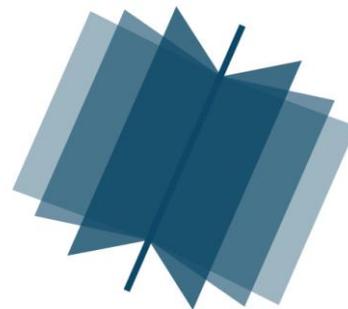


**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

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

**№ 07 (61) 2017
Часть 3
Июль**

Подписано в печать 19.07.2017.
Тираж 900 экз.
Заказ 26193.
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 СС 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: Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Лукьянова М.И. д-р пед. наук, Ходакова Н.П., д-р пед. наук, проф.

Психологические науки: Розенова М.И., д-р психол. наук, проф., Ивков Н.Н. д-р психол. наук, Каменская В.Г., д-р психол. наук, к. биол. наук

Физико-математические науки: Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Свистунов 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: Ураков А.Л., д-р мед. наук, 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, Скачилова С.Я., 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

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ K-MEANS И G-MEANS В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ	6
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИДАРНОГО СКАНИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ И SOFTWARE DEFINED RADIO	9
О МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	13
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ АКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.....	17
ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 110 кВ С ДВУХСТОРОННИМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭКРАНОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПРОКЛАДКИ.....	22
АНАЛИЗ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОДЕЖДЫ СО СЛОЖНОЙ ТОПОГРАФИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	26
ШКАЛА СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ.....	31
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕЛИОТРОПИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	35
ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И РОЛЬ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ УСПЕШНОЙ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ.....	41
РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С БОЛЬШИМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ УЗЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СМЕШАННОЙ ФОРМЕ	45
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СФЕРИЧЕСКИХ СЕГМЕНТОВ ИЗ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ ЦИКЛИРОВАНИИ ЧЕРЕЗ ИНТЕРВАЛ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ	50
РАСПОЗНАВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ФРАКТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ	54
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ	58
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ	61
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ХЛОРИДНЫХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА КОНТАКТНУЮ СЕТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА	65
ВЫБОР МЕТРИК ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ERP СИСТЕМ.....	68
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ С ЖИДКОЙ ФАЗОЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА.....	72
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	79
ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ПРОЧНОСТЬ.....	82
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛИ ПРИ ПРОМЕРЗАНИИ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ	88
АНАЛИЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗРЫВА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.....	91
УСКОРЕНИЕ РАБОТЫ МЕТОДА ВИОЛЫ-ДЖОНСА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ	96
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ	100

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

СТОХАСТИЧЕСКАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕНЫ.....	107
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИСПЕРСИЮ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛЁНКАХ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА.....	112
НАХОЖДЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ОСТОВНЫХ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ДЕРЕВЬЕВ.....	118

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ.....	123
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЕ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ – НИКЕЛЬ – ОЛОВО – НИКЕЛЬ.....	131

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERINGDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.098>**Антропов В.В.**

ORCID: 0000-0002-8019-5164, аспирант,

Санкт-Петербургский Горный университет

**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ K-MEANS И G-MEANS В ЗАДАЧАХ
РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ****Аннотация**

Рассмотрено применение кластеризации семействами алгоритмов k-means и g-means в задачах распознавания воздушных объектов в условиях неполноты и недостоверности данных. Обоснован выбор этих алгоритмов кластеризации. Подчёркнута важность кластеризации в задачах распознавания. Сформирована исследовательская выборка, которая применялась для демонстрации работоспособности кластеризации семействами алгоритмов k-means и g-means. Проведён анализ результатов, полученных в ходе кластеризации. Выявлена перспектива методики прогнозирования в задачах распознавания ВО.

Ключевые слова: воздушные объекты, распознавание, радиолокационное распознавание, кластеризация, кластеризации k-means и g-means.

Antropov V.V.

ORCID: 0000-0002-8019-5164, Postgraduate Student,

St. Petersburg Mining University

APPLICATION OF K-MEANS AND G-MEANS CLUSTERING ALGORITHMS IN OBJECTS RECOGNITION**Abstract**

The application of clustering by families of k-means and g-means algorithms in problems of recognition of airborne objects under the conditions of incompleteness and unreliability of data is considered in the article. The choice of these clustering algorithms is substantiated. The importance of clustering in recognition problems is emphasized. A research sample was created and used to demonstrate the efficiency of clustering by families of k-means and g-means algorithms. The analysis of the results obtained during clustering is carried out. The perspective of the forecasting method in problems of airborne objects recognition is revealed.

Keywords: airborne objects, recognition, radar detection, clustering, k-means and g-means clustering.

В современных реалиях, при значительном возрастании роли авиации, стали возникать проблемы, связанные с контролем воздушной обстановки, при решении задач логистики, безопасности и пр. В связи с этим, остро стоит задача оперативной обработки информации, связанной с распознаванием типов летательных аппаратов, находящихся в воздушном пространстве, и возможных вариантов их действий.

Распознавание воздушных объектов имеет ряд трудностей, такие как неполнота информации, её недостоверность, и пр. Распознавание производится по ряду признаков, в результате чего мы с высокой долей вероятности, либо с полной уверенностью (это зависит от методики распознавания), можем определить принадлежность исследуемого нами воздушного объекта тому или другому типу, или даже можем назвать модель воздушного судна.

Методики распознавания условно можно разделить на визуальные, траекторные и радиолокационные. Наиболее точными являются методики радиолокационного распознавания.

Распознавание воздушных объектов можно разделить на несколько этапов:

- Селекция целей на фоне помех;
- Классификация целей;
- Оповещение целей;
- Оценка состояния и контроль действий целей.

Для реализации распознавания необходимо достаточно точно определить, какие классы воздушных объектов можно определить. Для этого в работе были исследованы алгоритмы кластеризации k-means и g-means.

Кластеризация семействами алгоритмов k-means и g-means обычно используется для решения задач описательной бизнес-аналитики, в частности, для кластеризации (автоматизированной сегментации) объектов. Данный тип кластеризации показал высокую степень надёжности и перспективы дальнейшей высокопроизводительной обработки информации, применить методы прогнозирования, что открывает ещё большие возможности для анализа данных.

Принцип оптимального разбиения множества данных на k кластеров является основной составляющей алгоритма k-means. Пока целевая функция алгоритма разбиения не достигнет экстремума, алгоритм будет пытаться группировать данные по кластерам. Количество кластеров k задаётся аналитиком, исходя из его предпочтений, опирающихся на его интуицию, практический опыт, теоретическую составляющую и пр. Важной составляющей алгоритма является центр кластера – среднее значения переменных объектов, входящих в кластер. Алгоритм состоит из двух этапов.

