkinis T. Ice Management for Support of Arctic Floating Operations // OTC-22105, 2011.



AGRIS

Международный научно-исследовательский журнал теперь индексируется в Agris.

Статьи, размещаемые в Agris, имеют статус публикаций ВАК.

AGRIS (International System for Agricultural Science and Technology) – это международная библиографическая база данных с более чем 7.5 млн структурированных библиографических данных по сельскому хозяйству и смежным дисциплинам.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICSDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.100>**Волкова В.К.¹, Сулейменова Д.А.², Афоничев Н.Ю.³**¹ORCID: 0000-0002-8166-9114, кандидат технических наук, доцент, ²ORCID: 0000-0003-4909-8806, студент, Омский государственный технический университет, ³ORCID: 0000-0002-7258-6165, старший преподаватель, Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОНОННОГО СПЕКТРА ПО ДАННЫМ ТЕПЛОЕМКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ****Аннотация**

В статье предложен численный метод определения плотности фоновых состояний композиционных материалов по экспериментальным данным теплоемкости композитных материалов на основе политетрафторэтиленовой матрицы (ПТФЭ). Проанализированы максимальные и граничные значения интенсивности фоновых спектров в зависимости от структуры макромолекул «матрица+наполнитель». Результаты, полученные с помощью вычислений, находятся в хорошем согласии с экспериментально определёнными фоновыми спектрами для ряда исследованных композитов с наполнителем из углеродного волокна.

Ключевые слова: фоновый спектр, теплоемкость, полимер, композит, матрица.

Volkova V.K.¹, Suleymenova D.A.², Afonichev N.Yu.³¹ORCID: 0000-0002-8166-9114, PhD in Engineering Science, Associate Professor, ²ORCID: 0000-0003-4909-8806, Student, Omsk State Technical University, ³ORCID: 0000-0002-7258-6165, Senior Lecturer, Omsk State Transport University, Omsk, Russia**THE CREATION OF THE PHONON SPECTRUM ACCORDING TO THE SPECIFIC HEAT FOR COMPOSITE MATERIALS****Abstract**

The paper proposed a numerical method for determining the phonon density of States of the composite materials according to the experimental data of the heat capacity of composite materials based on polytetrafluoroethylene matrix (PTFE). The maximum boundary values were analyzed and phonon spectra intensity depending on the structure of macromolecules "matrix + filler". The results obtained by calculations are in good agreement with the experimentally determined phonon spectra for a number of the studied composites filled with carbon fiber.

Keywords: phonon spectrum, heat capacity, polymer, composite, matrix.

Introduction

Wide application of composite materials on polymer base in the industry (for example, non-lubricated friction units of machines) determines the relevance of the creation of their new version. Composite materials based on PTFE possess the most universal properties, maintaining performance in a wide range of temperatures from cryogenic 10-20 K to 450 K.

The behavior of thermodynamic and other macroscopic parameters of a substance is mainly determined by its macroscopic characteristics. However, the complexity and diversity of this relationship requires further a deeper understanding of macro – and micro characteristics of substances derived from the experiment. One of the main experimentally determined quantities is the heat capacity. The study of this quantity allows obtaining qualitative and quantitative information about any thermodynamic processes occurring in a particular system, and the temperature dependence of the specific heat with high accuracy to determine its thermodynamic functions. Analysis of the temperature dependence of heat capacity of polymers allows obtaining important information about the nature of the polymers and methods of the theoretical description of this class of substances. For the solution of material science tasks of predicting properties of composite materials is the search of methods of restoration of the phonon spectrum on the data on heat capacity.

For information about the phonon spectrum and the spectral phonon density of States, along with purely experimental methods, there are methods that use computational methods based on the different measured spectral characteristics, the data on elastic modulus, sound velocity, etc. Methods of determining the spectral density for the crystal structures are described in current literature [1, P.3]. But there is no common method of solving this problem for polymer composites. Phonon plays essential roles in dynamical behaviors and thermal properties, which are central topics in fundamental issues of materials science. In this article we propose a method based on the numerical solution of the problem for the polymer composite with filler.

Attempts to determine the energy spectrum of the Bose-Einstein condensate system by its heat capacity showed that the exact solution Fredholm integral of the first kind is unstable [2, P.226]. However, the solution is stable in the form of a smooth curve (envelope), which describes the spectral fine structure. A solution to this problem requires the use of special regularization techniques. The use of the operators when selecting Tikhonov regularization [3, P. 128] parameters according to the principle of the generalized discrepancy information provides detection of phonon density of states. This method makes it possible to detect the basic features of the decision function of phonon density of states.

In this contribution we present several findings concerning the modeling of creation phonon spectrum by heat capacity for composite materials.

Material and method

The present inventors made investigations of composites based on a matrix of polytetrafluoroethylene (PTFE) and carbon fiber filler (CF) The study was conducted in two stages. In the first place, inverse problem was solved "heat capacity-phonon spectrum", then took study by direct problem where the computed spectrum data on the heat capacity of the composites were obtained.

For the determination of the phonon spectrum was created by the program implementing Tikhonov regularization method decision Fredholm integral equation of the first kind:

$$\int_a^b K(x, s) \cdot z(s) ds = u(x), \quad c \leq x \leq d.$$

The task of the first type Fredholm equation is represented by the formula:

$$C(T) = 3Nk \int_0^{\infty} g(\omega) \cdot R(x) d\omega,$$

where $R(x) = \frac{x^2 \cdot e^x}{(e^x - 1)^2}$, $x = \frac{h\omega}{kT}$, $g(\omega)$ – the function of phonon density of states, N is the number of atoms,

k, h – the Boltzmann and the Planck constant respectively.

Experimentally determined heat capacity at constant pressure (C_p), to calculate the phonon spectra was excluded from C_p that portion, the anharmonicity of vibrations associated with oscillatory spectrum.

Results and discussion

Results of the first run of calculations for the determination of the phonon spectrum for the composite 6CF are presented in Fig. 1. The temperature range was from 10 to 250 K. Frequency range is from 0.03 to 55 meV (in energy representation).

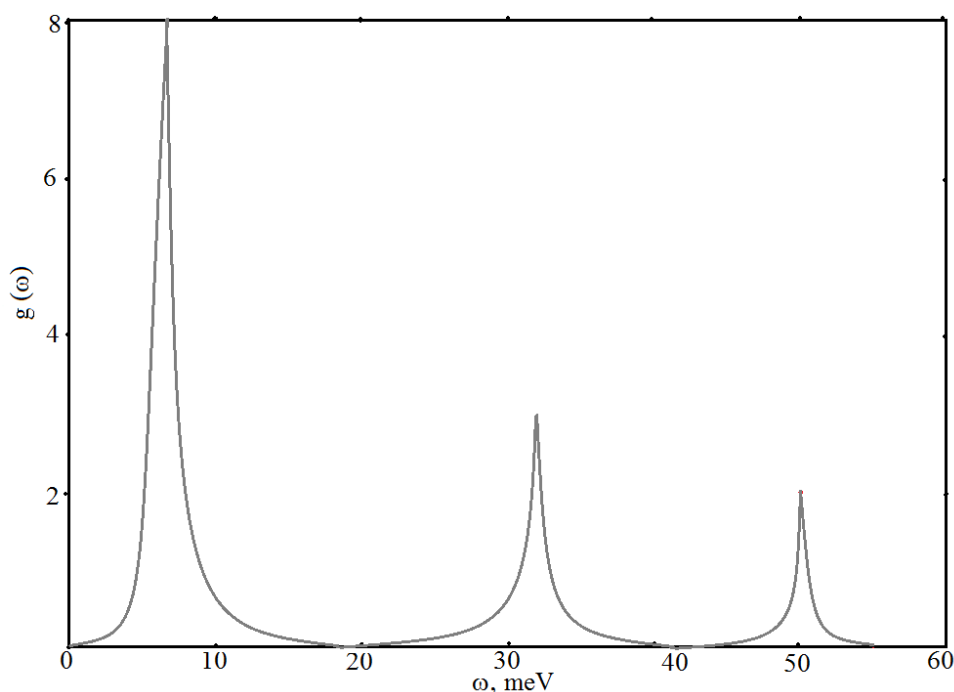


Fig. 1 – Results of the first run of calculations for the composite 6CF

From these results it can be concluded that the phonon spectra have studied materials as general properties and purely individual. The following can be referred to the general. The phonon spectra are expressed in three peaks values separated from each other. The estimated character not calculations makes it possible to recover the fine structure of each peak, however, from a general considerations, it can be assumed that the first peak corresponds to the longitudinal vibrations, second and third can be segmental oscillations transverse oscillations in the macromolecules, and hence respective standing waves. The strongest peak value of density of states depends on the content of carbon fiber in the sample.

Table 1 shows the boundary frequency value ω for each peak and $g(\omega_i)$ corresponding to each maximum density of states. The value of ω_i , standing in parentheses represents the frequency at which the maximum density of states must be. The results of the comparisons are shown in table 1, boundary strongest peak value ω_1 state density depends on the content of carbon fiber in the sample (ω_1 increases with increasing filler concentration) while neither the value g_{\max} , nor its corresponding frequency ω_1 for PTFE composites and practically not changed. Apparently, the low frequency peak is mainly determined by the longitudinal vibrations in the macromolecule matrix. The analysis of the results for the "average" peak $g(\omega)$ indicates that a limit value is practically little depends on the concentration of the filler in the composite, exception is industrial composite KVN-3 which lacks the carbon fiber. The value of $g_{\max}(\omega_2)$ initially increased with increasing filler from $2.4 \text{ (J}\cdot\text{kg)}^{-1}$ for PTFE to $2.9 \text{ (J}\cdot\text{kg)}^{-1}$ for 6CF KVN-3, K-2, K-3, and then slightly reduced (up to $2.1 \text{ (J}\cdot\text{kg)}^{-1}$ for 10CF)

Table 1 – The values of the boundary frequencies ω and the maxima of the state density $g_{\max}(\omega)$ for the compounds studied

	PTFE	6CF	10CF	CF	KVN-3	K-2	K-3
ω_1 , meV	13,7	18,3	20,6	20.6	16,0	16,0	16,0
$g_{\max}(\omega_1)$	8(6,8)	8(6,8)	8,1(6,8)	8,6(9,1)	9(6,8)	8,2(6,8)	8(6,8)
ω_2 , meV	39	41	41	41	34	39	39
$g_{\max}(\omega_2)$	2,4(30)	2,9(32)	2,1(34)	2,2(34)	2,9(25)	2,9(32)	2,8(30)
ω_3 , meV	55	55	55	55	55	55	55
$g_{\max}(\omega_3)$	2,6(50)	2(50)	2,3(48)	1,45(48)	2,5(46)	2,4(50)	1,9(48)

The relationship of heat capacity jump from the filler's volume fraction confirms the effect of the nature of the features of the filler on the polymer structure and molecular mobility. Using these results, the thickness of the boundary layers is calculated for each of the fillers. The small thickness of the boundary layers occur when the energy of the adhesive interaction could be compared with the energy of cohesion, and therefore the effect of solid particle surface does not extend over large distances. The formation of boundary layers of greater thickness can be explained by peculiarity of structure formation of polymer in the presence of the solid surface of the filler. For pure carbon fiber "average" peak substantially little differs from zero, apparently due to the lack of lateral segments in the macromolecule. Therefore, it is believed that the presence of this peak segmental due to vibrations.

Finally, consider the most high frequency peak $g(\omega)$. It may be noted that the largest g_{\max} for PTFE and carbon fiber for the smallest. The ω_3 varies little from sample to sample. Based on the characteristic peak for this frequency range $g(\omega)$ in this region is associated with the lateral oscillations in the macromolecules.

Conclusion

After the creation of phonon spectra for polytetrafluoroethylene matrix (PTFE) and carbon fiber filler (CF) was performed to calculate the heat capacity of the composite materials, a series of PTFE-CF. For this purpose, the spectra of PTFE and CF additive was applied in accordance with a volume content proportion of the filler and the polymer matrix in the composite. The results of the calculations showed good agreement with the experimental data on the heat capacity [4, P.47]. It is possible to offer the method for solving problems of determining the thermal properties of composite materials according to the known values of the heat capacity of the matrix and filler. As a result, substantially reduced time, energy and labor costs for the production of materials with desired properties.

Список литературы / References

1. Togo A. First principles phonon calculations in materials science / A. Togo, I. Tanaka // Scripta Materialia. – 2015. – Vol.108. – P. 1-5.
2. Wunderlich B. The computation of heat capacities of solid high polymers from vibrational spectra / B.Wunderlich, H.Bu. // Thermochimacta. – 1987. – V.119. – N.1.– P. 225-230.
3. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин // М.:Наука, 1986. – 288 с.
4. Волкова В.К. Теплофизические свойства композиционных материалов с полимерной матрицей и твердых растворов / В.К.Волкова // М.:Наука образования, 2011. – 104 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Togo A. First principles phonon calculations in materials science / A. Togo, I. Tanaka // Scripta Materialia. – 2015. – Vol.108. – P. 1-5.
2. Wunderlich B. The computation of heat capacities of solid high polymers from vibrational spectra / B.Wunderlich, H.Bu. // Thermochimacta. – 1987. – V.119. – N.1.– P. 225-230.
3. Tikhonov A.N. Metodi resheniya nekorrektnih zadach [Methods for solving the problems of incorrect] / A.N. Tikhonov, V. Ya. Arsenin // M.: Nauka [Science], 1986. – 288 p. [in Russian]
4. Volkova V.K. Teplofizicheskie svoistva kompozitsionnykh materialov s polimernoj matritsei i tverdykh rastvorov [Heat and Physical Properties of Composition Materials with Polymer Matrix and Solid Solutions] / V. K. Volkova // M.: Nauka Obrazovaniya [Science of education], 2011. – 104 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.009>Кастро Р.А.¹, Анисимова Н.И.², Кононов А.А.³¹ORCID: 0000-0002-1902-5801, Доктор физико-математических наук,²ORCID: 0000-0002-1825-0097, Кандидат физико-математических наук,³ORCID: 0000-0002-1825-0097, Аспирант,

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

ТОКОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЕФЕКТНЫХ СОСТОЯНИЙ В СТЕКЛООБРАЗНОЙ СИСТЕМЕ As-Se**Аннотация**

Представлены результаты исследования изотермической релаксации темнового тока в тонких слоях стеклообразной системы As-Se. Проведен расчет емкости контакта C_c , которая характеризуется степенной дисперсией и выявляет экспоненциальную зависимость от температуры с энергией активации $E_c \sim 1.3$ эВ. Оценка толщины слоя, соответствующего емкости контакта и напряженности электрического поля в приконтактной области дает значения для состава As_2Se_3 $d_k = 1.24 \cdot 10^{-7}$ м и $E_k = 8.06 \cdot 10^3$ В/см соответственно. Вид ВАХ сэндвич-структур Al-XCSP-Al указывает на влияние контактных явлений на поляризационные процессы, и на существование барьера типа Шоттки, высота которого составляет (0.30...0.32) эВ для образцов As_2Se_3 ТИ и (0.35...0.38) эВ для образцов As_2Se_3 ВЧ.

Ключевые слова: токовая спектроскопия, спад темнового тока, емкость контакта, вольтамперная характеристика, дефектные состояния.

Castro R.A.¹, Anisimova N.I.², Kononov A.A.³¹ORCID: 0000-0002-1902-5801, PhD in Physics and Mathematics,²ORCID: 0000-0002-1825-0097, PhD in Physics and Mathematics,³ORCID: 0000-0002-1825-0097, Postgraduate student,

Herzen State Pedagogical University of Russia

CURRENT SPECTROSCOPY OF DEFECT STATES IN As-Se GLASSY SYSTEM**Abstract**

Results of a research of an isothermal relaxation of dark current in thin layers of the vitreous As-Se system are presented. Calculation of contact capacity C_c is carried out. C_c is characterized by power law dispersion and reveals exponential dependence on temperature with activation energy $E_a \sim 1.3$ eV. Assessment of thickness of the layer corresponding to the contact capacity and electric field strength in contact area gives values for As_2Se_3 structure $d_k = 1.24 \cdot 10^{-7}$ m and $E_c = 8.06 \cdot 10^3$ V/cm respectively. The appearance of the I-V characteristics of the Al-CSP-Al sandwich structures indicates the influence of the contact phenomena on the polarization processes and the existence of a Schottky barrier whose height is (0.30 ... 0.32) eV for As_2Se_3 TI samples and (0.35 ... 0.38) eV for As_2Se_3 HF samples.

Keywords: current spectroscopy, dark current decay, contact capacitance, current-voltage characteristic, defective states.

Введение. Поляризационные процессы, связанные с релаксацией заряда в тонких диэлектрических пленках в значительной мере являются тем фактором, который определяет временную и температурную стабильность параметров интегральных схем. Более того, в отдельных случаях поляризационные процессы в диэлектрических пленках лежат на основе работы полупроводниковых приборов (например, в ячейках памяти на базе МДП-структур). Развитие микроэлектроники требует всестороннего и детального исследования механизмов электрической релаксации в тонких диэлектрических слоях полупроводниковых приборов в тесной связи с особенностями конструкции и технологии получения последних. Наряду с обычными, хорошо изученными в физике диэлектриков процессами релаксации заряда, в тонких диэлектрических пленках, реализуются специфические механизмы релаксации. Появление новых механизмов поляризации, обусловлено особенностями самых диэлектрических пленок.

К факторам, отражающим специфику конструкции, способов получения и условий эксплуатации тонких пленок элементов интегральных схем, следует отнести внутренние и внешние факторы. К внутренним факторам можно отнести неупорядоченность структуры, термодинамическую неравновесность, и малые толщины пленок, а к внешним – наличие границ раздела диэлектрик - металл (ДМ) и диэлектрик-полупроводник (ДП), сорбцию диэлектрической пленкой молекул из окружающей среды. Кроме того, нужно отметить и существование переходных слоев в диэлектрической пленке вблизи границ раздела ДМ и ДП.

Тонкие диэлектрические пленки, в силу особенностей их получения, как правило, являются аморфными, и характеризуются наличием квазинепрерывного энергетического распределения электрически активных дефектов [1,2], которое приводит к модификации процесса релаксации заряда в данных структурах. В частности, изменяется вид временной и температурной зависимости токов поляризации и деполяризации, появляется зависимость эффективной энергии активации релаксационного процесса от условий поляризации и деполяризации. Это позволяет не только устанавливать факт существования квазинепрерывного энергетического распределения, но и оценивать параметры этого распределения [2].

Неупорядоченность структуры диэлектрического слоя может приводить к квазинепрерывному распределению электрически активных дефектов не только по энергии, но и по частотному фактору. Это означает, что в общем случае распределение времен релаксации в диэлектрике может быть обусловлено одновременным квазинепрерывным распределением дефектов, как по энергии активации, так и по частотному фактору. Анализ специфики релаксационных процессов в случае двумерного распределения электрически активных дефектов, и сравнение полученных с экспериментальными данными для термических пленок двуокиси кремния, позволил сделать вывод о существовании такого распределения в указанных пленках [3]. Существенной особенностью релаксации заряда случае двумерного квазинепрерывного распределения дефектов, является одновременное изменение эффективной энергии активации и эффективного частотного фактора в процессе нагрева, а именно – увеличение энергии активации

и уменьшение частотного фактора [3]. Однако, одновременное увеличение обоих параметров в процессе нагрева, может быть обусловлено, не двумерным распределением, а изменением механизма переноса заряда при нагреве диэлектрика.

Высокая концентрация электрически активных дефектов в тонких диэлектрических слоях, и термодинамическая неравновесность последних, могут приводить к взаимодействию этих дефектов, которое приводит к изменению электрических характеристик процессов поляризации. Простейшим примером этого являются ассоциация дефектов в комплексы, а также, наоборот, диссоциация последних. Эти процессы изменяют параметры электрической релаксации, увеличивая или уменьшая зарядовую нестабильность диэлектрика в некотором заданном интервале температур.

Халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП) находят применение в многочисленных приспособлениях микро- и оптоэлектроники в связи с их уникальными свойствами: высокоомность и фоточувствительность [4-8]. Поэтому актуальной является необходимость всестороннего изучения поляризационных процессов, протекающих в тонких слоях данного класса материалов условиях неравновесного возбуждения, что и определяло задачи настоящей работы:

- Измерение и анализ долговременного спада темнового тока при разных температурах и напряжениях.
- Изучение емкостных свойств на основе измерений величины барьерной емкости в ходе протекания переходных процессов, и ее температурной зависимости.

Методика эксперимента. Слои ХСП системы As-Se были изготовлены методом термического испарения в вакууме (ТИ – метод) и высокочастотного сораспыления (ВЧ – метод). Исследование элементного состава образцов производилось с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM) Carl Zeiss EVO 40. Толщина исследуемых слоев, определяемая на спектроэллипсометре ЭЛЬФ составляла $d=1.0$ мкм, а площадь перекрытия электродов $s=14.0$ мм². Измерение спада темнового тока поляризации аморфных слоев осуществлялось по схеме, описанной в работе [6]. Относительная погрешность проведенных экспериментов и расчетов не превышала $\pm 3\%$.

Изотермическая релаксация тока. Кривые изотермической релаксации темнового тока для образцов As₂Se₃ и AsSe при комнатной температуре представлены на рис. 1. Для большинства структур, наблюдается степенной спад вида $I=At^{-n}$ (показатель степени n меняется в пределах 0.76...0.98 для As₂Se₃ и 0.15...0.17 для AsSe), аналогично [9-11].

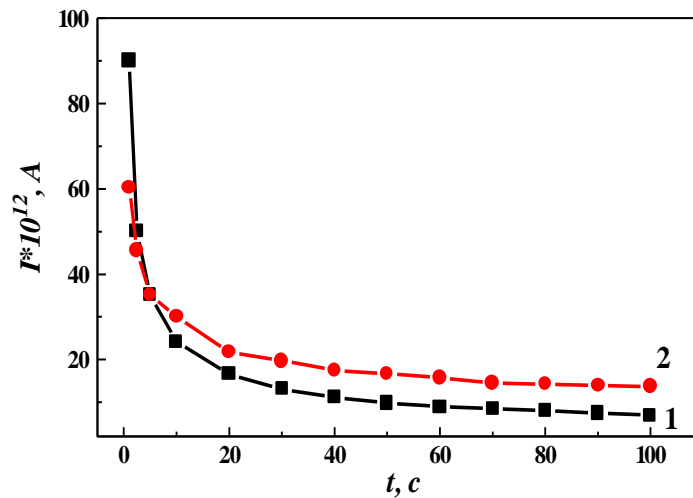


Рис. 1 – Кривые изотермической релаксации темнового тока в образцах системы As-Se при комнатной температуре и напряжении $U = 10^{-1}$ В.
1- As₂Se₃, 2 – AsSe

В образцах системы As₂Se₃ релаксация тока происходит по степенному закону и при повышении температуры до $T=330K$ (рис. 2), в то время как для AsSe, с увеличением температуры спад переходит в экспоненциальный (примерно при $T=300K$) (рис. 3).

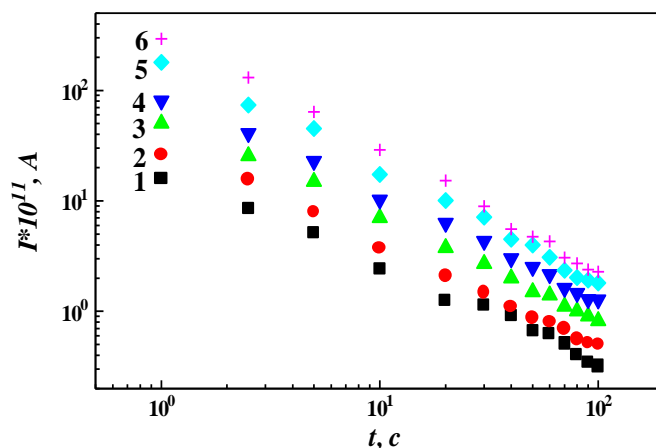


Рис. 2 – Переходной ток зарядки в образцах As_2Se_3 при разных температурах. 1- 294 К, 2- 304 К, 3- 314 К, 4- 324 К, 5- 334 К, 6- 344 К.
 $U = 10^{-1}$ В

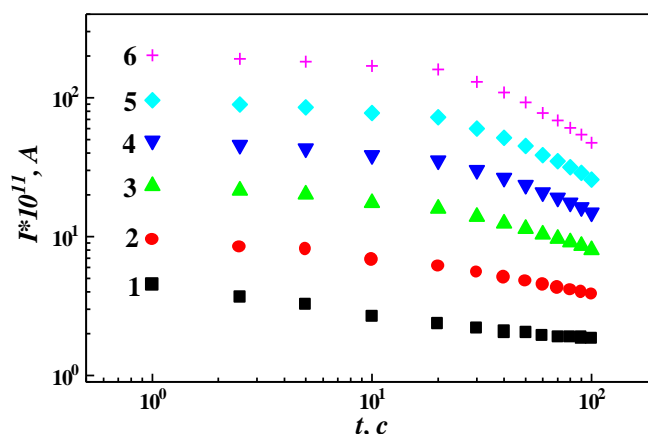


Рис. 3 – Переходной ток зарядки в образцах AsSe при разных температурах. 1- 293 К, 2- 303 К, 3- 313 К, 4- 323 К, 5- 333 К, 6- 343 К.
 $U = 10^{-1}$ В

Характер изотермической релаксации темнового тока остается такой же и при изменении значения и знака приложенного к пленочным образцам импульса напряжения. Для большинства образцов, также характерна релаксация по степенному закону, где n уменьшается с увеличением напряжения в пределах 0.78...0.27 для As_2Se_3 и 0.37...0.27 для AsSe .

По виду рисунков 1-3 можно заключить, что изменение состава стекла вызывает существенные изменения в спектре дефектных локализованных состояний, определяющих процессы переноса и накопления зарядов. Эти изменения, вероятнее всего, связаны с появлением дополнительных дефектов типа связей As-As, контролирующих барьерные свойства и вид функции плотности локализованных состояний в запрещенной зоне. При ситуации, когда сплав обогащен мышьяком, то часть его атомов должна иметь в качестве ближайших соседей, как атомы селена, так и атомы мышьяка, получая при этом их статистическое распределение. В сетке стекла появляются неправильные гомеоплярные связи типа As-As, которые приводят к построению новых единиц в структуре стекла. Таким образом, в составах с избытком мышьяка образуется сложная структура, построенная на статистическом распределении в пространстве симметричных и несимметричных структурных единиц [10].

Исследование емкости контакта. Экспериментальное определение значения емкости контакта для образцов As_2Se_3 и ее зависимости от температуры, можно проводить с использованием кривых релаксации темнового тока $I=I(t)$ по формуле:

$$C_k = \frac{4A(10f)^{n-1}}{U(2n - n^2)} \quad (1)$$

где n – показатель степени.

На рис. 4 представлена частотная зависимость C_k для образцов данного состава при разных температурах. Вид кривых подтверждает полученную степенную зависимость вида $C_k \sim f^s$, с показателем $s = 0.12 - 0.16$. Для семейства кривых, представленного на рис. 11, установлено, что показатель s зависит от температуры, и что его температурная зависимость удовлетворительно аппроксимируется линейной функцией $s = AT$, где $A \approx 10^{-3} \text{K}^{-1}$ (рис. 5). Данное обстоятельство позволяет сделать вывод об экспоненциальном характере функции плотности состояний на протяжении ~ 0.38 эВ выше уровня Ферми (“хвост” зоны проводимости) [12].

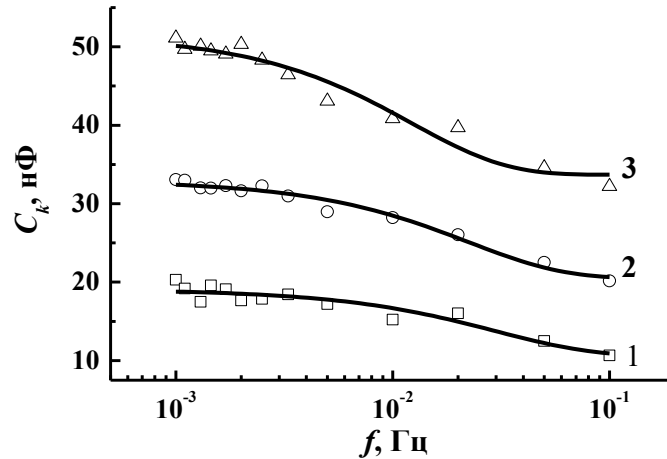


Рис. 4 – Частотная зависимость емкости контакта для As_2Se_3 , при разных температурах спада тока поляризации. Т, К: 1 – 293 К, 2 – 303 К, 3 – 313 К

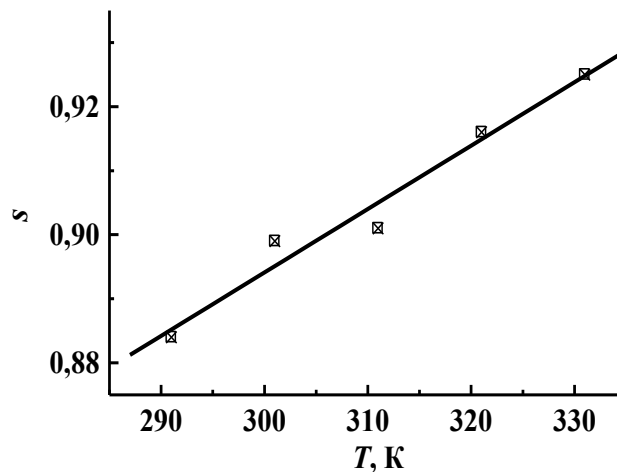


Рис. 5 – Температурная зависимость параметра s для состава As_2Se_3

Частотная зависимость емкости контакта, была определена, и при различных значениях поляризующего напряжения, в пределах поля ($10^2 \dots 10^4$) В/см (рис. 6). Полученные кривые имеют одинаковый вид для положительных и отрицательных значений постоянного напряжения приложенного к нижнему электроду. В данном случае тоже наблюдается степенная зависимость емкости от частоты с показателем степени s в пределах $0.22 \dots 0.92$. Проведенные расчеты значения емкости барьера C_k при разных условиях ее релаксации с частотой, указывают на правильность использованного теоретического соотношения (1). Предложенная методика позволяет, используя экспериментальные кривые релаксации $I(t)$, исследовать температурно-частотные зависимости емкости C_k что имеет очень важное значение при изучении поляризационных процессов в ХСП в области инфранизких частот.

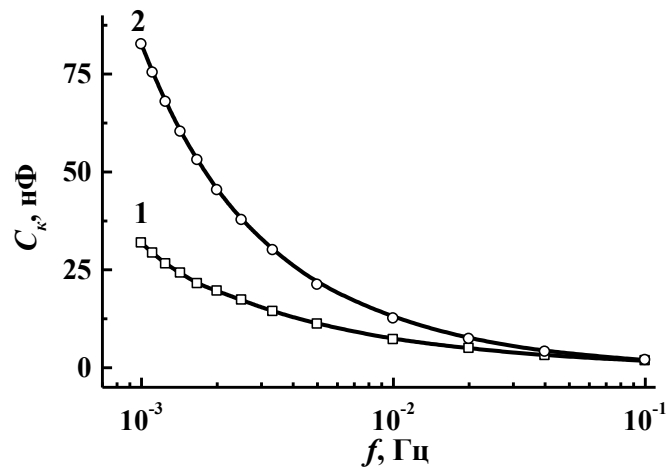


Рис. 6 – Частотная зависимость емкости контакта для As_2Se_3 , при разных полярностях напряжения поляризации, $U=0.01$ В. 1 – (+), 2 – (-)

Проведенный анализ позволяет оценить и теоретически значение таких микропараметров системы $\text{Me-As}_2\text{Se}_3$, как толщина, соответствующая емкости контакта d_k и др. С учетом характера изотермического спада тока для определения d_k получаем следующее выражение:

$$d_k = \frac{nL^3}{(2-n)t\mu_3 U} \quad (2)$$

Из последнего выражения следует уменьшение толщина слоя емкости контакта и увеличение значения электрического поля E_k со временем в приконтактной области. В частности окончание релаксационного процесса ($t=100$ с) характеризуется значениями $d_k = 1.24 \cdot 10^{-7}$ м и $E_k = 8.06 \cdot 10^3$ В/см, что совпадает с результатами, полученными авторами [13] для стеклообразного сульфида мышьяка.

Вольтамперные характеристики (ВАХ). Стационарные ВАХ структур $\text{Al-As}_2\text{Se}_3\text{-Al}$ ТИ и ВЧ, рассчитанных из кривых спада тока $I(t)$, представлены на рис. 7 и 8, значение напряженности поля менялось в пределах $E = (10^2 - 10^4)$ В/см.

ВАХ структур $\text{Al-As}_2\text{Se}_3\text{-Al}$ (ТИ) симметричны, в области полей $10^2 \dots 10^3$ В/см наблюдаются сверхлинейные участки с показателем степени $m=1.02-1.23$, сменяются с повышением напряжения участками с меньшим показателем степени $m \leq 1$. До значения поля $E=10^3$ В/см при положительной полярности на нижнем электроде, токи больше чем при отрицательной, в то время как для значений полей $E=10^3 \dots 10^4$ В/см ситуация меняется на противоположность.

Структуры $\text{Al-As}_2\text{Se}_3\text{-Al}$ (ВЧ) имеют ВАХ сходны между собой, в пропускном направлении характеристики были сублинейными начиная со значений полей порядка $6 \cdot 10^2$ В/см, в запиорном направлении наблюдалась сверхлинейная зависимость с показателем степени $m=1.09-1.31$ (рис. 7).