1. Первоначальное распределение объектов по кластерам. Аналитик задает количество кластеров, по которым будут распределяться объекты из исследовательской выборки. Средство, применяемое аналитиком, произвольным образом выбирает количество объектов из исследуемой выборки равное количеству, заданных аналитиком кластеров, и приравнивает значения центров этих кластеров к значениям выбранных объектов. Таким образом, каждый кластер получит свой начальный центр.

2. Итерационный процесс. Теперь алгоритм высчитывает новые центры кластеров и распределяет по кластерам объекты из исследовательской выборки. Работа алгоритма продолжается до тех пор, пока значения центров кластеров

не перестанут пересчитываться, т.е. пока все объекты из исследовательской выборки не перестанут менять кластер, к которому их отнес алгоритм на предыдущем шаге вычислений.

Случается, что аналитик не имеет возможности назвать точное число кластеров, на которое требуется разбить исследовательскую выборку. В таких случаях применяется алгоритм g-means. Данный алгоритм, последовательно выполняя статистический тест, сам определяет число кластеров в модели. Суть теста состоит в том, что данные внутри каждого кластера подчиняются определенному гауссовскому (Gaussian, отсюда и название алгоритма) закону распределения. Если тест дает отрицательный результат, кластер разбивается на два новых кластера (алгоритмом k-means) с центрами.

Следует обратить внимание, что основой алгоритмов k-means и g-means является гипотеза о компактности, предполагающая, что информацию об объектах из исследовательской выборки, можно представить в виде многомерных векторов, образующих в пространстве своеобразный комок.[2]

Перед работой алгоритма g-means аналитик должен ввести значения исходного набора данных (X) и уровня значимости (α).

1. На первом шаге C инициализируется как множество центров кластеров средними значениями.
2. $C \leftarrow kmeans(C, X)$.
3. $\{x \mid cluster\{x_i\} = j\}$ набор точек для кластера с центром C_j .
4. Следует проверка гипотезы о том, что значения в каждом кластере j распределены по гауссовскому закону с уровнем значимости α .
5. В случае если тест пройден и распределение является нормальным, то следует запомнить кластер. В противном случае заменить C_j двумя центрами.

6. Пока количество центров не перестанет возрастать, данный алгоритм, будет повторяться.

Формула расстояния между векторами признаков x и y выглядит следующим образом:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{100} (x_i - y_i)^2}, \text{ где } z_i - \text{значение значимости.}$$

Теперь находим значимость атрибута по всем кластерам.

1. Вычисляем дисперсию по разбросу между кластерами: $MS_B = \frac{\sum_j (\bar{x}_j - \bar{x}_G)^2 n_j}{k-1}$, где \bar{x}_G - среднее значение

всей исследовательской выборки, \bar{x}_j - среднее значение в кластере, n_j - количество объектов, попавших в кластер j, k - количество кластеров.

2. Вычисляем дисперсию по разбросу внутри кластеров:

$$MS_W = \frac{\sum_{j=0}^{k-1} S_j}{k}, \text{ где } S_j - \text{СКО внутри кластера.}$$

3. Вычисляем значение F-критерия: $F = \frac{MS_B}{MS_W}$.

4. Вычисляется значимость, Используя функцию распределения Фишера, вычисляем значимость:

$$\text{Значимость}(F) = \left[1 - I_{\frac{d_2}{d_2 + d_1 F}} \left(\frac{d_1}{2}, \frac{d_2}{2} \right) \right] \cdot 100\%, \text{ где } d_1 = k - 1, d_2 = n_G - k, I - \text{неполная бета-функция. [1]}$$

Для дальнейших вычислений мы применим средство Data Mining. Оно позволит наглядно продемонстрировать работу алгоритмов кластеризации на примере работы с воздушными объектами.

Вычисленная нами модель может решить задачу классификации. Кластер присваивает метку класса на основе большинства принадлежащих ему примеров. Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2, \text{ где } k - \text{число кластеров, } S_i - \text{полученные кластеры, } i = 1, 2, \dots, k \text{ и } \mu_i - \text{центры масс}$$

векторов $x_j \in S_i$.

При подготовке обучающей выборки для кластеризации следует иметь в виду следующее:

- если задача аналитика - сжато описать имеющиеся данные при помощи кластеров, то выделять тестовую выборку, смысла нет;

- как правило, метрические алгоритмы кластеризации плохо работают с категориальными признаками, измеренными в шкале наименований.

Теперь следует провести нормализацию данных в обучающей выборке. Целью нормализации значений полей является преобразование данных к виду, наиболее подходящему для обработки алгоритмом.

Покажем работоспособность метода на примере информации о воздушных объектах. Для каждого самолёта, кроме его модели, известно шесть характеристик: длина (м), высота (м), площадь крыла (m^2), размах крыла (м), практический потолок (м), максимальная скорость на высоте (км/ч). Самолеты можно разбить на сегменты по этим показателям. После отработки алгоритма k-means получим следующие результаты (рис. 1).

Самолет	Длина,м	Высота,м	Площадь крыла,м ²	Размах крыла,м	Практический потолок,м	Максимальная скорость на высоте,км/ч	Номер кластера	Расстояние до центра кластера
МиГ-29	17,32	4,73	38,06	11,36	18000	2450	0	53,3333524647991
МиГ-35	17,32	4,73	40	12	17500	2560	0	56,6666827369982
Су-27СМ	21,935	5,932	62,04	14,698	18000	2500	0	3,33435349160901
F/A-18E	18,31	4,88	46,45	11,62	15240	1915	1	23,3369985730103
F-35C	15,67	4,48	58,3	13,11	18200	1700	1	238,333637552896
Ту-160	54,1	13,1	232	55,7	22000	2200	1	261,667815078509
Cessna 182	8,8	2,8	16,2	11	5517	278	2	54,6667172023979
Ан-2	12,4	5,35	71,52	5,795	4200	300	2	32,6670277408406
Як-52	7,68	2,7	15	9,3	6000	420	2	87,333374767904
A-320	37,57	11	122,6	34,1	12000	840	3	65,5461764018554
B-2 Spirit	20,9	5,1	460	52,12	15240	1010	3	104,456667675892
B-52H	49,05	12,4	371,6	56,39	16965	957	3	51,4563658571687
Boeing-787-10	68,27	17	325	60,17	13100	956	3	50,4585336265061
Boeing-747-400	70,7	19,4	541,2	64,4	13750	920	3	14,4849375610158
F-117	20,08	3,78	73	13,2	13700	993	3	87,4585568733753
Ил-78	46,54	14,76	300	50,5	11230	830	3	75,5459737916636
Су-28	15,36	5,2	30,1	14,36	7000	950	3	44,4637493509375
Ту-95МС	49,13	13,3	289,9	50,04	10500	830	3	75,54584102494
Ту-154М	47,9	11,4	202	37,55	12100	975	3	69,4547513679763
Як-42	36,38	9,83	150	34,88	9600	700	3	205,545694243105

Рис. 1 – Общий набор после кластеризации алгоритмом k-means

В алгоритме кластеризации g-means у аналитика есть возможность повлиять на результат, используя коэффициент отталкивания, и задать максимальное число кластеров или шагов вручную. Отработав, данный алгоритм выдал результаты, представленные на рис. 2.