Полученные результаты свидетельствуют о сильном влиянии контактных явлений на процессы электропереноса в пленках ХСП системы As-Se с Al -электродами. Использование в качестве электродов алюминиевые, которые вследствие окисления могут легко образовать нижний и верхний контакты с разными параметрами [14], (из-за существования поверхностных состояний), приводит к асимметрии ВАХ наблюдаемой для большинства исследуемых образцов. С другой стороны, влияние контактов на перенос заряда наблюдается, если сопротивление контактной области и объема сравнимы. В этом случае, значительная часть приложенного напряжения будет падать в приконтактных областях. Если считать, что на контакте Me-ХСП образуется барьер типа Шоттки, то в зависимости от соотношения сопротивлений контактных областей и объема пленки, будет доминировать прямая или обратная ветвь ВАХ диода Шоттки (суперлинейная или сублинейная ВАХ), либо ВАХ отражающая свойства объема ХСП. Исследуемые вольтамперные характеристики показывают во всех исследуемых системах преобладание нелинейных участков в области полей $E=10^2-10^4$ В/см.

Выше приведенные соображения качественно объясняют наблюдаемые особенности ВАХ для пленок системы As-Se с Al -электродами. Для количественной оценки влияния разных факторов на барьерные свойства ХСП данной системы, можно использовать тех же ВАХ построенные в координатах Шоттки ($\lg J-E^{1/2}$) (рис. 8) которые на линейных участках (при малых значениях E) подчиняются соотношению

$$J = AT^2 \exp \left[\frac{\beta_s E^{1/2} - \Phi}{kT} \right]$$

где A -постоянная Ричардсона, Φ -барьер Шоттки, $\beta_s = (e^3/4\pi\epsilon_0\epsilon_r)^{1/2}$ -коэффициент Шоттки. Рассчитанные по наклону этих прямых участков, значения высоты барьера для структур ТИ и ВЧ составляют $(0.30 \dots 0.32)$ эВ и $(0.35 \dots 0.38)$ эВ соответственно, что подтверждает правильность ранее сделанного качественного анализа.

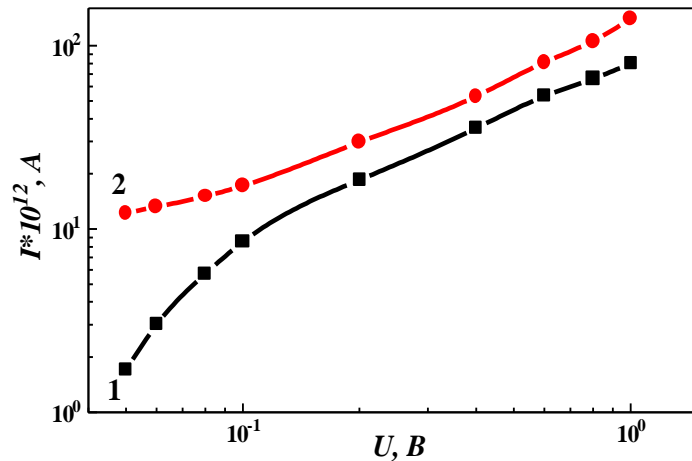


Рис. 7 – ВАХ образцов As_2Se_3 (ВЧ) для стационарного значения тока поляризации при $t = 100$ с и комнатной температуре: 1 – (+), 2 – (-)

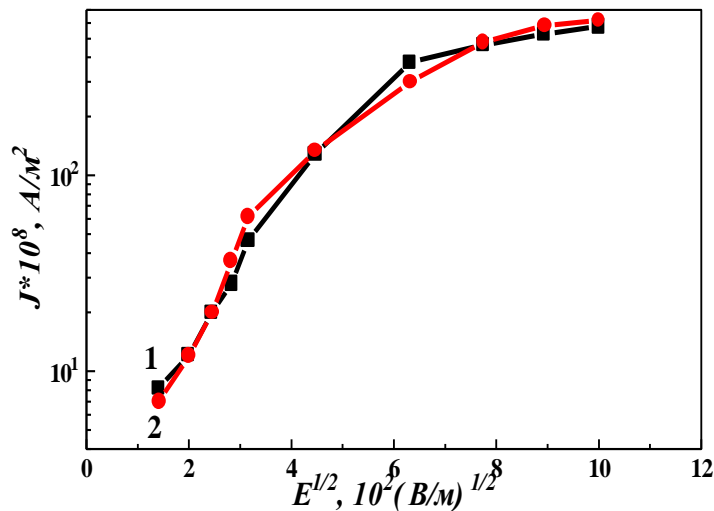


Рис. 8 – ВАХ образцов As_2Se_3 в координатах Шоттки для стационарного значения тока поляризации при $t = 100$ с и комнатной температуре:
1 – (+), 2 – (-)

Закключение. На основании экспериментальных кривых изотермической релаксации темнового тока в тонких слоях стеклообразной системы As-Se, проведен расчет емкости контакта на границе металл-ХСП. Емкость контакта характеризуется степенной частотной зависимостью и выявляет экспоненциальную зависимость от температуры с энергией активации $E_c \sim 1.3$ эВ. Оценка толщины слоя, соответствующего емкости контакта и напряженности электрического поля в приконтактной области дает значения для состава As_2Se_3 $d_k = 1.24 \cdot 10^{-7}$ м и $E_k = 8.06 \cdot 10^3$ В/см соответственно. Вид ВАХ сэндвич-структур Al-ХСП–Al указывает на влияние контактных явлений на поляризационные процессы, и на существование барьера типа Шоттки, высота которого составляет (0.30...0.32) эВ для образцов As_2Se_3 ТИ и (0.35...0.38) эВ для образцов As_2Se_3 ВЧ.

Список литературы / References

1. Губанов А. Н. Квантово—электронная теория аморфных полупроводников / А. Н. Губанов -- М.-Л. : Изд. АН СССР, 1963. -- 250 с.
2. Гороховатский Ю. А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков / Ю. А. Гороховатский, Г. А. Бордовский – М. : Наука, 1991. -- 248 с.
3. Гороховатский Ю. А. Основы термодеполяризационного анализа / Ю. А. Гороховатский -- М.: Наука, 1981. – 173 с.

4. Eisenberg N. P. New micro-optical devices for the IR based on three-component amorphous chalcogenide photoresists / N. P. Eisenberg, M. Manevich, A. Arsh and others // Journ. Non-Crystal. Sol. -- 2006. -- V. 352. -- № 9-20. -- P. 1632-1636.
 5. Harbold J. M. Highly nonlinear As-S-Se glasses for all-optical switching / J. M. Harbold, F. O. Ilday, F. W. Wise and others // Opt. Letters. -- 2002. -- №27. -- P. 119-121.
 6. Indutnyi I. Z. Holographic optical elements fabrication using chalcogenide layers / I. Z. Indutnyi, A. V. Stronski, S. A. Kostioukevitch and others // Optical Engineering. -- 1995. -- V. 34. -- № 4. -- P. 1030-1039.
 7. Andrieu A. M. Chalcogenide glasses in optoelectronics / A. M. Andrieu // Physics and Technology of Semiconductor. -- 1998. -- V. 32. -- № 8. -- P. 970-975.
 8. Kurmar S. Amorphous chalcogenide thin-film Schottky barrier (Bi/As₂Se₃: Bi) solar cell / S. Kurmar, B. R. Mehta, S. C. Kashyap // Applied physics letters. -- 1988. -- V. 52. -- № 1. -- P. 24-26.
 9. Avanesyan V. T. Relaxation dark current in As-Se glasses / V. T. Avanesyan, G. A. Bordovskii, R. A. Castro // Glass Physics and Chemistry. -- 2000. -- V. 26. -- № 3. -- P. 257-259.
 10. Бордовский Г. А. Изучение распределения релаксаторов в халькогенидных стеклообразных полупроводниках методом изотермической релаксации тока / Г. А. Бордовский, Р. А. Кастро // Известия ГРПУ им. А.И. Герцена. -- 2002. -- № 2 (4). -- С. 7-16.
 11. Anisimova N. I. Features of the charge transfer in structures based on thin layers of bismuth-modified arsenic triselenide / N. I. Anisimova, V. A. Bordovsky, G. I. Grabko and others // Semiconductors. --- 2010. -- V. 44. -- № 8. --P. 1004-1007.
 12. Бордовский Г.А. Емкостная спектроскопия локализованных состояний в халькогенидных стеклообразных полупроводниках / Г. А. Бордовский, М. Р. Каничев // ФТП. -- 1990. -- Т. 24. -- № 3. -- С. 527-532.
 13. Андриеш А. М. Релаксационные темновые токи в стеклообразном сульфиде мышьяка / А. М. Андриеш, М. Р. Черный // Кристаллические и стеклообразные полупроводники: Сб. научн. тр., Штиинца. -- Кишинев. --1977. -- С. 127-133.
 14. Бордовский Г.А. Особенности спектра локализованных состояний в системе As-Se и его влияние на накопление и транспорт носителей заряда / Г. А. Бордовский, А. Ю. Нагайцев // Электрическая релаксация в высокоомных материалах: Тез. докл. Межд. конф., Санкт-Петербург. -- 1994. -- С. 9-10.
- Список литературы на английском языке / References in English**
1. Gubanov A. N. Kvantovo—jelektronnaja teorija amorfnyh poluprovodnikov [Quantum-electronic theory of amorphous semiconductors] / A. N. Gubanov -- M.-L. : Izd. AN SSSR, 1963. -- P. 250. [in Russian]
 2. Gorohovatskij Ju. A. Termoaktivacionnaja tokovaja spektroskopija vysokoomnyh poluprovodnikov i dijelektrikov [Thermal activation current spectroscopy of high-resistance semiconductors and dielectrics] / Ju. A. Gorohovatskij, G. A. Bordovskij -- M. : Nauka, 1991. -- P. 248. [in Russian]
 3. Gorohovatskij Ju. A. Osnovy termodepoljarizacionnogo analiza [Bases of thermodepolarization analysis] / Ju. A. Gorohovatskij -- M.: Nauka, 1981. -- P. 173. [in Russian]
 4. Eisenberg N. P. New micro-optical devices for the IR based on three-component amorphous chalcogenide photoresists / N. P. Eisenberg, M. Manevich, A. Arsh and others // Journ. Non-Crystal. Sol. -- 2006. -- V. 352. -- № 9-20. -- P. 1632-1636.
 5. Harbold J. M. Highly nonlinear As-S-Se glasses for all-optical switching / J. M. Harbold, F. O. Ilday, F. W. Wise and others // Opt. Letters. -- 2002. -- №27. -- P. 119-121.
 6. Indutnyi I. Z. Holographic optical elements fabrication using chalcogenide layers / I. Z. Indutnyi, A. V. Stronski, S. A. Kostioukevitch and others // Optical Engineering. -- 1995. -- V. 34. -- № 4. -- P. 1030-1039.
 7. Andrieu A. M. Chalcogenide glasses in optoelectronics / A. M. Andrieu // Physics and Technology of Semiconductor. -- 1998. -- V. 32. -- № 8. -- P. 970-975.
 8. Kurmar S. Amorphous chalcogenide thin-film Schottky barrier (Bi/As₂Se₃: Bi) solar cell / S. Kurmar, B. R. Mehta, S. C. Kashyap // Applied physics letters. -- 1988. -- V. 52. -- № 1. -- P. 24-26.
 9. Avanesyan V. T. Relaxation dark current in As-Se glasses / V. T. Avanesyan, G. A. Bordovskii, R. A. Castro // Glass Physics and Chemistry. -- 2000. -- V. 26. -- № 3. -- P. 257-259.
 10. Bordovskij G. A. Izuchenie raspredelenija relaksatorov v hal'kogenidnyh stekloobraznyh poluprovodnikah metodom izotermicheskoj relaksacii toka [Study of relaxators distribution in chalcogenide glassy semiconductors by isothermal relaxation current method] / G. A. Bordovskij, R. A. Kastro // Izvestija GRPU im. A.I. Gercena. -- 2002. -- № 2 (4). -- P. 7-16. [in Russian]
 11. Anisimova N. I. Features of the charge transfer in structures based on thin layers of bismuth-modified arsenic triselenide / N. I. Anisimova, V. A. Bordovsky, G. I. Grabko and others // Semiconductors. --- 2010. -- V. 44. -- № 8. --P. 1004-1007.
 12. Bordovskij G. A. Emkostnaja spektroskopija lokalizovannyh sostojanij v hal'kogenidnyh stekloobraznyh poluprovodnikah [Capacitance spectroscopy of the localized states in chalcogenide glassy semiconductors] / G. A. Bordovskij, R. M. Kanichev // FTP. -- 1990. -- Т. 24. № 3. -- P. 527-532. [in Russian]
 13. Andriesh A. M. Relaksacionnye temnovye toki v stekloobraznom sul'fide mysh'jaka [Relaxation dark currents in glassy arsenic sulfide] / A. M. Andriesh, M. R. Chernyj // Kristallicheskie i stekloobraznye poluprovodniki [The crystalline and glassy semiconductors]: Sb. nauchn. tr. -- Shtiinca. -- Kishinev. 1977.- P. 127-133. [in Russian]
 14. Bordovskij G.A. Osobennosti spektra lokalizovannyh sostojanij v sisteme As-Se i ego vlijanie na nakoplenie i transport nositelej zarjada [Features of the spectrum of localized states in the As-Se system and its effect on the accumulation and transport of charge carriers] / G. A. Bordovskij, A. Ju. Nagajcev // Jelektricheskaja relaksacija v vysokoomnyh materialah [Electrical relaxation in high-resistance materials]: Tез. dokl. Mezhd. konf., Sankt-Peterburg. -- 1994. -- P. 9-10. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.049>

Сафина Г.Ф.

¹ORCID: 0000-0002-7326-0896, Кандидат физико-математических наук,

Нефтекамский филиал Башкирского государственного университета

**КОРРЕКТНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАССОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ
ТВЕРДОГО ТОПЛИВА****Аннотация**

Рассмотрена обратная задача диагностирования параметров ракетного двигателя твердого топлива по известным значениям частот его малых свободных колебаний. Показана корректность по А.Н. Тихонову обратной задачи восстановления массовых параметров пружинно-массовой модели РДТТ. Сформулирована и доказана соответствующая теорема. Найден алгоритм решения задачи, подтверждающий единственность восстановления параметров по известным значениям четырех частот колебаний ракетного двигателя. Алгоритм решения подтвержден на конкретном примере.

Ключевые слова: частоты колебаний, множество корректности, диагностирование параметров.

Safina G.F.

ORCID: 0000-0002-7326-0896, PhD in Physics and Mathematics,

Neftekamsk Branch of Bashkir State University

CORRECTNESS OF RESTORATION OF MASS PARAMETERS OF ROCKET ENGINE OF SOLID FUEL**Abstract**

The article considers inverse problem of diagnosing the parameters of a rocket engine solid fuel according to known values of the frequencies of small free oscillations. The correctness is shown according to A.N. Tikhonov's inverse problem of restoring mass parameters of the spring-mass model of a solid propellant rocket. The corresponding theorem is formulated and proved. An algorithm for solving the problem is found. It confirms the uniqueness of the parameters reconstruction from the known values of the four frequencies of the rocket engine oscillations. The decision algorithm is confirmed by a concrete example.

Keywords: oscillations frequency, correctness set, parameters diagnostics.

Приведем краткие сведения по свободным колебаниям ракетного двигателя твердого топлива [1]-[3]. Описание расчетной схемы РДТТ, включающей в себя снаряженный корпус двигателя, сопловое днище и продукты сгорания, привело к рассмотрению упруго-массовой модели (рисунок 1).

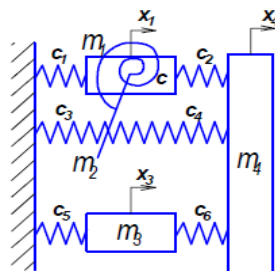


Рис. 1 – Упруго-массовая модель РДТТ

Модель учитывает как массовые параметры конструкции (корпуса m_1 , заряда твердого топлива m_2 , продуктов сгорания m_3 , сопла m_4), так и упругие характеристики (жесткость оболочки c_1 , жесткость газа в зазорах между зарядом твердого топлива и днищами двигателя c_2 , жесткость газа в свободном объеме c_3 и жесткость наполнителя c_N) и перемещения соответствующих элементов системы (x_1, x_2, x_3, x_4).

Для математического описания задачи с помощью аналитического подхода к расчету свободных колебаний рассматриваемой конструкции использовались уравнения Лагранжа для механической системы с конечным числом степеней свободы. При этом с учетом того, что модель совершает малые свободные колебания в работе [1] получено следующее уравнение:

$$\begin{vmatrix} 2c_1 + 2c_2 - (m_1 + m_2)p^2 & 2c_2l - \frac{m_2l}{2}p^2 & 0 & -c_1 - c_2 \\ (2c_2l) - \frac{m_2l}{2}p^2 & (c_N + 2c_2l^2) - \frac{7}{12}m_2l^2p^2 & 0 & -c_2l \\ 0 & 0 & 2c_3 - m_3p^2 & -c_3 \\ -c_1 - c_2 & -c_2l & -c_3 & (c_1 + c_2 + c_3) - m_4p^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (1)$$

в котором p – собственная частота колебаний.

Раскрытие определителя в (1) приводит к уравнению четвертой степени относительно p^2 и позволяет по известным физическим параметрам модели двигателя определять соответствующие значения частот колебаний. В

работе [2] поставлена обратная задача диагностирования массовых характеристик модели РДТТ, которая решена на примере восстановления массы корпуса и заряда твердого топлива по известным значениям трех частот колебаний. Метод сведен к решению двух нелинейных систем уравнений с последующим определением их общего решения. В работе [3] подобная задача решена для диагностирования жесткостных параметров рассматриваемой конструкции ракетного двигателя.

В продолжение исследований [2] приведем другой подход к решению обратной задачи, который ответит не только на вопрос о единственности решения обратной задачи, но и позволит определить необходимое количество частот колебаний для единственного восстановления характеристик, а также позволит показать корректность обратной задачи по А.Н. Тихонову.

Опишем данный метод. Для этого уравнение (1) приведем к виду:

$$\Delta(p) = f_1(p)a + f_2(p)b + f_3(p)m_1 + f_4(p)m_2 + f_5(p) = 0, \quad (2)$$

в котором введены в рассмотрение новые переменные $a = m_2^2$, $b = m_1 m_2$, и функции $f_i(p)$ ($i = \overline{1; 5}$) выражаются как:

$$\begin{aligned} f_1(p) &= \left(\frac{2}{3}l^2 c_3 c_1 + \frac{2}{3}c_2 l^2 c_3 + \frac{1}{3}l^2 c_3^2\right)p^4 + \left(-\frac{1}{3}l^2 m_3 c_3 - \frac{2}{3}l^2 c_3 m_4 - \frac{1}{3}l^2 m_3 c_2 - \frac{1}{3}l^2 m_3 c_1\right)p^6 + \frac{1}{3}l^2 m_3 m_4 p^8; \\ f_2(p) &= \left(\frac{7}{12}l^2 c_3^2 + \frac{7}{6}l^2 c_3 c_1 + \frac{7}{6}c_2 l^2 c_3\right)p^4 + \left(-\frac{7}{12}l^2 m_3 c_1 - \frac{7}{12}l^2 m_3 c_3 - \frac{7}{12}l^2 m_3 c_2 - \frac{7}{6}l^2 c_3 m_4\right)p^6 + \frac{7}{12}l^2 m_3 m_4 p^8; \\ f_3(p) &= (-2c_N c_3 c_1 - 2c_2^2 l^2 c_3 - 2c_N c_3 c_2 - c_N c_3^2 - 4c_2 l^2 c_3 c_1 - 2c_2 l^2 c_3^2)p^2 + (c_2^2 l^2 m_3 + 2c_N m_4 c_3 + \\ &+ c_N m_3 c_1 + c_N c_3 m_3 + 4c_2 l^2 c_3 m_4 + c_N m_3 c_2 + 2c_2 l^2 m_3 c_3 + 2c_2 l^2 m_3 c_1)p^4 + (-c_N m_3 m_4 - 2c_2 l^2 m_3 m_4)p^6; \\ f_4(p) &= (-2c_N c_3 c_1 - \frac{7}{6}c_1^2 l^2 c_3 - 2c_N c_3 c_2 - \frac{7}{6}c_1 l^2 c_3^2 - \frac{7}{6}c_2 l^2 c_3^2 - \frac{7}{6}c_2^2 l^2 c_3 - \frac{13}{3}c_2 l^2 c_3 c_1 - \\ &- c_N c_3^2)p^2 + \left(\frac{7}{12}c_1^2 l^2 m_3 + \frac{7}{3}c_1 l^2 m_4 c_3 + \frac{13}{6}c_2 l^2 m_3 c_1 + \frac{7}{6}c_1 l^2 c_3 m_3 + \frac{7}{12}c_2^2 l^2 m_4 + \frac{7}{6}c_2 l^2 m_3 c_3 + \right. \\ &+ c_N m_3 c_3 + 2c_N m_4 c_3 + \frac{7}{3}c_2 l^2 c_3 m_4 + c_N m_3 c_2 + c_N m_3 c_1)p^4 + \left(-\frac{7}{6}c_1 l^2 m_3 m_4 - \frac{7}{6}c_2 l^2 m_3 m_4 - c_N m_3 m_4\right)p^6; \\ f_5(p) &= 2c_N c_3 c_1^2 + 2c_1 c_N c_3^2 + 2c_N c_3 c_2^2 + 2c_2 c_N c_3^2 + 4c_1 c_2 l^2 c_3^2 + 4c_2 l^2 c_3 c_1^2 + 4c_1 c_2^2 l^2 c_3 + 4c_1 c_N c_3 c_2 + \\ &+ (-2c_1 c_N m_3 c_2 - 2c_1 c_N m_3 c_3 - 2c_1 c_2^2 l^2 m_3 - 4c_1 c_N c_3 m_4 - 2c_2 l^2 m_3 c_1^2 - 4c_1 c_2 l^2 m_3 c_3 - 4c_2 c_N c_3 m_4 - \\ &- 2c_2 c_N m_3 c_3 - c_N m_3 c_1^2 - c_N m_3 c_2^2 - 8c_1 c_2 l^2 c_3 m_4)p^2 + (2c_1 c_N m_3 m_4 + 2c_2 c_N m_3 m_4 + 4c_1 c_2 l^2 m_3 m_4)p^4. \end{aligned} \quad (3)$$

Пусть известны значения p_k ($k = \overline{1; 4}$) четырех частот колебаний модели РДТТ. Тогда подставляя их в частотное уравнение (2) получим:

$$f_1(p_k)a + f_2(p_k)b + f_3(p_k)m_1 + f_4(p_k)m_2 = -f_5(p_k); \quad (k = \overline{1; 4}) \quad (4)$$

Система (4) является системой четырех линейных уравнений от четырех неизвестных a , b , m_1 , m_2 . Найдем решение (4) по правилу Крамера. При этом имеем, что если определитель

$$D = \begin{vmatrix} f_1(p_1) & f_2(p_1) & f_3(p_1) & f_4(p_1) \\ f_1(p_2) & f_2(p_2) & f_3(p_2) & f_4(p_2) \\ f_1(p_3) & f_2(p_3) & f_3(p_3) & f_4(p_3) \\ f_1(p_4) & f_2(p_4) & f_3(p_4) & f_4(p_4) \end{vmatrix} \quad (5)$$

системы уравнений (4) не равен нулю, то искомые массы корпуса и заряда твердого топлива определяются однозначно по формулам:

$$m_1 = \frac{D_3}{D}, \quad m_2 = \frac{D_4}{D}, \quad D_3 = \begin{vmatrix} f_1(p_1) & f_2(p_1) & -f_5(p_1) & f_4(p_1) \\ f_1(p_2) & f_2(p_2) & -f_5(p_2) & f_4(p_2) \\ f_1(p_3) & f_2(p_3) & -f_5(p_3) & f_4(p_3) \\ f_1(p_4) & f_2(p_4) & -f_5(p_4) & f_4(p_4) \end{vmatrix}, \quad D_4 = \begin{vmatrix} f_1(p_1) & f_2(p_1) & f_3(p_1) & -f_5(p_1) \\ f_1(p_2) & f_2(p_2) & f_3(p_2) & -f_5(p_2) \\ f_1(p_3) & f_2(p_3) & f_3(p_3) & -f_5(p_3) \\ f_1(p_4) & f_2(p_4) & f_3(p_4) & -f_5(p_4) \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Новые параметры находятся аналогично как

$$a = \frac{D_1}{D}, \quad b = \frac{D_2}{D}, \quad D_1 = \begin{vmatrix} -f_5(p_1) & f_2(p_1) & f_3(p_1) & f_4(p_1) \\ -f_5(p_2) & f_2(p_2) & f_3(p_2) & f_4(p_2) \\ -f_5(p_3) & f_2(p_3) & f_3(p_3) & f_4(p_3) \\ -f_5(p_4) & f_2(p_4) & f_3(p_4) & f_4(p_4) \end{vmatrix}, \quad D_2 = \begin{vmatrix} f_1(p_1) & -f_5(p_1) & f_3(p_1) & f_4(p_1) \\ f_1(p_2) & -f_5(p_2) & f_3(p_2) & f_4(p_2) \\ f_1(p_3) & -f_5(p_3) & f_3(p_3) & f_4(p_3) \\ f_1(p_4) & -f_5(p_4) & f_3(p_4) & f_4(p_4) \end{vmatrix}, \quad (7)$$

причем с учетом введенных параметров должны выполняться равенства

$$\frac{D_1}{D} = \left(\frac{D_4}{D} \right)^2, \quad \frac{D_2}{D} = \frac{D_3}{D} \cdot \frac{D_4}{D}. \quad (8)$$

Определение частот колебаний p_k ($k = \overline{1; 4}$) с помощью вискозиметров чаще является приближенным, поэтому равенства (8), находящиеся по таким частотам могут и не выполняться. Это в свою очередь говорит о том, что система уравнений (4) может и не иметь решений, и поэтому рассматриваемая задача может оказаться некорректной по Адамару. Тем не менее, она будет корректной по А.Н. Тихонову [4]. Покажем это.

Для этого под оператором R понимаем отображение, задаваемое системой (4), оно переводит четверку неизвестных a, b, m_1, m_2 в соответствующую четверку собственных частот p_k ($k = \overline{1; 4}$), при этом определитель (5) $D \neq 0$. Под множеством V понимаем пространство R^4 элементов $v = (v_1, v_2, v_3, v_4)$ с нормой $\|v\| = \max(|v_1|, |v_2|, |v_3|, |v_4|)$, а под Z – пространство R^4 элементов $z = (z_1, z_2, z_3, z_4)$ с нормой $\|z\| = \max(|z_1|, |z_2|, |z_3|, |z_4|)$, при этом образ множества M при отображении с помощью оператора R есть множество Λ .

Тогда задача $Rv = z$ корректна по А.Н. Тихонову, так как: 1) известно, что решение задачи существует и принадлежит некоторому множеству $M \subset V$; 2) решение единственно на множестве M ; 3) для любого $\varepsilon > 0$ существует такое $\delta > 0$, что для любых z и \bar{z} из $\Lambda = RM$ и таких, что $\|z - \bar{z}\|_Z < \delta$ следует, что $\|v - \bar{v}\|_V < \varepsilon$.

В указанном множестве корректности обратной задачи построим теперь алгоритм его решения. Так как искомые параметры a, b, m_1, m_2 существуют, собственные частоты p_k ($k = \overline{1; 4}$) и определители $D \neq 0, D_k$ ($k = \overline{1; 4}$) найдены точно, то условия (8) выполняются. Тогда искомые параметры определяются формулами (5)-(7).

В том случае, когда частоты p_k ($k = \overline{1; 4}$) найдены с погрешностью ($\mu_k \approx p_k$), и определители $D \neq 0, D_k$ ($k = \overline{1; 4}$) приближенные, то равенства (8), которые могут не выполняться, можно и не рассматривать. Действительно, в этом случае решением является следующая четверка параметров: значения m_1, m_2 , определенные формулами (5), (6), в которых $D \neq 0, D_3, D_4$ являются приближенными, а новые параметры a, b определим в соответствии с равенствами $a = m_2^2, b = m_1 m_2$.

Найденная по такому алгоритму четверка искомых параметров будет лежать в множестве корректности по А.Н. Тихонову, так как для нее уже выполнено условие (8). Решение будет тем точнее, чем ближе к точным собственным частотам p_k ($k = \overline{1; 4}$) будут зафиксированные вискозиметром значения μ_k ($k = \overline{1; 4}$).

Отметим, что по ходу определения множества корректности по А.Н. Тихонову и построения алгоритма решения рассматриваемой обратной задачи, доказана следующая теорема.

Теорема. Если известны ненулевые частоты p_k ($k = \overline{1; 4}$) колебаний РДТТ – корни уравнения (2), определитель (5) системы (4) также отличен от нуля, то задача восстановления массовых параметров корректна по А.Н. Тихонову, а единственное решение определяется формулами (5), (6).

Алгоритм решения задачи восстановления массовых параметров ракетного двигателя рассмотрим на конкретных примерах.

Пример 1. По известным частотам

$$p_1 = 0,374c^{-1}, \quad p_2 = 0,798c^{-1}, \quad p_3 = 0,939c^{-1}, \quad p_4 = 2,340c^{-1}$$

колебаний конструкции ракетного двигателя определить массу его корпуса и массу заряда твердого топлива, если остальные физические параметры рассматриваемой механической системы следующие:

$$m_3 = 0,157кг, \quad m_4 = 180кг, \quad c_1 = 120Н/м, \quad c_2 = 0,05Н/м, \quad c_3 = 0,05Н/м, \quad c_N = 10Н/м, \quad l = 0,1м. \quad (9)$$

Решение. Подставим физические параметры (9) в равенства (3) определим все необходимые значения $f_i(p)$ ($i = \overline{1; 5}$) при известных частотах

p_k ($k = \overline{1; 4}$). С помощью соответствующей программы имеем:

$$f_1(p_1) = 0,0004842; \quad f_2(p_1) = 0,0008472; \quad f_3(p_1) = -10,3672164; \quad f_4(p_1) = -10,899871;$$

$$f_5(p_1) = -6522,123839;$$

$$f_1(p_2) = 0,315572 \cdot 10^{-5}; \quad f_2(p_2) = -0,552248 \cdot 10^{-5}; \quad f_3(p_2) = 0,0148693; \quad f_4(p_2) = 0,01855599;$$

$$f_5(p_2) = 9,9440400;$$

$$f_1(p_3) = 0,00387357 ; \quad f_2(p_3) = 0,00977875 ; \quad f_3(p_3) = -13,1686277 ; \quad f_4(p_3) = -17,870383 ;$$

$$f_5(p_3) = -9140,30833 ;$$

$$f_1(p_4) = 65,73564497 ; \quad f_2(p_4) = 115,0373787 ; \quad f_3(p_4) = -36015,9857 ; \quad f_4(p_4) = -41405,7369 ;$$

$$f_5(p_4) = -0,1688329 \cdot 10^{-5}.$$

Далее по формулам (5) и (6) получим, что

$$D = -0,0280205072, \quad D_3 = -3,384245881, \quad D_4 = -14,10102559.$$

Тогда согласно (6) имеем следующие искомые параметры:

$$m_1 = \frac{D_3}{D} = 119,9999927; \quad m_2 = \frac{D_4}{D} = 500,0000082.$$

Значит, масса корпуса и масса заряда твердого топлива соответственно равны $m_1 = 120 \text{ кг}$, $m_2 = 500 \text{ кг}$.

Отметим, что искомые массовые параметры определены верно. Это подтверждает решение прямой спектральной задачи, а именно, при заданных физических характеристиках (9) и массах $m_1 = 120 \text{ кг}$, $m_2 = 500 \text{ кг}$ частотное уравнение (1) (или (4)) имеет корни:

$$p_1 = 0,374c^{-1}, \quad p_2 = 0,798c^{-1}, \quad p_3 = 0,939c^{-1}, \quad p_4 = 2,340c^{-1}.$$

Пример 2. Определить массу корпуса и массу заряда твердого топлива ракетного двигателя, если известны частоты

$$p_1 = 0,407c^{-1}, \quad p_2 = 0,798c^{-1}, \quad p_3 = 0,975c^{-1}, \quad p_4 = 2,923c^{-1}$$

его малых колебаний и физические характеристики

$$m_3 = 0,157 \text{ кг}, \quad m_4 = 180 \text{ кг}, \quad c_1 = 110 \text{ Н/м}, \quad c_2 = 0,05 \text{ Н/м}, \quad c_3 = 0,05 \text{ Н/м}, \quad c_N = 10 \text{ Н/м}, \quad l = 0,1 \text{ м}. \quad (10)$$

С учетом заданных частот p_k ($k = \overline{1; 4}$) колебаний и параметров (10) соответствующие функции равенств (3) имеют значения:

$$f_1(p_1) = 0,0009486 ; \quad f_2(p_1) = 0,0005420 \quad f_3(p_1) = -9,832822 ; \quad f_4(p_1) = -10,22979 ;$$

$$f_5(p_1) = -4118,20322 ;$$

$$f_1(p_2) = -0,603822 \cdot 10^{-5} ; \quad f_2(p_2) = -0,345042 \cdot 10^{-5} ; \quad f_3(p_2) = 0,01162549 ; \quad f_4(p_2) = 0,0188558 ;$$

$$f_5(p_2) = 7,00723400 ;$$

$$f_1(p_3) = 0,0158182 ; \quad f_2(p_3) = 0,00990389 ; \quad f_3(p_3) = -28,53014 ; \quad f_4(p_3) = -35,493965 ;$$

$$f_5(p_3) = -12569,91751 ;$$

$$f_1(p_4) = 7545,697398 ; \quad f_2(p_4) = 431,2556558 ; \quad f_3(p_4) = -151443,6922 ; \quad f_4(p_4) = -171619,4123 ;$$

$$f_5(p_4) = -0,4051779 \cdot 10^{-5}.$$

Отсюда, используя формулы (5), (6) получим:

$$D = -0,347764 \cdot 10^{-7}, \quad D_3 = -0,400128 \cdot 10^{-5}, \quad D_4 = -0,1043276 \cdot 10^{-4},$$

$$m_1 = \frac{D_3}{D} = 115,0057337; \quad m_2 = \frac{D_4}{D} = 299,9995399.$$

Имеем в данном следующие значения искомых массовых параметров

$$m_1 = 115 \text{ кг}, \quad m_2 = 300 \text{ кг}.$$

По решению прямой задачи можно снова убедиться в правильности восстановленных массовых характеристик при заданных частотах колебаний ракетного двигателя.