Самолет	Длина,м	Высота,м	Площадь крыла,м ²	Размах крыла,м	Практический потолок,м	Максимальная скорость на высоте,км/ч	Номер кластер.	Расстояние до центра кластера
▶ Cessna 182	8,8	2,8	16,2	11	5517	278	2	139,65701232567
Ан-2	12,4	5,35	71,52	5,795	4200	300	2	117,65695756157
Як-52	7,68	2,7	15	9,3	6000	420	2	2,39704049224573
A-320	37,57	11	122,6	34,1	12000	840	1	32,8023424775662
B-2 Spirit	20,9	5,1	460	52,12	15240	1010	1	137,200851286232
B-52H	49,05	12,4	371,6	56,39	16965	957	1	84,2003353368123
Boeing-787-10	68,27	17	325	60,17	13100	956	1	83,2016758326934
Boeing-747-400	70,7	19,4	541,2	64,4	13750	920	1	47,208354426637
F-117	20,08	3,78	73	13,2	13700	993	1	120,202322738618
Ил-78	46,54	14,76	300	50,5	11230	830	1	42,8015672183067
Су-28	15,36	5,2	30,1	14,36	7000	950	1	77,2048056644737
Ту-95МС	49,13	13,3	289,9	50,04	10500	830	1	42,8013378056681
Ту-154М	47,9	11,4	202	37,55	12100	975	1	102,199486889864
Як-42	36,38	9,83	150	34,88	9600	700	1	172,801007265297
F/A-18E	18,31	4,88	46,45	11,62	15240	1915	0	131,829144446515
F-35C	15,67	4,48	58,3	13,11	18200	1700	0	83,1727907976544
МиГ-29	17,32	4,73	38,06	11,36	18000	2450	0	666,828596249269
МиГ-35	17,32	4,73	40	12	17500	2560	0	776,8285653728
Су-27СМ	21,935	5,932	62,04	14,698	18000	2500	0	716,828519793125
Ту-160	54,1	13,1	232	55,7	22000	2200	0	416,829150286382

Рис. 2 – Общий набор после кластеризации алгоритмом g-means

В данной работе были представлены способы кластеризации, которые продемонстрировали интересные результаты, несмотря на то, что количество признаков и объектов в обучающей выборке было крайне мало. Например, в кластеризации g-means получилось разбить воздушные объекты на 3 кластера, которым мы можем дать условные названия, такие как «легкомоторные самолёты», «военные самолёты» и «пассажирские самолёты». Кластеризация k-

means продемонстрировала попытку более чёткой кластеризации. В частности это отразилось на разбиении кластера «военной авиации» ещё два.

Оба способа кластеризации показали правильность их выбора, а также наличие высокого потенциала. Добавление дополнительных признаков для распознавания воздушных объектов (фазовый портрет, спектральный портрет, дальностный портрет и пр.) и информации в обучающую выборку (увеличим количество самолётов, которые будем рассматривать) сделает кластеры более точными, а также откроет перспективу для метода прогнозирования, который поможет нам бороться с такими явлениями, как нечёткость информации, её неопределённость, и даже недостоверностью.

Список литературы / References

1. Deductor. Руководство по алгоритмам. Версия 5.2.0. 1995-2010 Компания BaseGroupTM Labs www.basegroup.ru – 38 с.
2. Лебедев В. В. Информационные технологии бизнес-аналитики. Система подготовки принятия решения Deductor. / В. В. Лебедев, А. И. Дерябин // Учебно-методическое пособие. Кафедра информационных технологий в бизнесе. НИУ ВШЭ ПФб 2011. - 190 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Deductor. Rukovodstvo po algoritmam. Versiya 5.2.0. [Deductor. Algorithm guide. Version 5.2.0] / 1995-2010 Kompaniya BaseGroupTM Labs. www.basegroup.ru [1995-2010 BaseGroupTM Labs Company. www.basegroup.ru]. – 38 P. [in Russian]
2. Lebedev V. V. Informacionnye tehnologii biznes-analitiki. Sistema podgotovki prinyatiya resheniya Deductor [Information technology business intelligence. Decision making system Deductor] / V. V. Lebedev, A. I. Deryabin // Uchebno-metodicheskoe posobie. Kafedra informacionnyh tehnogiy v biznese. NIU VSHE PFb [Teaching aid. Department of Information Technologies in Business]. – 2011. –190 P. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.065>

Бессмельницин С.А.¹, Мамелин Ю.В.², Чепрасова А.С.³, Якуба Д.Ю.⁴

¹ORCID: 0000-0002-8957-5104, Кубанский государственный университет КубГУ,

²ORCID: 0000-0002-0027-2925, Кубанский государственный университет КубГУ,

³ORCID: 0000-0001-8189-2669, Кубанский государственный университет КубГУ,

⁴ORCID: 0000-0002-4305-3378, Кубанский государственный университет КубГУ

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИДАРНОГО СКАНИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ И SOFTWARE DEFINED RADIO

Аннотация

Представлено описание разработки главных частей системы автономной навигации робототехнических комплексов, основным компонентом которого является система лидарного сканирования среды видимым оптическим диапазоном частот, а также программно-определяемая радиосистема (software defined radio). Рассмотрены основные рабочие части устройства и объяснён принцип работы отдельных блоков системы лидарного сканирования. Произведен анализ имеющейся элементной базы, который позволил выявить несколько чипов, на базе которых можно построить локационную систему.

Ключевые слова: автоматизация, робототехника, лидар, ПЗС линейка (прибор с зарядовой связью), software defined radio, оптическая система, спектроскопия, ПЛИС.

Bessmelnitsin S.A.¹, Mamelin Yu.V.², Cheprasova A.S.³, Yakuba D.Yu.⁴

¹ORCID: 0000-0002-8957-5104, Kuban State University KubSU,

²ORCID: 0000-0002-0027-2925, Kuban State University KubSU,

³ORCID: 0000-0001-8189-2669, Kuban State University KubSU,

⁴ORCID: 0000-0002-4305-3378, Kuban State University KubSU

DEVELOPMENT OF SELF-NAVIGATION SYSTEM BASED ON LIDAR LOCATION SCANNING TECHNOLOGIES TECHNOLOGY AND SOFTWARE DEFINED RADIO

Abstract

The article contains the description of the main parts of self-navigation system of robotic complexes, the main component of which is the lidar scanning system of the environment with an optical frequency band, and a software defined radio. The main working parts of the device are examined and the operating principle of the individual units of the lidar scanning system is explained. Analysis of the existing elemental base was carried out. It allowed revealing several chips which enable building a location system.