Таким образом, проведенные в работе исследования позволяют сделать следующие выводы: 1) рассмотрен метод введения дополнительных переменных в обратной задаче; 2) показаны единственность и корректность поставленной обратной задачи; 3) определено необходимое количество частот колебаний, позволяющее восстановить единственным образом массовые характеристики ракетного двигателя.

Список литературы / References

1. Модорский В.Я. Моделирование газопругих колебательных процессов в ракетных двигателях твердого топлива / В.Я. Модорский, А.В. Козлова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2006. № 43. – С. 163-167.
2. Сафина Г.Ф. Моделирование в диагностировании массовых характеристик ракетного двигателя / Г.Ф. Сафина // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях. – 2014. – С. 86-88.
3. Сафина Г.Ф. Диагностирование жесткостных характеристик ракетного двигателя твердого топлива / Г.Ф. Сафина // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 16 частях. – 2015. – С. 119-122.

4. Иванов В.К. Теория линейных некорректных задач и ее приложения / В. К. Иванов, В. В. Васин, В.П. Танана. – М.: Наука, 1978. – 200 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Modorskiy V.Ja. Gazoprovod modeling of oscillatory processes in rocket engines solid fuel [Diagnosis of the stiffness characteristics of the rocket engine solid fuel] / V.Ja. Modorskiy, A.V. Kozlova // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki. [Vestnik of Samara state technical University. Series: physics and mathematics.]. – 2006. №43. P. 163-167. [in Russian]

2. Safina G.F. Modelirovanie v diagnostirovanii massovykh harakteristik raketnogo dvigatelja [Modeling in diagnosing the mass of the rocket engine] / G.F. Safina // Aktual'nye voprosy v nauchnoj rabote i obrazovatel'noj dejatel'nosti: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 11 chastjah. [Current issues in research and educational activity: collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference: in 11 parts.]. – 2014. – P. 86–88. [in Russian]

3. Safina G.F. Diagnostirovanie zhestkostnykh harakteristik raketnogo dvigatelja tverdogo topliva [Diagnosis of the stiffness characteristics of the rocket engine solid fuel] / G.F. Safina // Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovaniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 16 chastjah. [Theoretical and applied problems of science and education: collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference: in 16 parts.]. – 2015. P. 119-122. [in Russian]

4. Ivanov V.K. Teorija linejnykh nekorrektnykh zadach i ee prilozhenija [The theory of linear incorrect problems and its applications] / V. K. Ivanov, V. V. Vasin, V.P. Tanana. – М.: Nauka, 1978. – 200 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.001>

Черных А.Г.

ORCID: 0000-0003-4857-9560, Кандидат физико-математических наук, Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева

ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИНДУКЦИОННЫХ ТОКОВ

Аннотация

Рассмотрена динамика изменения структуры индукционных токов с ростом частоты внешнего квазистационарного магнитного поля. Проведено численное решение системы уравнений Максвелла, описывающих физику задачи. Индукционные токи определяются амплитудой и фазовым сдвигом относительно внешнего поля. Из-за обратных связей, обусловленных уравнениями Максвелла индукционные токи имеют сложную структуру, особенностью которой является наличие радиальных координат и частот, при которых токи в скин-слое движутся в противофазе.

Ключевые слова: уравнения Максвелла, цилиндрический проводник, индукционные токи, квазистационарное магнитное поле, фазовый сдвиг.

Chernykh A.G.

ORCID: 0000-0003-4857-9560,

Ph.d. in Physical and Mathematical Sciences, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev,

FREQUENCY DEPENDENCE OF INDUCTION CURRENTS LOCALIZATION

Abstract

The dynamics of changes in the structure of induction currents with increasing frequency of the external quasistationary magnetic field is considered in the paper. A numerical solution of the system of Maxwell's equations describing the physics of the problem is carried out. The induction currents are determined by the amplitude and the phase shift relative to the external field. Because of the feedbacks caused by Maxwell's equations, induction current have a complex structure, and its distinctive feature is the presence of radial coordinates and frequencies at which the currents in the skin layer move in reverse phase.

Keywords: Maxwell's equations, cylindrical conductor, induction currents, quasistationary magnetic field, phase shift.

Задача описания взаимодействия цилиндрического проводника с квазистационарным магнитным полем, параллельным оси проводника, рассмотрена в работах [1], [2, С. 310]. Показано, что индукционные токи определяются функциями Бесселя. Аргументом этих функций является величина $kr/2$, где $k = (i + 1)/\delta$, r – радиальная координата ($0 \leq r \leq a$), δ – толщина скин-слоя. Функции Бесселя неудобны для анализа полученных закономерностей, поэтому вычислены только две асимптотики: $a/\delta \ll 1$ и $a/\delta \gg 1$. Первая асимптотика – предельно низкие частоты ω внешнего поля – приводит к очевидному результату: плотность тока пропорциональна $r\omega$, индукционный ток сдвинут по фазе относительно внешнего поля на величину $\pi/2$. Вторая асимптотика – предельно большие ω – показывает, что индукционный ток локализован в тонком поверхностном слое толщиной δ . Фазовый сдвиг индукционных токов эта асимптотика не определяет. Цель данной работы – изучение динамики изменения параметров индукционных токов с ростом частоты внешнего поля.

Рассмотрим ситуацию: проводник в форме сплошного длинного цилиндра, радиус которого a , проводимость σ , помещен в однородное переменное магнитное поле $H(t) = H_0 \cos \omega t$, параллельное оси цилиндра. Геометрия задачи симметрична относительно оси цилиндра, поэтому вихревые токи будут течь по окружностям в плоскостях, перпендикулярных его оси. Это означает, что параметры тока зависят от радиальной координаты r и ω . При гармонической зависимости внешнего магнитного поля от времени, напряженность поля удобно представить в комплексном виде:

$$H(t) = H_0 e^{-i\omega t}.$$

Магнитное поле внутри проводящего цилиндра определяется уравнениями Максвелла в квазистационарном приближении [1], [2]. Зависимость магнитного поля от t и r имеет вид

$$H(r, t) = H_0 \frac{J_0(kr)}{J_0(ka)} e^{-i\omega t}. \quad (1)$$

Толщина скин-слоя определяется формулой $\delta = 2/\sqrt{2\sigma\mu_0\omega}$. В (1) входят функции Бесселя нулевого порядка [3, С. 112]:

$$J_0(kr) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{kr}{2}\right)^{2n}}{n! n!}. \quad (2)$$

Плотность вихревых токов имеет вид [4, С. 144]:

$$j(r, t) = -\frac{\partial H(r, t)}{\partial r} = H_0 k \frac{J_1(kr)}{J_0(ka)} e^{-i\omega t}, \quad (3)$$

здесь $J_1(kr)$ – функция Бесселя первого порядка, определяемая рядом

$$J_1(kr) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{kr}{2}\right)^{2n+1}}{n! (n+1)!}. \quad (4)$$

Соотношения (2–4) определяют точное решение уравнений Максвелла в квазистационарном приближении. Выражение (3) приведем к виду, удобному для применения методов вычислительной математики. Рассмотрим $J_0(ka)$ – ряд, являющийся знаменателем в формуле (3). В (2) учтем, что $r = a$ и $(ka/2)^2 = i(a^2/2\delta^2)$.

Введем безразмерную переменную

$$z = (a^2/2\delta^2) = a^2\omega\sigma\mu_0/4. \quad (5)$$

$J_0(ka)$ примет вид

$$J_0(ka) = J_0(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (iz)^n}{n! n!} = A_0 + iB_0, \quad (6)$$

где

$$A_0 = 1 - \frac{z^2}{(2!)^2} + \frac{z^4}{(4!)^2} - \frac{z^6}{(6!)^2} + \dots \quad (7)$$

$$B_0 = -\frac{z}{(1!)^2} + \frac{z^3}{(3!)^2} - \frac{z^5}{(5!)^2} + \dots \quad (8)$$

Ряды (7) и (8) знакопеременные, поэтому их можно численно суммировать с заданной точностью.

Проведем аналогичные преобразования выражения $kJ_1(kr)$, стоящего в числителе (3). Используя соотношение (4), получим

$$kJ_1(kr) = k \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{kr}{2}\right)^{2n+1}}{n! (n+1)!} = k \left(\frac{kr}{2}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{kr}{2}\right)^{2n}}{n! (n+1)!}. \quad (9)$$

Учтем, что $(kr/2)^2 = i(r^2/2\delta^2)$. Введем величину относительного радиуса

$$h = r/a \quad (10)$$

тогда

$$k(kr/2) = i \frac{2h}{a} z. \quad (11)$$

С учетом (10) и (11) выражение (9) примет вид

$$kJ_1(kr) = i \frac{2hz}{a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (i h^2 z)^n}{n! (n+1)!} \quad (12)$$

Это позволяет записать формулу для плотности вихревых токов $j(h, t)$ в виде

$$j(h, t) = \frac{2H_0}{a} i e^{-i\omega t} (hz) \left(\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (i h^2 z)^n}{n! (n+1)!} \right) / \left(\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (iz)^n}{n! n!} \right). \quad (13)$$

Представим сумму, стоящую в числителе (13) в виде комплексной величины

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (i h^2 z)^n}{n! (n+1)!} = A_1 + iB_1, \quad (14)$$

где

$$A_1 = 1 - \frac{z_h^2}{2!3!} + \frac{z_h^4}{4!5!} - \frac{z_h^6}{6!7!} + \dots \quad (15)$$

$$B_1 = -\frac{z_h}{1!2!} + \frac{z_h^3}{3!4!} - \frac{z_h^5}{5!6!} + \dots, \quad (16)$$

здесь $z_h = h^2 z$.

Используя выделенные действительные и мнимые части рядов, выражение (13) запишем в виде

$$j(r, t) = \frac{2H_0}{a} hz \left(\frac{A_1 + iB_1}{A_0 + iB_0} \right) i e^{-i\omega t}. \quad (17)$$

Действительная часть выражения (17) описывает плотность вихревых токов от относительного радиуса и времени. Можно показать, что

$$\left(\frac{A_1 + iB_1}{A_0 + iB_0} \right) = \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{A_0^2 + B_0^2}} e^{i\psi}, \quad (18)$$

где

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{A_0 B_1 - A_1 B_0}{A_1 A_0 + B_1 B_0}. \quad (19)$$

Согласно формуле Эйлера

$$i = e^{i\frac{\pi}{2}}. \quad (20)$$

Подстановка (18) и (20) в (17) дает

$$j(h, t) = \frac{2H_0}{a} hz \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{A_0^2 + B_0^2}} e^{-i(\omega t - \frac{\pi}{2} - \psi)}. \quad (21)$$

Действительная часть (21) имеет вид

$$j(h, t) = \frac{2H_0}{a} hz \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{A_0^2 + B_0^2}} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \psi\right). \quad (22)$$

Безразмерное соотношение

$$j(h) = hz \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{A_0^2 + B_0^2}} \quad (23)$$

с точностью до постоянного множителя $(2H_0/a)$ определяет амплитуду плотности вихревых токов. Величина

$$\varphi(z, h) = \frac{\pi}{2} + \arctg(\psi) \quad (24)$$

определяет фазовый сдвиг плотности токов относительно внешнего поля.

Проведенное преобразование рядов, определяющих амплитуду плотности индукционного тока и фазовый сдвиг тока относительно внешнего поля, показало, что характеристики вихревого тока определяются безразмерными величинами z и h . Анализ зависимости амплитуды плотности индукционных токов и фазового сдвига тока относительно внешнего поля проведем на основе численно построенных графиков. Аргументом этих функций является величина z , пропорциональная чистоте внешнего поля. Графики строятся при значении h , равных 0,25; 0,75; 0,95. Программа численного построения графиков опубликована в [5]. На рис. 1 показаны графики зависимости $j(h, z)$ и $\varphi(h, z)$ при $h = 0,25$. Из графика видно: индукционный ток отличен от нуля при $0 < z \leq 20$. Плотность тока с ростом z сначала быстро растет, затем более медленно падает до нуля. В интервале z , где ток отличен от нуля, есть два значения z , при которых фазовый сдвиг меняется от нуля до π . Это означает, что в окрестности этих z ток меняет направление движения на противоположное, - с ростом z структура токов сильно меняется.

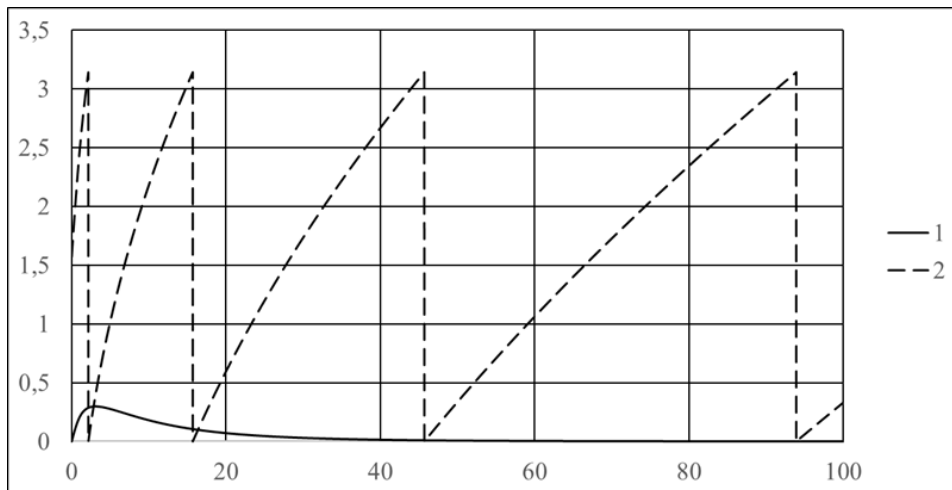


Рис. 1 – Зависимость безразмерной амплитуды плотности индукционного тока и разности фаз между током и внешним магнитным полем от z , при $h = 0,25$: 1 – амплитуда плотности тока; 2 – разность фаз

На рис. 2 показаны графики зависимости $j(h, z)$ и $\varphi(h, z)$ при $h = 0,75$.

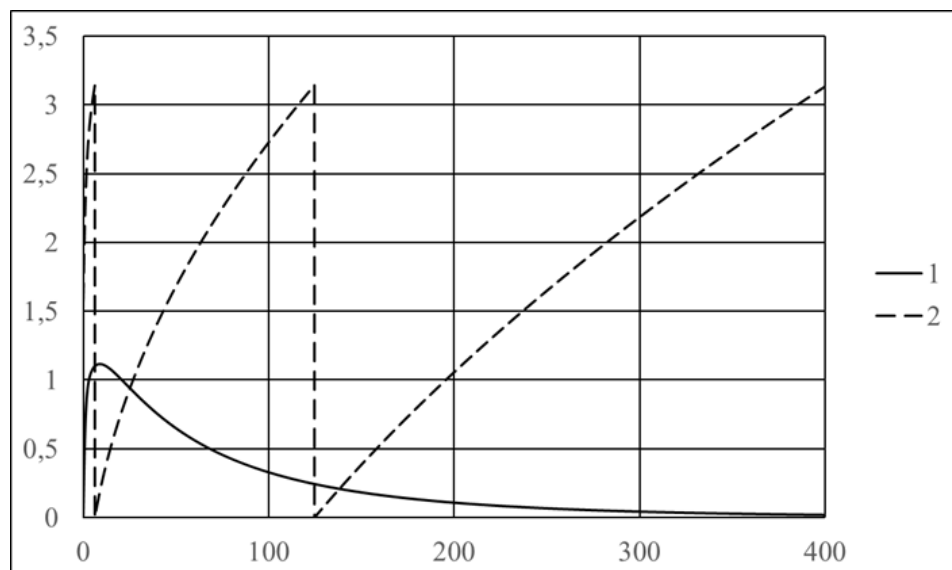


Рис. 2 – Зависимость безразмерной амплитуды плотности индукционного тока и разности фаз между током и внешним магнитным полем от z , при $h = 0,75$: 1 – амплитуда плотности тока; 2 – разность фаз

Графики на рис. 2 качественно повторяют графики на рис. 1. На рис. 3 показаны графики зависимости $j(h, z)$ и $\varphi(h, z)$ при $h = 0,95$.