Keywords: automation, robotics, lidar, CCD ruler (charge-coupled device), software defined radio, optical system, spectroscopy, FPGA.

Сегодня мобильные робототехнические системы применяются в самых различных областях человеческой жизнедеятельности. Заводы нуждаются в различных многофункциональных робототехнических комплексах, а люди активно приобретают роботов для развлечения и удобства в быту. Также робототехнические системы широко применяются в службах спасения и стоят на вооружении множества стран мира.

Хотя робототехнические комплексы уже разрабатываются не одно десятилетие до сих пор основной проблемой всех ныне существующих автономных роботов, которые перемещаются самостоятельно, без управления со стороны человека, остаётся навигация. Яркий пример этому ежегодный конкурс DARPA Robotics Challenge, где роботы не

могут выполнить простой для человека набор действий, открыть дверь, сесть в машину и т.д. Они промахиваются мимо дверных ручек, не различают всех предметов вокруг. Для обеспечения навигации в пространстве бортовому компьютеру робототехнического комплекса необходимо уметь строить оптимальный маршрут, управлять параметрами движения, правильно интерпретировать информацию об окружающей среде получаемую от датчиков, и постоянно отслеживать собственные координаты [1].

Проблемы автономной навигации робототехнических средств сегодня решаются использованием различных устройств радарного сканирования среды, которые позволяют определять их положения в пространстве относительно других объектов, вычислять расстояние до них и предсказывать возможные столкновения с этими объектами. Подобные устройства радарного сканирования производятся такими ведущими компаниями как: Velodyne, SICK AG, RiegI, Нокуюо и др. Однако, ни одна из представленных компаний не может дать рынку устройство, которое обеспечит безопасность робота как на дальней дистанции, так и на ближней, так как устройства каждой компании имеют ряд недостатков: недостаточный угол обзора, высокая стоимость продукта и большие габариты конечного прибора. Все эти недостатки приводят к тому, что для охвата всех мёртвых зон робота приходится использовать до пяти устройств сканирования среды. Это значительно увеличивает стоимость робототехнического устройства. Оптимальным решением представленной проблемы может быть использование совокупности технологий программно-определяемой радиосистемы и технологии лидарного сканирования среды с физическим распараллеливанием каналов обработки информации.

Устройство лидарного сканирования среды с физическим распараллеливанием обработки информации выступает как основной элемент сканирования среды на ближнем и среднем расстоянии относительно робототехнического устройства. В основе работы этого устройства лежит уникальная оптическая система подсветки поверхности (ОСПП), (рис. 1) в которой применяются лазерные диоды различных длин волн и спроектированные специальным образом линзы, что позволяет получить на выходе из оптической системы градиентное излучение, которое позволит получить подробную спектральную характеристику об окружающей среде, определить цвет поверхности, а также позволит повысить точность определения расстояния до поверхности.

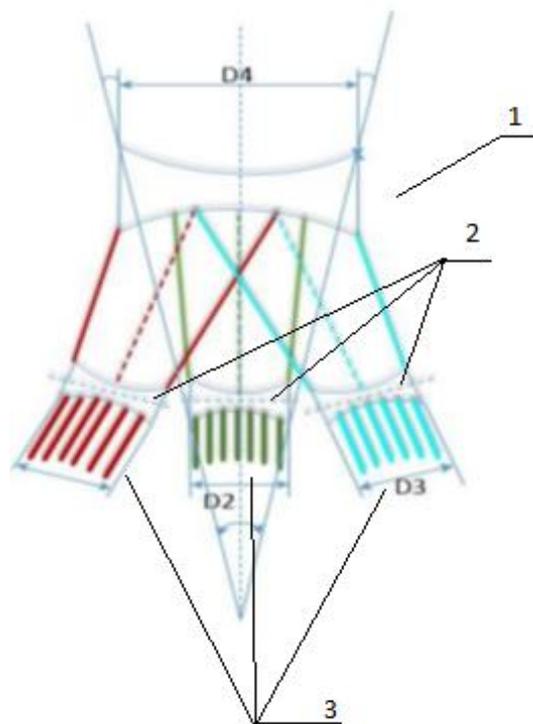


Рис. 1 – Блок схема оптической системы подсветки поверхности

Использование систем оптических линз позволит нам не только сфокусировать три разных излучения в одно, но и получить единое узконаправленное излучение, которое расходится на некоторый небольшой угол. Преимущество такого приема заключается в том, что рассматриваемая поверхность будет подсвечиваться не одной точкой, а пятном, что позволит определять за одно измерение расстояние, сразу до тысячи точек. Основными компонентами данной оптической системы являются линзы рассчитанные так, чтобы на выходе из главной оптической линзы получалось градиентное пятно с расходимостью пучка $0.02^{\circ} \pm 0.005^{\circ}$, а вспомогательные линзы необходимы для того чтобы максимальным образом фокусировать излучение от лазерных диодов.

В качестве основного элемента блока регистрации была выбрана ПЗС линейка (матрица), особенность которой в том, что регистрируемый ей сигнал представлен не напряжением или током, а зарядом.

Спектральные характеристики определяются зависимостью регистрируемой длины волны лазерного излучения от выходного сигнала, что равносильно квантовому выходу [2]. Спектральная характеристика приборов с зарядовой связью определяется умножением таких факторов как: прохождение света в электронную структуру и фотогенерацией.

Фотогенерация вызвана поглощением света непосредственно в полупроводнике (внутренний квантовый выход).

Квантовая эффективность — это и есть квантовый выход светорегистрирующей части приемника, прямопропорционально зависящий от коэффициента преобразования заряда фотоэлектрона. В силу того, что этот коэффициент всегда меньше единицы, то и квантовая эффективность меньше квантового выхода. Особенно велико это различие для приборов с низкоэффективной системой регистрации сигнала.