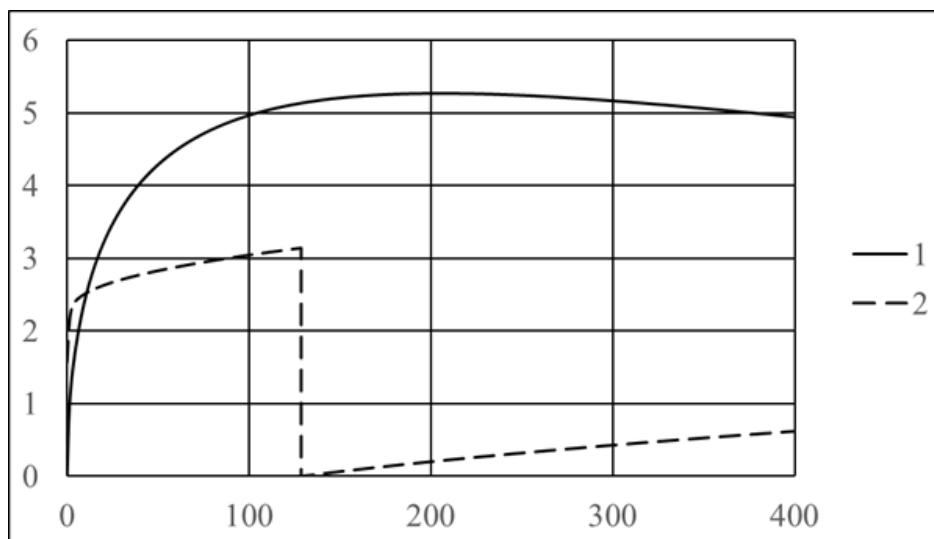


Рис. 3 – Зависимость безразмерной амплитуды плотности индукционного тока и разности фаз между током и внешним магнитным полем от z , при $h = 0,95$: 1 – амплитуда плотности тока; 2 – разность фаз

Из графиков на рис. 3 видно, что при $h = 0,95$ амплитуда индукционных токов максимальна при $z \approx 200$. С ростом z амплитуда медленно убывает: токи концентрируются ближе к поверхности цилиндра. Скачок фазы при $z \approx 130$ означает, что ток в окрестности $h = 0,95$ с ростом z меняет направление на противоположное.

Список литературы / References

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика: учеб. пособие. В 10 т. Т. 8. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Л. П. Питаевский, Е. М. Лифшиц; под ред. Л. П. Питаевского. 4-е изд., стер. – М.: Физматлит, 2003. – 652 с.
2. Батыгин В. В. Сборник задач по электродинамике: учеб. пособие / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин; под ред. М. М. Бредова. 3-е изд., испр. – Ижевск; М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 640 с.
3. Никифоров А. Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики / под ред. А. А. Самарского. – М.: Наука, 1978. – 320 с.
4. Черных А. Г. Бесконтактное измерение электросопротивления проводников в переменном магнитном поле. Ч. 2 / А.Г. Черных // Физическое образование в вузах. – 2013. Т. 19. – № 3. – С. 138–150.
5. Черных А.Г. Расчет процесса самоорганизации вихревых индукционных токов в массивном проводнике цилиндрической формы при изменении частоты внешнего квазистационарного магнитного поля: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017611384 Рос. Федерация / А.Г. Черных; заявл. 29.09.2016; опубли. 02.02.2017. Бюл. № 2.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Landau L. D. Teoreticheskaja fizika: ucheb. posobie. V 10 t. T. 8. Jelektrodinamika sploshnyh sred [Electrodynamics of Continuous Media, Second Edition: V. 8. Course of Theoretical Physics, 2nd ed.] / L. D. Landau, L. P. Pitaevskii, E. M. Lifshitz. – Published by USA.: Butterworth-Heinemann, 1984.
2. Batygin V. V. Sbornik zadach po jelektrodinamike: ucheb. posobie [Problems in Electrodynamics] / V. V. Batygin, I. N. Topotygin. – London: Academic Press, 1978.
3. Nikiforov A. F., Uvarov V. B. Specialnye funkicii matematicheskoy fizik [Special functions of mathematical physics] / pod red. A. A. Samarskogo [Ed. A. A. Samarsky]. – M.: Nauka, 1978. – 320 pp. [In Russian].
4. Chernykh A. G. Beskontaktnoe izmerenie ehlektrosoprotivleniya provodnikov v peremennom magnitnom pole. Ch 2 [Contactless measurement of electrical resistance in alternating magnetic field. Part 2] / A. G. Chernykh // Fizicheskoe Obrazovanie v VUZah [Physics in Higher Education]. – 2013 T. 19. – № 3. – P. 138–150. [In Russian].
5. Chernykh A. G. Raschet processa samoorganizacii vihrevykh indukcionnyh tokov v massivnom provodnike cilindricheskoy formy pri izmenenii chastoty vneshnego kvazistacionarnogo magnitnogo polya svidetelstvo o gos. registracii programmy dlya EhVM 2017611384 Ros. Federaciya [Calculation of the process of self organization of vortex induction currents in a massive conductor of cylindrical shape with a change in the frequency of an external quasistationary magnetic field: Registration of the computer program № 2017611384 Ros. Federation] / A. G. Chernykh; zayavl. 09.29.2016; publ. 02.02.2017. bul. № 2. [In Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.103>Якубаев К.Д.¹, Шуклина Ю.А.²¹Кандидат физико-математических наук, доцент,²Доцент, Астраханский государственный архитектурно - строительный университет**МЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО НЕОГРАНИЧЕННЫХ ВЫПУКЛЫХ МНОЖЕСТВ И НЕОГРАНИЧЕННЫЕ МНОГОГРАННИКИ****Аннотация**

В работе дается определение метрического пространства $H(K)$ неограниченных замкнутых выпуклых подмножеств банахового пространства X , имеющих один и тот же рецессивный K . В качестве расстояния используется метрика Хаусдорфа. В настоящей работе установлено, что свойства метрического пространства $H(K)$ отличаются от свойств метрического пространства выпуклых компактов с метрикой Хаусдорфа. Установлено, что теорема аналогичная теореме об аппроксимации выпуклых компактов многогранниками неверна. То есть не каждый элемент метрического пространства $H(K)$ может быть аппроксимирован обобщенными многогранниками, являющихся аналогами обычных многогранников. В работе вводится понятие обобщенного многогранника следующим образом. Элементы совокупности $H(0) + K$ называются обобщенными многогранниками.

Выведен критерий аппроксимации. Для того, чтобы элемент пространства $H(K)$ мог быть аппроксимирован обобщенными многогранниками в метрике Хаусдорфа необходимо и достаточно, чтобы его опорная функция была равномерно непрерывной.

Ключевые слова: Пространство неограниченных замкнутых выпуклых множеств, метрика Хаусдорфа, опорная функция, нормальный конус, рецессивный конус.

Yaksubaev K.D.¹, Shuklina Y.A.²¹PhD in Physics and Mathematics,²Associate Professor,

Astrakhan State University of Civil Engineering

METRIC SPACE OF UNLIMITED CONVEX SETS AND UNLIMITED POLYHEDRON**Abstract**

In the paper there is a definition of metric space $H(K)$ the unlimited closed convex subsets of Banach space X , having the same recessive K . There is a Hausdorff metric that is used as a distance. It is established in this paper that the properties of a metric space $H(K)$ are different from the properties of the metric space of convex compacts with Hausdorff metric. It is established that the theorem similar to the theorem of approximation of convex compacts polyhedrons is wrong. That is not each element of metric space $H(K)$ can be approximated by the generalized polyhedrons, which are the analogues of the normal polyhedrons.

The paper introduces the concept of a generalized polyhedron in the following way. The set of elements $H(0) + K$ are known as generalized polyhedrons.

The criterion of approximation is derived. In order for the element of the space $H(K)$ could be approximated by generalized polyhedrons in the Hausdorff metric it is necessary and sufficient that its basic function was evenly continuous.

Keywords: a space of unlimited closed convex sets, Hausdorff metric, support function, normal cone, recessive cone.

The paper examines the unlimited closed convex subsets of Banach space X , having the same recessive cone, and metric spaces, which they form with the Hausdorff metric. The aim of this work is the study of the properties of this metric space, as well as receiving an analog of the known theorem of approximation of convex compacts by normal polyhedrons. Convex sets and their properties were studied in the works [1-3]. The necessary information according to the functional analysis needed for the proof of the main theorem is taken from [1,2].

The space x is assumed to be reflexive, it is in the paper and, therefore, the limited, convex, closed sets are weakly compact in it. Suppose

$$Y = X \times R, |y| = \max(|x|, |\alpha|), y = (x, \alpha); y \in Y \Leftrightarrow x \in X, \alpha \in R.$$

Sets W, W^*, V, V^* are closed single spheres from X, X^*, Y, Y^* accordingly; S_Y - single sphere from Y and etc. Apparently $[-1, 1] \times W$. Denote by

$$\bar{R} = [-\infty, \infty] \text{ the extended number line.}$$

Definition 1. Cone, maximal by inclusion among cones satisfies the condition $A + K \subset A$, is called the recessive cone of the set A . You can check that it exists and that it is convex, closed, if the set is closed, convex.

Definition 2. The function $s(x^*, A) = \sup_{x \in A} (x^*, x)$ on $x \in A$ is called the supporting function of the set A . The function $\delta(x, A)$ equal to zero on A , and to plus infinity outside A is called the indicator function of the set A .

Definition 3. The epigraph of this function $f: X \rightarrow \bar{R}$ is called the set $\{(x, \alpha) | f(x) \leq \alpha, x \in X, \alpha \in R\} \subset Y$ and denote by $epif$. A function is called closed when the epigraph is closed in the direct multiplication $\times R = Y$. Function is called its own if $\forall x \in X f(x) > -\infty, \exists x: f(x) < +\infty$.

By the $G(f)$ we denote the graph of the function f .

Lemma 1. A function is closed then and only then when it is semi continuous from below [1].

Lemma 2. The following statements are true: a) the support function of an arbitrary set is always convex, homogeneous and closed in the weak topology, and therefore, because of the reflexivity of the space it is closed, and by Lemma 1 the support function is always semi continuous from below;

b) for any set A, B numbers $\alpha, \beta \geq 0$ it is true:

$$s(*, \alpha A + \beta B) = \alpha s(*, A) + \beta s(*, B);$$

c) for convex closed sets A, B is true: $A \supset B \Leftrightarrow s(*, A) \geq s(*, B)$;

d) suppose $f^*: X^* \rightarrow \bar{R}$ is a convex, homogeneous, semi continuous from below and it's own function, then there is a not empty closed convex set, $A \subset X$ which support function is f^* .

Lemma 3. Suppose A, B is closed, convex subsets X . Let us define two numbers:

$$\rho = \rho(A, B) = \max\{\sup \rho(x, B) \text{ on } x \in A, \sup \rho(y, A) \text{ on } y \in B\},$$

$$\tilde{\rho} = \inf\{\alpha \geq 0 | A + \alpha W \supset B, B + \alpha W \supset A\}.$$

Then it is true that $\rho = \tilde{\rho}$. This number is called the Hausdorff distance between the sets A and B .

The set of all non-empty, closed, convex subsets, having the same recessive cone K , remote from it at a finite Hausdorff distance is a metric space; let us denote it $H(K)$. Thus, some closed, convex sets fall out of our consideration. Owing to reflexivity X elements from $H(0)$ - is convex weakly compact and therefore $H(0) + K \subset H(K)$.

The aim of this work is to find out under what conditions $A \in \overline{H(0) + K}$, and when $\overline{H(0) + K} = H(K)$? Denote by K^* the cone associated to the cone K that is $K^* = \{x^* | (x^*, x) \geq 0 \forall x \in K\}$.

Lemma 4. Support function of any element $A \in H(K)$ is limited on the set

$W^* \cap \{-K^*\}$ and is equal to plus infinity outside the cone $\{-K^*\}$. Moreover

$$\rho(A, B) = \rho = \sup |s(x^*, A) - s(x^*, B)| \text{ on } x^* \in W^* \cap \{-K^*\} \forall A, B \in H(K).$$

Definition 4. The cone K is called normal if

$$\exists \delta > 0, \forall x, y \in K: |x| = |y| = 1 \Rightarrow |x + y| > \delta.$$

Lemma 5. Suppose the cone K is normal, then there exists a normal physical cone K_1 such that $K \subset K_1$ [2].

Lemma 6. Suppose $X = X^{**}$; A, B is weakly closed subsets X . If the set $A \cup B$ can be putted by a shift to a normal cone then the algebraic sum $A + B$ is weakly closed [3].

Lemma 7. Suppose K is normal,

$$A, B \in H(K); \alpha, \beta \geq 0, \text{ then } \alpha A + \beta B \in H(K).$$

Definition 5. Suppose Ω an arbitrary subset of space X . Function $f: \Omega \rightarrow R$ is called uniform by the Hausdorff, if $\forall \varepsilon \neq 0$ there is a nonzero area δ , of the graph of a function f , not intersecting with the graph of the function $f - \varepsilon$.

Lemma 8. Suppose the set Ω is convex set and the function f is limited, that is $|f| \leq M$. Then the function f is uniform by the Hausdorff, then and only then, when it is uniformly continuous.

Lemma 9. Suppose Ω is convex, open subset, and f is convex, limited function to the $\Omega, |f| \leq M$; A - is closed, convex subset lying in Ω with some closed area of non-zero radius δ that is $A + \delta W \subset \Omega$. Then the function satisfies the Lipschitz condition on A with $N \leq 2M/\delta$ as constant. It is enough to prove the Lemma for one-dimensional case.

Lemma 10. Suppose the function f uniformly continuous on limited

convex set Ω , then the function f is limited on it.

THEOREM 1. Suppose $X = X^{**}$. The element $A \in H(K)$ belongs to the circuit $H(0) + K$ then and then only when the support function of the element A is uniformly continuous in the element in the area $W^* \cap \{-K^*\}$.

Let us find out in the finite-dimensional case: when the metric subspace $H(0) + K$ densely in $H(K)$? Here and after $X = R^m$.

Definition 6. The intersection of a finite number of closed half-spaces is called a polyhedron.

Definition 7. The point $x \in A$ is called an extreme point of the set A , if from the multiple $x = \frac{x_1 + x_2}{2}, x_1 \in A, x_2 \in A$ follows that $x_1 = x_2$.

Lemma 11. Suppose Ω is polyhedron from R^m . Then every finite convex, semi continuous from below function is continuous on it.

Lemma 12. Suppose Ω is convex compact from R^m and every limited, convex, semi continuous from below function is continuous on it, then the set Ω is always a polyhedron.

THEOREM 2. Considering space R^m . Metric space $H(0) + K$ is densely in $H(K)$ that is $\overline{H(0) + K} = H(K)$ then, and only then when con K is a polyhedron.

The RESULT (consequence). Closed, convex set A from R^m is approximated by polyhedrons with arbitrary precision then, and only then, when recessive cone K of a set A is a polyhedron and $\rho(A, K) < \infty$.

In the two-dimensional case, the space of unbounded convex closed sets $H(K)$ is simple. In two-dimensional space of any cone is unbounded polyhedron. Therefore, in this case any element of the space $H(K)$ can be approximated by generalized polyhedra. But in the three-dimensional case not every element of the space of unbounded convex sets $H(K)$ is approximated by generalized polyhedra.

Let us give an example of the set $A \in H(K)$ not belonging to the circuit $\overline{H(0) + K}$. Suppose

$$K = \{(x, y, z) | z^2 \geq x^2 + y^2, z \geq 0\} \subset R^3, A = \{(x, y, z) | z \geq x + 1\} \cap K.$$

It is easy to see that the recessive cone of the set A is K and $K^* = K$. Let us show that the support function of the set is discontinuous at the point $\alpha^* = (1, 0, -1)$. We have $s(\alpha^*, A) = -1$ and for any vector b^* not proportional to the vector α^* and taken from the border of the cone $\{-K^*\}$ $s(b^*, A) = 0$.

Remark. The algebraic sum $M + K$, where M is polyhedron from $H(0)$ we will call a generalized polyhedron.