Квантовая эффективность современных ПЗС-матриц много выше всех своих конкурентов. Если сравнить с человеческим зрачком, то из ста фотонов попадающих на него, сетчаткой воспринимается только один (квантовый выход равен 1%), квантовая эффективность наилучших фотоэмульсий равна 2-3%, электровакуумные приборы (например, фотоумножители) могут достигать показателей до 20%, у некоторых приборов с зарядовой связью этот параметр достигает 95%, а у большинства этот параметр составляет от 4% до 50%. Кроме того, ширина диапазона длин волн, на которые реагирует глаз, гораздо меньше, чем у ПЗС. ПЗС матрицы реагируют на свет с длиной волн от единиц ангстрем (гамма и рентгеновское излучение) до 1100 нм (ИК-излучение). Это огромный диапазон, который намного больше спектрального диапазона любого другого детектора, используемого в настоящее время (рис. 2).

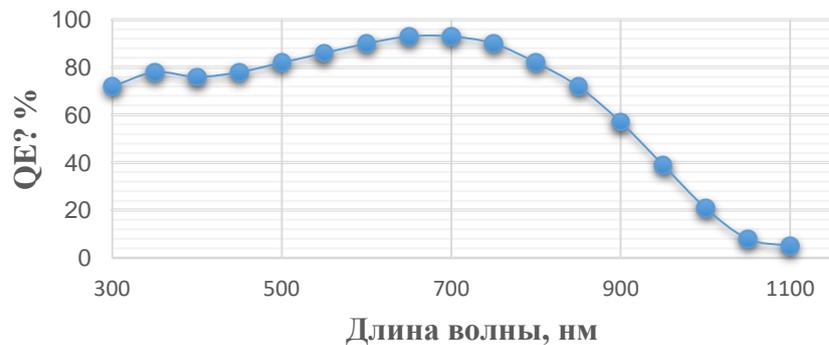


Рис. 2 – Пример квантовой эффективности ПЗС-матрицы

Другим преимуществом использования ПЗС матриц является их спектральная чувствительность, которая примерно совпадает с человеческим глазом (рис. 3).

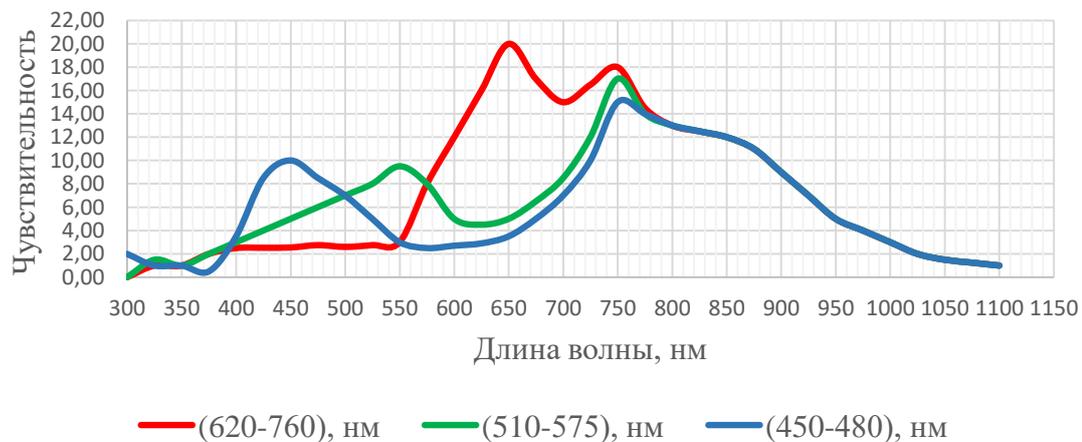


Рис. 3 – Пример спектральной чувствительности цветной ПЗС-матрицы с RGB стандартными полосами

Главной отличительной характеристикой ПЗС является свойство самосканирования. Суть данного свойства состоит в том, что для управления цепочкой затворов любой длины достаточно всего трёх проводников, по которым передаётся смещённое по фазе напряжение. Задачи этих трех проводников следующие: один – передающий, второй – принимающий и третий – изолирующий. Изолирующий предназначен для того чтобы разделять пары принимающих или передающих друг от друга, причём одноимённые электроды таких троек могут быть соединены друг с другом в единую тактовую шину, требующую всего одного внешнего вывода.

На основе этих знаний можно сказать, что использование ПЗС линейки или матрицы позволит собрать сканирующее устройство окружающей местности, которое будет способно реагировать на изменения со скоростью выше 3 нс, также становится очевиден тот факт, что использование ПЗС линейки позволит определять цвет и рельеф поверхности. Стоит вопрос только в том, чтобы разработать такой аналогово-цифровой преобразователь, который позволит осуществлять приём информации об окружающем пространстве не увеличивая задержку.

Также остается открытым вопрос о том, как закрыть мертвые зоны представленного устройства. Которые находятся непосредственно под роботом, с его боков и конечно на дальнем расстоянии где действие лидара уже имеет свой и высока вероятность получения ошибки вычислений.

С этой задачей позволит справиться программно-определяемая радиосистема. В классическом представлении программно-определяемая радиосистема (Software Defined Radio, SDR) представляет собой центральный процессор (или протокольный процессор, ПП), оснащенный приемным и передающим блоками. Программно-определяемые

радиосистемы могут быть реализованы как на вычислительных средствах общего назначения, так и на современных программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), что позволяет создавать радиосистемы на кристалле. При этом за пределы ПЛИС выносятся радиоинтерфейсы, а также АЦП и ЦАП. Применение ПЛИС не приводит к снижению гибкости системы, поскольку ПЛИС могут быть в любой момент полностью или частично перепрограммированы.

В качестве элементной базы, рассматривались несколько чипов стоимостью до 50\$:

1. Elonics E4000 диапазон рабочих частот: 52 – 2200 МГц
2. Rafael Micro R820T диапазон рабочих частот: 24 – 1766 МГц
3. Fitipower FC0013 диапазон рабочих частот: 22 – 1100 МГц
4. Fitipower FC0012 диапазон рабочих частот: 22 – 948.6 МГц
5. FCI FC2580 диапазон рабочих частот, 146 – 308 МГц и 438 – 924 МГц

Данные чипы рассматривались так как используемая нами система SDR работает в пассивном режиме, отсюда следует, что главной характеристикой чипов для данной цели будет большой диапазон принимаемых частот.

Очевидно, что Elonics E4000 и Rafael Micro R820, имеют самый большой диапазон частот, с которыми могут работать, поэтому они были выбраны для дальнейшей работы. Исследование чипов проводилось непосредственно экспериментальным путем. В процессе исследований, было выяснено, что Elonics E4000 имеет проблемы с надежностью. Из трех исследованных чипов, два вышли из строя на этапе первичной настройки. Также были выявлены некоторые трудности с возможностью аппаратной синхронизации этих чипов, и поэтому было решено отказаться от их использования, в пользу Rafael Micro R820.