Since in R^m the element A from $H(0)$ always can be approximated by polyhedrons, then theorem 1 in finite-dimensional case will be: the element A from $H(K)$ can be approximated with arbitrary precision by generalized polyhedrons then and only then, when its supporting function is continuous in the cone $\{-K^*\}$.

The results of the paper can be used in the theory of approximation of convex functions defined on all finite-dimensional space.

Список литературы на русском языке / References

1. Иоффе, А.Д. Теория экстремальных задач / А.Д. Иоффе, В.М. Тихомиров. – М.: Наука, 1974. – 450 с.

2. Ажоркин, В.И. К геометрии конусов линейных положительных операторов в пространстве Банаха / В.И. Ажоркин, И.А. Бахтин // Труды центрального зонального объединения математических кафедр. Функциональный анализ и теория функций. – 1971. – Вып. 2. – С. 3–10.

3. Яксубаев, К.Д. О замкнутости алгебраической суммы замкнутых множеств / К.Д. Яксубаев // Доклады академии наук Уз ССР. – 1984. – № 10. – С. 10–11.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ioffe, A. D. Teoriya jekstremal'nyh zadach [Theory of extremal problems] / A.D. Ioffe, V.M. Tikhomirov. – M.: Nauka, 1974. – 450 p. [in Russian]

2. Agorkin, V. I. K geometrii konusov linejnyh polozhitel'nyh operatorov v prostranstve Banaha [The geometry of cones of linear positive operators in Banach space] / V.I. Agorkin, I.A. Bakhtin // rudy central'nogo zonal'nogo ob#edineniya matematicheskikh kafedr. Funkcional'nyj analiz i teoriya funkcij [Proceedings of the Central zonal unions of mathematical departments. Functional analysis and function theory]. – 1971. – V. 2. – P. 3–10. [in Russian]

3. Yaksubaev, K. D. O zamknutosti algebraicheskoy summy zamknytyh mnozhestv [Closed algebraic sums of closed sets] / K.D. Yaksubaev // Reports of the Academy of Sciences of Uz SSR. – 1984. – №. 10. – P. 10–11. [in Russian]

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.59.127>

Кузгибекова Х.¹, Исабаев С.М.², Зиканова Т.А.³,
Жинова Е.В.⁴, Жилина И.М.⁵, Танатарова Р.Т.⁶

¹ORCID: 0000-0001-9671-2341, Кандидат технических наук, доцент,
Филиал Химико-металлургического института им. Ж. Абишева в г. Караганда

²ORCID: 0000-0002-0197-8831, Доктор технических наук, профессор,
Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева в г. Караганда

³ORCID: 0000-0002-5907-8545, Кандидат технических наук,

Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева в г. Караганда

⁴ORCID: 0000-0001-7039-9254, Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева в г. Караганда

⁵ Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева в г. Караганда,

⁶Магистрант, КарГТУ, группа Мет М-16-4 в г. Караганда

Работа выполнена в рамках гранта МОН РК 2124/ГФ4.

ПРОБЛЕМА ЗАХОРОНЕНИЯ МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация

В настоящее время при добыче и переработке мышьяксодержащих руд и концентратов цветных металлов и золота устойчиво сохраняется тенденция вывода мышьяка из технологического процесса в отходы с последующим складированием в виде пульпы и осадков в хвостохранилищах (техногенных озерах) или же в виде твердых продуктов в специально оборудованных отвалах. Это приводит к нарушению динамического равновесия кругооборота мышьяка в природе и заражению соединениями мышьяка регионов размещения этих отвалов. К уже накопленным в предыдущее столетие сотням тысяч тонн токсичных отвальных материалов продолжают поступать все новые массы мышьяксодержащих отходов с действующих производств.

Основная цель проблемы мышьяка в производстве цветных и благородных металлов - минимизация и прекращение вывода мышьяка в отвалы в виде водорастворимых и пылеобразующих высокотоксичных отходов (арсенатов и арсенитов кальция, магния, марганца, сурьмянистых шлаков и др.).

Захоронение отходов мышьяка в виде арсенат-арсенитных соединений кальция, который содержит 12-15% As, требует особенной территории, удаленной от жилых и промышленных объектов, что связано с особыми условиями их транспортировки, крупными затратами на строительство и эксплуатацию.

Устойчивость соединений мышьяка при складировании в отвалах, хвостохранилищах зависит от множества факторов: особенности места захоронения, физического и структурного состояния отходов, контакта с атмосферой, сульфидными материалами, комплексообразователями, поэтому в статье рассмотрены вопросы термодинамического обоснования системы $\text{CaO-As}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ с использованием Eh-pH диаграммы, которая успешно применялась для анализа геохимических процессов и для описания равновесных состояний систем, характерных для гидрометаллургии тяжелых цветных металлов.

Ключевые слова: арсенаты кальция, стабильность мышьяксодержащих отходов, термодинамическое моделирование, диаграмма Пурбэ.

Kuzgibekova Ch.¹, Issabayev S.M.², Zikanova T.A.³,
Zhinoва E.V.⁴, Zhilina I.M.⁵, Tanatarova R.T.⁶

¹ORCID: 0000-0001-9671-2341, PhD in Engineering, Associate Professor,
Chemical Metallurgy Institute named after Abishev in Karaganda

²ORCID: 0000-0002-0197-8831, PhD in Engineering, Professor,
Chemical Metallurgy Institute named after Abishev in Karaganda

³ORCID: 0000-0002-5907-8545, PhD in Engineering, Chemical Metallurgy Institute named after Abishev in Karaganda

⁴ORCID: 0000-0001-7039-9254, Chemical Metallurgy Institute named after Abishev in Karaganda

⁵Chemical Metallurgy Institute named after Abishev in Karaganda,⁶Postgraduate student, KSTU, Group Met M-16-4 in Karaganda

Work is performed within a grant of the MES RK 2124/ГФ4

PROBLEM OF DISPOSAL OF ARSENIC-CONTAINING PRODUCTION WASTES OF BASE AND PRECIOUS METALS

Abstract

Currently, at the extraction and processing of arsenic-containing ores and concentrates of nonferrous metals and gold, there is a steady tendency in disposal of arsenic from the technological process into waste with subsequent storage in the form of pulp and sediments in tailings (man-made lakes) or in the form of solid products in specially equipped dumps. This leads to the disruption of the dynamic nature's cycle of arsenic and infection with arsenic compounds at the regions with these heaps. Hundreds of thousands of tons of toxic waste materials that are already accumulated in the previous century continue their growing, receiving new arsenic-containing wastes from existing production facilities. The main goal of the arsenic problem in the production of nonferrous and precious metals is the minimization and cessation of the arsenic output into dumps in the form of water-soluble and dust-forming highly toxic wastes (calcium arsenates and arsenites, magnesium, manganese, antimonial slags, etc.). Dumping of arsenic wastes in the form of arsenate-arsenite calcium compounds, which contains 12-15% of As, requires a special territory remote from residential and industrial facilities, which is associated with special transportation conditions, large construction and operation costs. The stability of arsenic compounds during storage in dumps and tailing dumps depend on numerous factors: the specifics of the dump site, the physical and structural state of the waste, contact with the atmosphere, sulfide materials, complexing agents; therefore, the paper considers the issues of thermodynamic justification of the $\text{CaO-As}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ system with the use of Eh-pH diagram, which was successfully used for the analysis of geochemical processes and for description of the equilibrium states of systems specific for hydrometallurgy of heavy nonferrous metals.

Keywords: calcium arsenates, stability of arsenic-containing wastes, thermodynamic modeling, Pourbaix diagram.

Мышьяк в виде разнообразных минералов входит в состав большинства руд тяжелых цветных металлов и золота, при обогащении и металлургической переработке концентрируется в хвостах, промежуточных и отвалных продуктах, сточных водах.

Мировая тенденция рынка и производства меди характеризуется снижением содержания меди в сырье и увеличением доли примесей и наиболее вредной примесью является мышьяк с учетом его экологической опасности для окружающей среды. При пирометаллургической переработке медного сырья большая масса примесей (цинк, свинец, висмут, кадмий, мышьяк и др.) концентрируются в пылях и возгонах плавки, конвертерного передела и анодного рафинирования. На степень возгонки мышьяка при плавке медного сырья значительное влияние оказывают содержание меди в штейне и температура процесса. Пыли плавильных агрегатов направляются в котлы-утилизаторы, где охлаждаются до 350⁰С и поступают в электрофильтры, так принято во всех видах плавки (процесс «Мицубиси», «Норанда», плавка в жидкой ванне, печи взвешенной плавки). Так, например, при плавке сырья на Балхашском медеплавильном заводе АО «Корпорации Казахмыс» по технологии Ванюкова относительное содержание соединений мышьяка в пылях следующее: в котле утилизаторе 30-40% сульфидов мышьяка; 10-12% оксидов мышьяка; 20-25% тиаарсенатов меди; 10-15% тиаарсенатов свинца; 8-10% арсенидов железа; 2-3% арсенатов цветных металлов. Пыли котла утилизатора возвращаются на плавку. Пыли сухих электрофильтров содержат 10-15% сульфидов мышьяка, 45-50% оксидов мышьяка, 5-10% тиаарсенатов меди, 3-5% тиаарсенатов свинца, 3-5% арсенидов железа, 15-20% арсенатов цветных металлов. Таким образом, при применении плавки в жидкой ванне сложного по составу медьсодержащего сырья на данном предприятии удаление мышьяка составило 90%. Тонкие пыли сухих электрофильтров реализуются как товарная продукция на свинцовые предприятия, что способствует увеличению внутри- и межзаводской циркуляции мышьяка.

При конвертировании медного штейна шахтной плавки до 40% мышьяка остается в черновой меди, 20% переходит в конвертерный шлак, остальное количество - в пыль. В процессе огневого рафинирования на 12% переходит в шлак, а подавляющее большинство остается в анодной меди.

При конвертировании штейна взвешенной плавки мышьяк распределяется следующим образом: в шлак - 50%, в черновую медь - 15%, в пыль - 26%, в анодной меди концентрируется до 75% мышьяка.

При конвертировании штейна, полученного электроплавкой, картина распределения мышьяка следующая: в черновой меди - 6-7%, в конвертерный оборотный шлак - 8-10%, в пыли - 15-18%.

При конвертерном переделе медного штейна, полученного плавкой в жидкой ванне, получено следующее распределение: в черновую медь переходит 20% мышьяка, в шлаки - 25%, в пыли - 55% мышьяка. Кроме того, в конвертерные пыли переходят, свинец до 50%, кадмий до 1%, до 0,9% висмут, а пыли казахстанских предприятий обогащены рением до 100 г/т [1, С. 3-240].

Мышьяк в золотосодержащих рудах представлен чаще всего в виде сульфидного минерала - арсенопирита FeAsS , с которым тесно ассоциировано золото и при наличии повышенного содержания углерода концентраты не поддаются прямому цианированию, их направляют на медеплавильные заводы как флюсующие материалы. Количество такого сырья ежегодно возрастает, и в этом случае мышьяк распределяется между продуктами медеплавильного производства штейнами, шлаками, пылями, черновым металлом и др. С целью вскрытия материала для дальнейшего извлечения золота и удаления мышьяка широко используется окислительный обжиг с применением различных вариантов агрегатов, в последние годы получили развитие автоклавные и биологические методы. При окислительном обжиге мышьяк отгоняется в виде триоксида с дальнейшим переводом в арсенат кальция. При автоклавном способе и биовыщелачивании упорных золотомышьяковистых концентратов мышьяк переводится в форму сложных солей мышьяковой кислоты, относящихся к типу сульфоскородита [2, С. 66].

Минимизация и прекращение вывода мышьяка в отвалы в виде водорастворимых и пылеобразующих высокотоксичных отходов (арсенатов и арсенитов кальция, магния, марганца, сурьмянистых шлаков и др.) - основная цель проблемы мышьяка в производстве цветных и благородных металлов.

Авторы работы [3, С. 27] при критическом анализе материалов по потенциальной стабильности мышьяксодержащих отходов в условиях гидрометаллургической практики пришли к следующим выводам:

- в обычном промышленном процессе при удалении мышьяка из растворов осаждением в виде арсената кальция получаемый твердый продукт не является стабильным и разрушается при длительном хранении в стационарных хранилищах, поскольку содержащийся в окружающей среде диоксид углерода превращает арсенат кальция в карбонаты, а освободившийся при этом мышьяк поступает в окружающую среду. Захоронение отходов мышьяка в виде арсената кальция, который содержит 12-15% As, требует особенной территории, удаленной от жилых и промышленных объектов, что связано с особыми условиями их транспортировки, крупными затратами на строительство и эксплуатацию;

- маловероятна долговременная стабильность осажденного твердого арсената, содержащего трехвалентное железо, поскольку предполагается, что осаждение мышьяка в виде вещества, содержащего железо (III), происходит в результате адсорбции, а не в виде соединения арсената железа. В последнее время в среде технологов стало преобладать мнение, что наиболее надежной и устойчивой формой захоронения или складирования мышьяксодержащих материалов являются скородит и его комплексные соли (арсенат-ярозитные, железоарсенатные оксо- и гидроксо соединения и т.п.), и это нашло применение на практике.

На открытых площадках Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината и Чимкентского свинцового завода по данным работы [4, С. 3-182] к 1990 году накопилось 220 и 30 тыс. тонн мышьяковых отходов в виде арсенат-арсенитных кеков, растворимость которых в воде достигает 130 мг/л. Количество мышьяксодержащих отходов стало возрастать после ввода в эксплуатацию медного завода в Усть-Каменогорске, основное количество пыли этого предприятия поступает на участок переработки с выводом мышьяка в виде скородита, и размещают на картах очистных сооружений.

Особенности ситуации с мышьяком в России таковы по данным работы [5, С. 44]: ежегодно выбросы мышьяка составляют 1500-2000т, помимо этого опасность представляет техногенный мышьяк в виде его соединений в хвостохранилищах обогатительных фабрик и отходах металлургического производства. В полигонах новосибирский оловянного комбината складывается около 6 тыс.м³ арсенатных кеков.

В свете этих нерешенных вопросов проблема миграции мышьяка из отвальных отходов производства цветных металлов и золота является актуальной задачей, поэтому практический интерес представляют исследования физико-химических закономерностей поведения арсенатов кальция, в виде которых выводится мышьяк из технологических циклов.

При контакте массива мышьяковых отвалов с внешней средой в нем происходят химические взаимодействия в зависимости от температуры, pH среды и электродного потенциала Eh. Определение методом термодинамического анализа на основании построения диаграммы Пурбэ устойчивых фаз мышьяковых соединений в зависимости от величины окислительно-восстановительного потенциала и pH среды при хранении на открытой площадках арсенатных кеков кальция.

Достаточно интересными для оценки термодинамического равновесия являются диаграммы Eh-pH, которые наглядно изображают области устойчивости и границы сосуществования разнообразных форм и соединений для конкретной системы в зависимости от величин окислительно-восстановительного потенциала и pH среды при фиксированных температуре и активности ионов.

В качестве исходных данных для построения диаграмм необходимы значения энергии Гиббса ΔG_{298}° соединений, для выяснения областей их существования в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала и pH среды.

При расчетах диаграмм E-pH используют общие методы, рекомендованные в работах [6, С. 3-386], [7, С. 94], [8, С. 106].

Окислительно-восстановительные потенциалы рассчитывают из уравнения Нернста (1):

$$E_{298} = E_{298}^{\circ} + RT/nF \cdot \ln(\varphi_{\text{OX}}/\varphi_{\text{Red}}), \quad (1)$$

где E_{298} - потенциал полуэлемента, относительно стандартного электрода, В; E_{298}° - стандартный потенциал полуэлемента, В; F - число Фарадея; T - температура, К; n - число электронов; φ_{OX} и φ_{Red} - произведения активностей веществ, участвующих в реакции в окисленном и восстановленном состояниях.

Стандартные величины полуэлементов вычисляют по уравнению (2):

$$E_{298}^{\circ} = \Delta G_{298}^{\circ} / nF. \quad (2)$$

Значение энергии Гиббса реакций рассчитывается по формуле (3):

$$\Delta G_{298}^{\circ} (\text{p-ции}) = \Delta G_{298}^{\circ} (\text{прод. p-ции}) - \Delta G_{298}^{\circ} (\text{исх. в-в}). \quad (3)$$

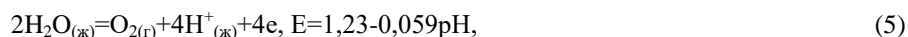
Для реакций, не сопровождаемых изменением валентных состояний, значения pH рассчитываются из соотношения (4):

$$\Delta G_{298}^{\circ} = -RT \ln K. \quad (4)$$

Активности твердых компонентов и воды принимают за единицу. Вместо активностей газообразных компонентов в расчет берут значения их парциальных давлений, при 1 атм общего давления. Значения ΔG^0_{298} берут из справочных данных [9, С. 3-502].