Проведя исследование возможностей выбранной ПЗС, обозначились основные требования к источнику сканирующего сигнала:

1. Знание точной частоты вещания передатчика
2. Достаточная мощность источника
3. Максимальная зона покрытия

Изучив доступный диапазон частот (24 – 1766 МГц), был сделан вывод, что лучше всего под заданные условия подходит GSM и TV-FM сигнал. При дальнейшем изучении, выяснилось, что TV-FM сигнал имеет ряд преимуществ перед GSM сигналом и предпочтительнее в использовании. Так как информация о частотах вещания находится в общем доступе, что позволяет точно настроиться, мощность сигнала достаточно высокая, а также зона покрытия больше чем у GSM, что позволяет использовать его для построения радарограмм пространства. А совместное использование с системой лидарного сканирования местности позволит получать полноценную картину окружающего мира с возможностью построения оптимального маршрута до цели и маневрирования среды движущихся препятствий.

Таким образом при разработке отдельных частей системы сканирования окружающей среды было выявлено, что подсветка поверхности может осуществляться лазерным излучением видимого диапазона частот, но при условии, что энергия такого излучения без вреда живым организмам не должна превышать 22 мк Дж, чего недостаточно для работы лидара в диапазоне ста метров вокруг своей оси при том условии, что фотоприёмником является ПЗС линейка или матрица. Но вполне достаточно чтобы получать информацию об окружающей среде с высоким разрешением в диапазоне тридцати метров.

Разработана оптическая система, которая позволяет получить на выходе из оптической системы не три разрозненных луча, а градиентное излучение, которое объединяет в себе длины волн всех используемых лазерных диодов. Применение этого излучения в работе представленного устройства играет большую роль. По той причине, что предложенные алгоритмы определения расстояния были бы неэффективны в силу хаотичного отражения луча от криволинейной поверхности. Так как излучение подсвечивающее поверхность градиентно и в разных точках относительно центра излучения имеет разный набор длин волн и интенсивности позволяет нам разбить его на сегменты. И сравнивая энергию зарегистрированного излучения на ПЗС и исходных данных определяем с точностью 90% какой сегмент нашего излучения каким пикселем линейки был зарегистрирован.

Было выявлено что, для регистрации отражённого излучения с небольшой энергией вполне подходит использование приборов с зарядовой связью, более того квантовая эффективность этих устройств выше чем у многих других аналогичных датчиков.

Список литературы / References

1. Головастов А. Машинное зрение и цифровая обработка изображений / А. Головастов // Современные технологии автоматизации, Москва, СТА-ПРЕСС 2010, Аппаратные средства. – 2010. – №4. С. 8.
2. Параскевов А.В., Левченко А.В. Современная робототехника в россии: реалии и перспективы (обзор) / А.В. Параскевов, А.В. Левченко // Научный журнал КубГАУ. Физика. Робототехника. – 2014. – №104. – с. 10.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Golovastov A. Mashinnoe zrenie i cifrovaja obrabotka izobrazhenij [Machine vision and digital image processing] / A. Golovastov // Sovremennyye tehnologii avtomatizacii, Moskva, STA-PRESS 2010, Apparatnyye sredstva [Modern automation technologies, Moscow, STA-PRESS 2010, Hardware.] – 2010. – №4. P. 8. [in Russian]
2. Paraskevov A.V., Levchenko A.V. Sovremennaja robototekhnika v rossii: realii i perspektivy (obzor) [Modern robotics in Russia: realities and prospects (overview)] / A.V. Paraskevov, A.V. Levchenko // Nauchnyj zhurnal KubGAU. Fizika. Robototekhnika. [Scientific journal of KubSU. Physics. Robotics] – 2014. – №104. – p. 10. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.076>

Бурханова Р.А.¹, Киво А.М.², Маринин Н.А.³

¹Кандидат технических наук,

Волгоградский государственный технический университет

²Кандидат технических наук,

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

³Кандидат технических наук,

Нижне-Волжский филиал АО «Ростехинвентаризация – Федеральное БТИ»

О МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация

В статье представлена методика оценки технологического оборудования как источника пылевых выделений, адаптированная для сферы асбестоцементных производств. Пример определения герметичности технологического оборудования и расчета объема пылевых выбросов в заготовительном цеху ОАО «Себряковский комбинат асбестоцементных изделий» позволил выявить источники наибольших пылевых выделений, оценить качество функционирования применяемых средств очистки воздуха рабочей зоны, уровень превышения предельно допустимой концентрации вредных веществ.

Ключевые слова: асбестоцементная пыль, технологическое оборудование, загрязнение окружающей среды, герметичность оборудования, масса выбиваемой пыли, источник пылевых выделений.

Burkhanova R.A.¹, Kivo A.M.², Marinin N.A.³

¹PhD in Engineering,

Volgograd State Technical University,

²PhD in Engineering,

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),

³PhD in Engineering,

Lower Volga Branch of “Rostechinventory - Federal Recorder of Deeds”

ON METHODOLOGY OF DUST EVALUATION FROM TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AT ENTERPRISES MANUFACTURING ASBESTOS-CEMENT PRODUCTS

Abstract

The article presents a technique for evaluating technological equipment as a source of dust emissions adapted for asbestos-cement production. An example of the air-tightness determination of the process equipment and the calculation of the amount of dust emissions at the blank production shop of the Public Corporation “Sebryakovsky Combine of Asbestos-Cement Products” enabled the identification of the sources of the largest dust emissions, assessing the quality of functioning of the air purification facilities of the working area, as well as the level of exceeding the maximum permissible concentration of harmful agents.

Keywords: asbestos-cement dust, process equipment, environmental pollution, air-tightness of equipment, the mass of emitted dust, the source of dust emission.

В сфере асбестоцементных производств наблюдается значительное образование мелкодисперсной пыли. При этом для борьбы с пылевым фактором применяют технологии механической очистки, за счет осаждения частиц под действием внешних сил и очистки при помощи фильтров, за счет задерживания частиц в фильтрующем материале. В соответствии с особенностями строения волокон асбеста, а также спецификой производства наиболее мелкие фракции, с диаметром частиц менее 10 мкм и менее 2,5 мкм не могут быть уловлены. Концентрация асбестоцементной пыли в воздухе рабочей зоны на ряде предприятий превышает значение предельно допустимой в 5 раз, а концентрация на границе санитарно-защитной зоны предприятия имеет двукратное превышение нормативов [1, С. 256-261].

Чтобы разработать комплекс долговременных решений по проблеме защиты от пылевых выбросов на рабочих местах, кроме исследований процессов пыления, необходимо проводить их оценку.