Область устойчивости воды в координатах Е-рН определяется реакциями между водой и кислородом, а полученные соотношения наносятся пунктирными линиями.

Для верхнего предела устойчивости воды, при $P_{O_2} = 1$ атм (5):



т.е. изобары кислорода на диаграмме Е-рН представляют собой параллельные линии с наклоном -0,059 в/рН.

Анализ уравнения (6):



показывает, что парциальное давление водорода при любом заданном P_{O_2} будет постоянной величиной и представляют собой на диаграмме Е-рН форму параллельных линий (7):

$$E = (-0,059/2) \lg P_{H_2} - 0,059pH. \quad (7)$$

Таким образом, крайние верхняя и нижняя прямые линии на диаграмме Е-рН показывают пределы равновесного существования воды, отвечающие соответственно условиям $P_{O_2} = 1$ атм или $P_{H_2} = 1$ атм.

В таблице 1 представлены значения термодинамических функций исследуемых веществ.

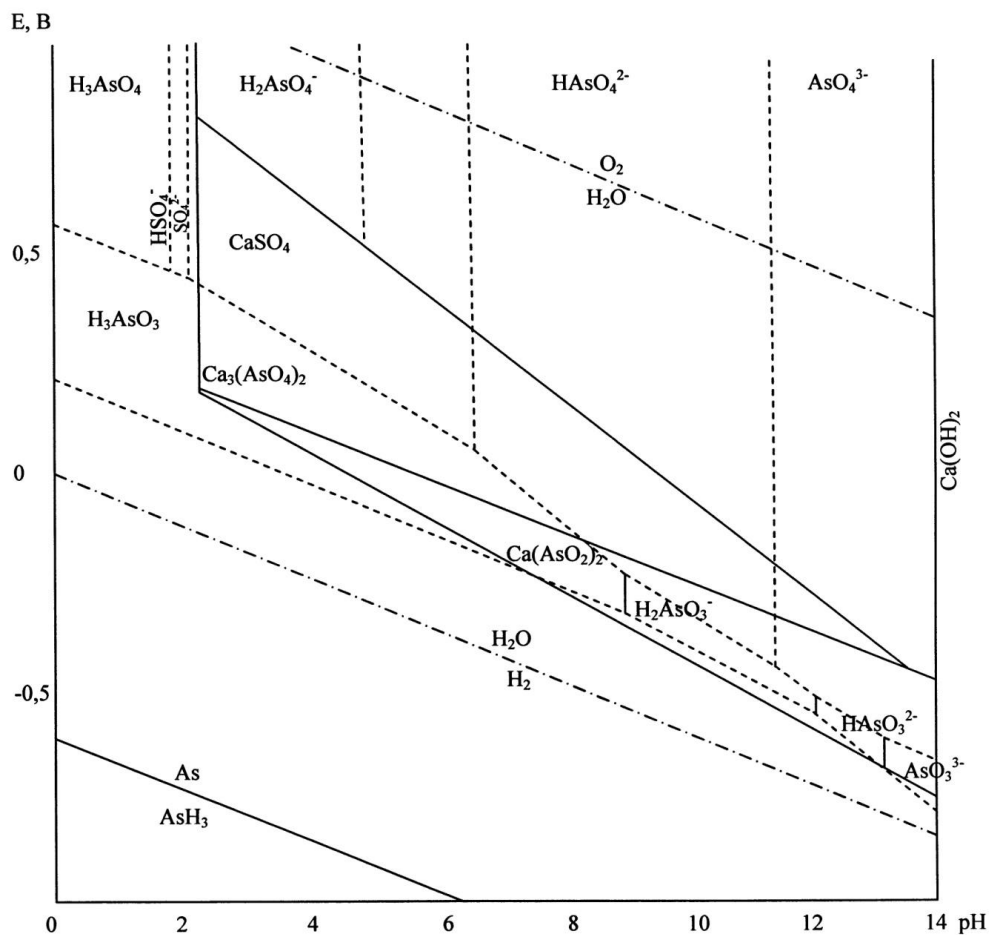
Таблица 1 – Термодинамические функции исследуемых веществ

Молекула, ион	Агрегатное состояние	$-\Delta f H^0_{298}$	$-\Delta f G^0_{298}$	S^0_{298}	Cr_{298}
		кДж/моль моль		Дж/(моль•град)	
1	2	3	4	5	6
H^+	в	0,00	0,00	-	-
H_2	г	0,00	0,00	130,58	28,83
O_2	г	0,00	0,00	205,04	29,87
O_2	в	15,9	-	-	-
OH	в	229,94	157,30	-10,54	-
H_2O	ж	285,84	237,19	69,91	75,30
1	2	3	4	5	6
As	т (кр)	0,00	0,00	35,61	24,69
AsH_3	г	171,54	175,73	222,96	38,58
H_3AsO_4	т(кр)	908,59	750,19	-	-
H_3AsO_4	в	898,72	769,02	206,27	211,85
$H_2AsO_4^-$	в	904,58	748,52	117,15	54,85
$HAsO_4^{2-}$	в	898,72	707,10	3,77	-284,28
AsO_4^{3-}	в	870,27	635,97	-144,77	484,44
AsO^+	в	-	163,60	-	-
$HAsO_3^{2-}$	в	689,57	524,61	-15,07	-279,26
$H_2AsO_3^-$	в	719,82	587,43	110,46	-50,24
AsO_3^{3-}	в	664,24	447,99	186,73	475,62
$Ca_3(AsO_4)_2$	т	3330,0	3102,9	251,0	-
$Ca(AsO_3)_2$	т	388,1	-	359,8	-
CaO	т(кр)	151,79	144,34	9,5	10,24
S	т	-	-	31,76	22,61

Уравнения окислительно-восстановительных реакций, по которым производили расчет диаграммы состояния $CaO-As_2O_5-H_2SO_4-H_2O$, приведены в таблице 2. На рис. 1 приведена диаграмма Пурбе для системы $CaO-As_2O_5-H_2SO_4-H_2O$.

Таблица 2 - Уравнения окислительно-восстановительных реакций для расчета диаграммы состояния CaO-As₂O₅-H₂SO₄-H₂O

Уравнение окислительно-восстановительной реакции	Уравнение электродного потенциала реакции
1	2
1. $2\text{H}_2\text{O}=\text{O}_2+4\text{H}^++4\text{e}$	$E=1.23-0.059\text{pH}$
1	2
2. $\text{H}_2=2\text{H}^++2\text{e}$	$E=-0.059\text{pH}$
3. $\text{H}_3\text{AsO}_3+\text{H}_2\text{O}=\text{H}_3\text{AsO}_4+2\text{H}^++2\text{e}$	$E=0.59-0.059\text{pH}$
4. $\text{H}_3\text{AsO}_4=\text{H}_2\text{AsO}_4^-+\text{H}^+$	$\lg K_p=\lg[\text{H}_2\text{AsO}_4^-]-\lg[\text{H}_3\text{AsO}_4]-\text{pH};$ $\text{pH}=2.19$
5. $\text{H}_2\text{AsO}_4^-=\text{HAsO}_4^{2-}+\text{H}^+$	$\lg K_p=\lg[\text{HAsO}_4^{2-}]-\lg[\text{H}_2\text{AsO}_4^-]-\text{pH};$ $\text{pH}=6.79$
6. $\text{HAsO}_4^{2-}=\text{AsO}_4^{3-}+\text{H}^+$	$\lg K_p=\lg[\text{AsO}_4^{3-}]-\lg[\text{HAsO}_4^{2-}]-\text{pH};$ $\text{pH}=11.51$
7. $\text{AsH}_3=\text{As}+3\text{H}^++3\text{e}$	$E=-0.24-0.059\text{pH}$
8. $\text{As}+3\text{H}_2\text{O}=\text{HAsO}_3^{2-}+5\text{H}^++3\text{e}$	$E=0.647-0.098\text{pH}$
9. $\text{As}+\text{H}_2\text{O}=\text{AsO}_3^{3-}+6\text{H}^++3\text{e}$	$E=0.912-0.118\text{pH}$
10. $\text{As}+3\text{H}_2\text{O}=\text{H}_3\text{AsO}_3+3\text{H}^++3\text{e}$	$E=0.226-0.059\text{pH}$
11. $\text{H}_3\text{AsO}_3=\text{H}_2\text{AsO}_3^-+\text{H}^+$	$\lg K_p=\lg[\text{H}_2\text{AsO}_3^-]-\lg[\text{H}_3\text{AsO}_3]-\text{pH};$ $\text{pH}=9.24$
12. $3\text{Ca}^{2+}+2\text{H}_3\text{AsO}_4=\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2+6\text{H}^+$	$\lg K_p=\lg[\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2]-\lg[\text{H}_3\text{AsO}_4]^2-$ $\lg[\text{Ca}^{2+}]^3\text{pH}; \text{pH}=2.37$
13. $\text{Ca}^{2+}+2\text{As}+4\text{H}_2\text{O}=\text{Ca}(\text{AsO}_2)_2+8\text{H}^++6\text{e}$	$E=0.350-0.0787\text{pH}$
14. $3\text{Ca}(\text{AsO}_2)_2+8\text{H}_2\text{O}=\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2+4\text{H}_3\text{AsO}_4+4\text{H}^++4\text{e}$	$E=0.334-0.059\text{pH}$
15. $\text{S}+4\text{H}_2\text{O}=\text{SO}_4^{2-}+8\text{H}^++6\text{e}$	$E=0.356-0.069\text{pH}$
1	2
16. $\text{Ca}+2\text{H}_2\text{SO}_4=\text{CaSO}_4+4\text{H}^++\text{SO}_2+\text{O}_2+2\text{e}$	$E=1.1299-0.118\text{pH}$
17. $\text{HSO}_4^-=\text{SO}_4^{2-}+\text{H}^+$	$\lg K_p=\lg[\text{SO}_4^{2-}]-\lg[\text{HSO}_4^-]-\text{pH};$ $\text{pH}=1.94$
18. $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2+6\text{H}_2\text{O}=3\text{Ca}(\text{OH})_2+2\text{AsO}_4^{3-}+6\text{H}^+$	$\lg K_p=2\lg[\text{AsO}_4^{3-}]-6\text{pH}; \text{pH}=4.26$

Рис. 1 - Диаграмма Пурбе для системы CaO-As₂O₅-H₂SO₄-H₂O

Из рис. 1 видно, что в окислительной среде при $\text{pH}=0-2$ мышьяк находится в основном в виде мышьяковой кислоты и присутствуют анионы HSO_4^- в пределах электродного потенциала 0,5-2 В. Область существования H_2AsO_4^- приходится на интервал $\text{pH}=2-7$ и потенциале 0,8-2 В. При $\text{pH}=2,19-6,79$ в большом количестве присутствуют ионы H_2AsO_4^- ; при $\text{pH}=6,79-11,51$ - ионы HAsO_4^{2-} ; а выше $\text{pH}=11,51$ - анионы AsO_4^{3-} .

В восстановительной области устойчивы такие соединения мышьяка как AsH_3 , AsO^+ , H_3AsO_3 , а также элементный мышьяк.

В области при $\text{pH}=2,3$ и электронным потенциалом $E=0,35$ наблюдается переход арсенита кальция $\text{Ca}(\text{AsO}_2)_2$ в арсенат $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$, который устойчив в области диаграммы, заключенной в пределах pH 2,2-14 значениях электродного потенциала 0,1-0,6 В. Сульфат кальция устойчиво существует в области $\text{pH}=2,2-14$ и потенциала (0,6)-0,8В. Гидрооксид кальция в области $\text{pH}=14$ и электродном потенциале 0-2 В.

Результаты диаграммы $\text{CaO}-\text{As}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ имеют значение для оценки стабильности арсенатов кальция, в виде которого удаляют мышьяк из технологических растворов производства цветных металлов.

Список литературы / References

1. Медиханов Д.Г. Теория и практика удаления мышьяка при производстве меди / Д.Г. Медиханов, М.К. Алипберганов, С.М. Исабаев и др. - Караганда, 2003. - 240с.
2. Лодейщиков В.В. Биотехнология и выщелачивание золота из золотосодержащих руд / В.В. Лодейщиков // Материалы I Международного симпозиума. - Красноярск: КрГАЦМЗ, 1997. - С. 66.
3. Твидвелл Л.Дж. Удаление мышьяка из сточных вод и стабилизация мышьяксодержащих твердых отходов / Л. Дж. Твидвелл, К.О. Плессас, П.Г. Комба и др. // Цветные металлы. - 1996. - № 9. - С. 27-31.
4. Копылов Н.И. Проблемы мышьяксодержащих отходов / Н.И. Копылов - Новосибирск: Академическое издательство "Гео", 2012. - 182 с.
5. Петров И.М. Выбросы мышьяка металлургическими заводами России и их влияние на состояние окружающей среды / И.М. Петров, И.Ф. Вольфсон, А.И. Петрова // Экологический вестник России. - 2014. - № 12. - С. 44-49.
6. Гаррелс Р.И. Растворы, минералы, равновесия / Р.И. Гаррелс, И.А. Крайст. - Москва: Мир, 1968. - 386 с.
7. Сагындыкова З.Б. Исследование образования силикатов цинка и свинца в системах $\text{Zn}-\text{Si}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}-\text{Si}-\text{H}_2\text{O}$ / З.Б. Сагындыкова, М.И. Жамбеков, А.С. Исабаев и др. // Вестник КарГУ. - 1997. - № 1. - С. 94-100.
8. Жамбеков М.И. E-pH диаграмма системы $\text{As}-\text{H}_2\text{O}$ / М.И. Жамбеков // Вестник КарГУ. - 1997. - № 1. - С. 106-114.
9. Наумов Г.В. Справочник термодинамических величин / Г.В. Наумов, Б.Н. Рыженко, И.Л. Ходаковский. - Москва: Атомиздат, 1970. - 502 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Medihanov D.G. Teorija i praktika udalenija mysh'jaka pri proizvodstve medi [The theory and practice of removal of arsenic by production of copper] / D.G. Medihanov, M.K. Alipbergenov, S.M. Isabaev and others - Karaganda, 2003. - 240s [in Russian].
2. Lodejshnikov V.V. Biotehnologija i vyshhelachivanie zolota iz zolotosoderzhashhih rud [Biotechnology and leaching of gold from gold-bearing ores] / V.V. Lodejshnikov // Materialy I Mezhdunarodnogo simpoziuma [Materials 1 of the International Symposium]. - Krasnojarsk: KrGACMZ, 1997. - S. 66 [in Russian].
3. Tvidvell L.Dzh. Udalenie mysh'jaka iz stochnyh vod i stabilizacija mysh'jaksoderzhashhih tverdyh othodov [Removal of arsenic from sewage and stabilization the arsenic containing of solid waste] / L. Dzh. Tvidvell, K.O. Plessas, P.G. Komba and others // Cvetnye metally [Non-ferrous metals]. - 1996. - № 9. - S. 27-31 [in Russian].
4. Kopylov N.I. Problemy mysh'jaksoderzhashhih otvalov [Problems arsenic containing of dumps] / N.I. Kopylov - Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo "Geo", 2012. - 182 s [in Russian].
5. Petrov I.M. Vybrosoy mysh'jaka metallurgicheskimi zavodami Rossii i ih vlijanie na sostojanie okruzhajushhej sredy [Arsenic emissions by steel works of Russia and their influence on state of environment] / I.M. Petrov, I.F. Vol'fson, A.I. Petrova // Jekologicheskij vestnik Rossii [Ecological bulletin of russia]. - 2014. - № 12. - S. 44-49 [in Russian].
6. Garrels R.I. Rastvory, mineraly, ravnovesija [Solutions, minerals, balances] / R.I. Garrels, I.A. Krajst. - Moskva: Mir, 1968. - 386 s [in Russian].
7. Sagyndykova Z.B. Issledovanie obrazovaniya silikatov cinka i svinca v sistemah $\text{Zn}-\text{Si}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}-\text{Si}-\text{H}_2\text{O}$ [A research of formation of silicates of zinc and lead in the systems $\text{Zn}-\text{Si}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}-\text{Si}-\text{H}_2\text{O}$] / Z.B. Sagyndykova, M.I. Zhambekov, A.S. Isabaev and others // Vestnik KarGu [A bulletin of the Karaganda State University]. - 1997. - № 1. - S. 94-100 [in Russian].
8. Zhambekov M.I. E-rN diagramma sistemy $\text{As}-\text{H}_2\text{O}$ [E-pH diagram of the $\text{As}-\text{H}_2\text{O}$ system] / M.I. Zhambekov // Vestnik KarGu [A bulletin of the Karaganda State University]. - 1997. - № 1. - S. 106-114 [in Russian].
9. Naumov G.V. Spravochnik termodinamicheskikh velichin [Reference book of thermodynamic sizes] / G.V. Naumov, B.N. Ryzhenko, I.L. Hodakovskij. - Moskva: Atomizdat, 1970. - 502 s [in Russian].