Для получения объективных и достоверных результатов проведенных испытаний, авторами были осуществлены подготовительные работы. При этом особую значимость имело определение основных мест пыления, возникающих при работе технологического оборудования. Анализ технологического оборудования в заготовительном цеху ОАО «Себряковский комбинат асбестоцементных изделий» (СКАИ, г. Михайловка, Волгоградская обл.) позволил определить главные источники пылевых выделений: места растаривания асбеста, станки для выпиливания шифера, дозаторы закачки асбеста, элеваторы, конвейерные бегуны.

Предварительные замеры запыленности, проведенные по стандартным методикам [2], [3], у каждой единицы технологического оборудования показали, что участок в рабочей зоне возле бегунов узла пересыпки подвержен наибольшему пылевых выделению.

Чтобы рассчитать величину воздухообмена и разработать эффективные меры по борьбе с выделяющимися вредными веществами, важно определить количество пыли, поступающей в воздух рабочей зоны от технологического оборудования $M_{\text{г}}$.

В соответствии с методикой, разработанной М.П. Калинушкиным, масса пыли, поступающей от источника пыления, рассчитывается как сумма отдельных масс пыли, осевшей на различных участках пола [4, С. 183 – 185]:

$$M_{mo} = (\bar{G}_1 F_1 + \bar{G}_2 F_2 + \bar{G}_3 F_3 + \dots + \bar{G}_n F_n) = \sum_{i=1}^n \bar{G}_i F_i, \quad \text{кг/ч} \quad (1)$$

где $\bar{G}_1, \bar{G}_2, \bar{G}_3, \bar{G}_n$ – плотность пылеоседания на каждом участке поверхности; F_i – площадь участка поверхности оседания, м²; $i = 1 \dots n$ – количество участков поверхности оседания пыли.

В.Н. Азаров и Е.И. Богуславский, [5, С. 48 – 49], предложили определять количество пыли, выбивающейся из технологического оборудования в следующем виде:

$$M_{mo} = \sum_{i=1}^n \frac{\pi \varphi}{360} \frac{\bar{G}_{\max i}}{x_i} \left[\frac{2}{a_i^3} + \left(\frac{x_i^2}{a_k} + \frac{2(x_k - \Delta_i)}{a_k^2} + \frac{2}{a_k^3} \right) \exp(-a_i x_i) \right], \quad (2)$$

где φ – участок, на который выделяются загрязняющие вещества, град; a – показатель интенсивности пылеоседания; X_K – отрезок от точки замера интенсивности пылеоседания до источника выброса пыли, м; \bar{G}_{\max} – интенсивность оседания частиц пыли непосредственно у источника, г/(м²ч); Δ_i – отрезок между первым и последующим источником пыления, м.

Направление движения пыли является определяющим для расчета интенсивности пылеоседания на горизонтальную поверхность. Его можно определить путем расстановки тарелочек-ловушек через каждые 2 м от загрязняющего источника по кругу. Такие ловушки готовятся для проведения исследования в лабораторных условиях. Их внутренняя поверхность покрывается тонким слоем несохнущих масел. Они взвешиваются и нумеруются. Далее ловушки расставляют на расстоянии от источника пыления по длине окружности через угол $\pi/4$. Схемы размещения ловушек показаны на рис. 1 и 2. Она определяется с учетом специфики конкретного производства. Осевшая в каждой из тарелочек пыль взвешивается, и определяется интенсивность распределения пылеоседания. Конкретный метод дает возможность с инженерной точностью определять количество выбивающейся пыли. При этом, величина плотности пыли принимает значения от 0,1 до 100 г/(м²ч).

Когда результаты получены, возникает необходимость определения максимальных и минимальных значений плотности пылеоседания – G_{\min} и G_{\max} соответственно. Для того, чтобы найти среднюю линию для зоны пылеоседания фиксированного источника пыления, проводят ее через значения G_{\min} и G_{\max} . Площадь оседания пыли разделяют на секторы, а именно получают два сектора с наибольшим и наименьшим оседанием. В них размещают не менее трех дуг. На них располагается по 3 ловушки. Длительность проведения эксперимента (τ) составляет 3 часа, площадь каждой тарелочки (F) составляет 0,003768 м².

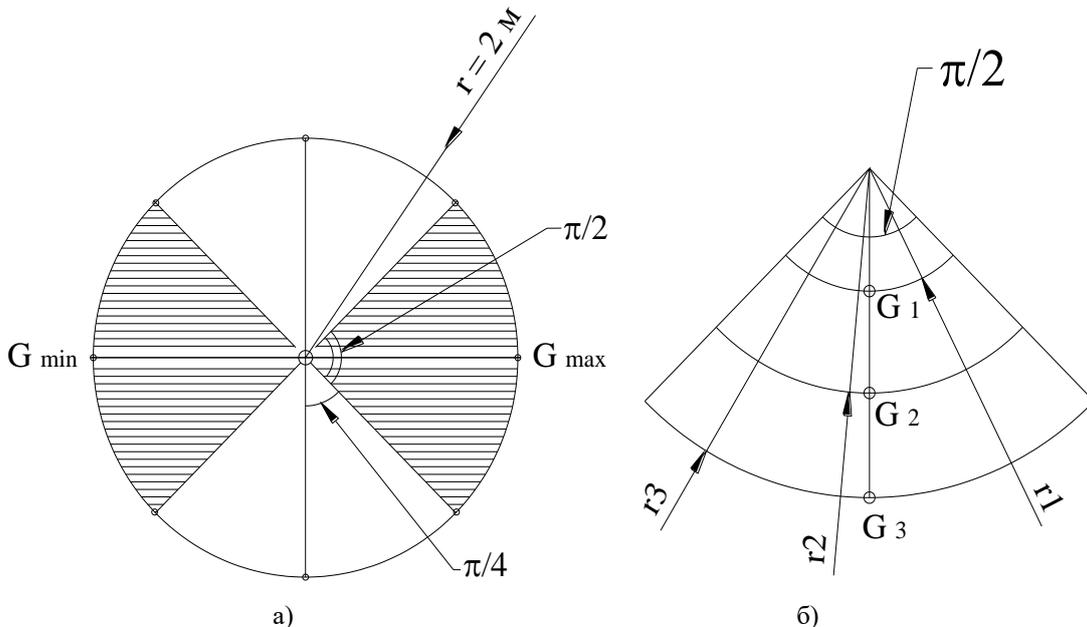


Рис. 1 – Схема расположения тарелочек-ловушек: а – первичный замер; б – основной замер

Полученная в результате эксперимента пыль взвешивается для того, чтобы определить среднюю плотность распространения пылеоседания:

$$G_o = \frac{G}{F \cdot \tau}, \quad \text{кг/(м}^2\text{ч)}, \quad (3)$$

где G – масса пыли, уловленной тарелочкой, кг; F – площадь тарелочки - ловушки, м²; τ – время пылеоседания, ч.

В таблице 1 представлены результаты замеров средней плотности пылеоседания в заготовительном цеху ОАО СКАИ.

Изменение плотности пылеоседания G_0 на удалении X от источника загрязнения можно определить:

$$G_1 = G_{max} \cdot e^{-ax}, \quad (4)$$

где a - параметр, описывающий скорость потока воздуха, 1/м.

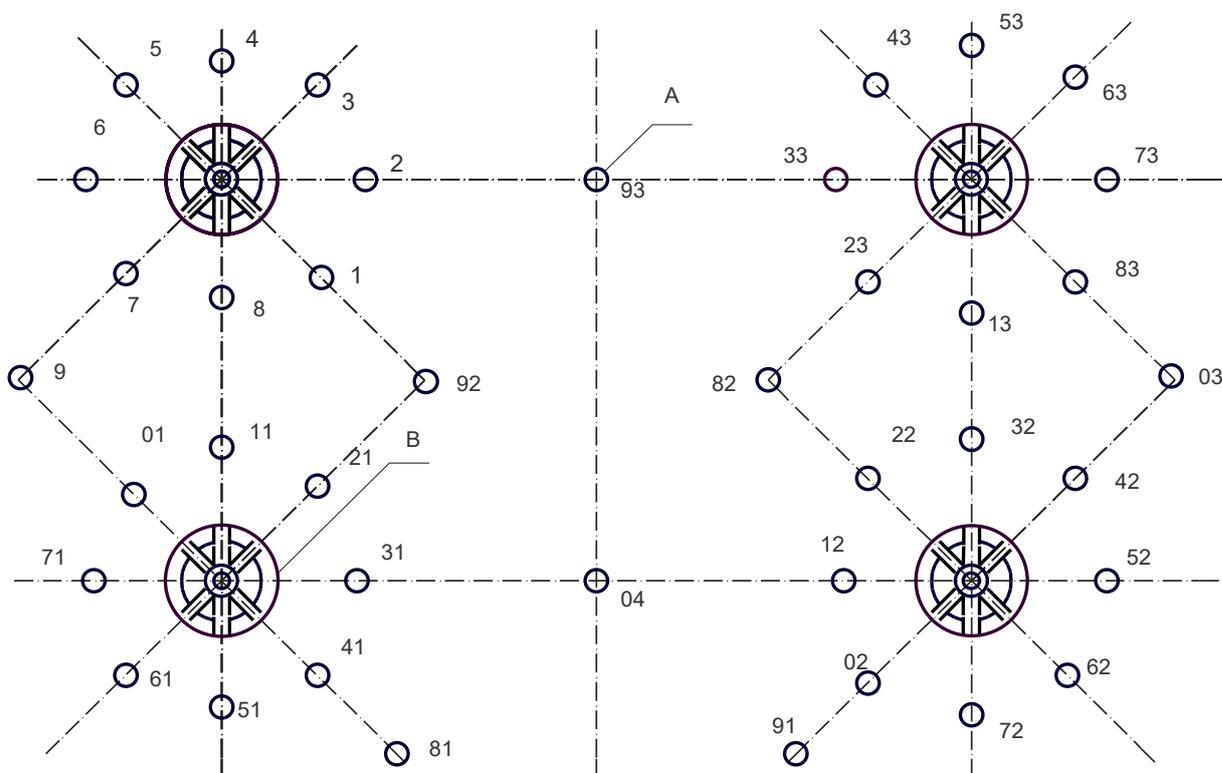


Рис. 2 – Схема расположения тарелочек-ловушек у узла пересыпки асбеста

На рис.2 обозначены: 1-40 – номера тарелочек-ловушек; А – тарелочки-ловушки; В – узел пересыпки асбеста.

Таблица 1 – Результаты замеров средней плотности пылеоседания в заготовительном цеху завода

№ тарел.	Привес, г.	Средняя плотность распространения пылеоседания G_0 , кг/(м ² ч).	№ тарел.	Привес, г.	Средняя плотность распространения пылеоседания G_0 , кг/(м ² ч).
1	0,1695	0,044984	21	0,1537	0,040791
2	0,1884	0,050000	22	0,1052	0,027919
3	0,0836	0,022187	23	0,1362	0,036146
4	0,0092	0,002442	24	0,1069	0,02837
5	0,0503	0,013349	25	0,0251	0,006661
6	0,0063	0,001672	26	0,0087	0,002309
7	0,0074	0,001964	27	0,0072	0,001911
8	0,0675	0,017914	28	0,0581	0,015419
9	0,0056	0,001486	29	0,0241	0,006396
10	0,0081	0,002150	30	0,0159	0,004220
11	0,0635	0,016852	31	0,1153	0,030600
12	0,0572	0,01518	32	0,1764	0,046815
13	0,0099	0,002627	33	0,1284	0,034076
14	0,0075	0,00199	34	0,0178	0,004724
15	0,0064	0,001699	35	0,0141	0,003742
16	0,0053	0,001407	36	0,0172	0,004565
17	0,0076	0,002017	37	0,0310	0,008227
18	0,0034	0,000902	38	0,0243	0,006449
19	0,0053	0,001407	39	0,0526	0,013960
20	0,0162	0,004299	40	0,0290	0,007696

Воспользовавшись системой уравнений и преобразований находим параметр a для полидисперсной пыли асбестоцемента. Примем расстояние j от i -го источника пылевыведений $j_1 = 1,5$ м, $j_2 = 3$ м, $j_3 = 4,5$ м, тогда:

$$\left\{ \begin{array}{l} a = \frac{1}{3-1,5} \cdot \ln \frac{45,6}{12,3} = 0,87 \\ a = \frac{1}{4,5-1,5} \cdot \ln \frac{45,6}{5,2} = 0,72 \\ a = \frac{1}{4,5-3,0} \cdot \ln \frac{12,3}{5,2} = 0,57 \end{array} \right. ; \quad \left\{ \begin{array}{l} G_{\max 11} = 45,6 \cdot e^{+0,72 \cdot 1,5} = 134,3 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \\ G_{\max 12} = 12,3 \cdot e^{+0,72 \cdot 3} = 106,7 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \\ G_{\max 13} = 5,2 \cdot e^{+0,72 \cdot 4,5} = 132,8 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \end{array} \right. ;$$

$$a_{cp} = \frac{0,87 + 0,72 + 0,57}{3} = 0,72$$

Авторами получено, что величина плотности пылеоседания принимает максимальные значения в заготовительном цеху при влиянии двух соседних источников и вычисляется согласно формуле:

$$G_{\max cp} = \frac{134,3 + 106,7 + 132,8}{3} = 124,6 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}). \quad (5)$$

Чтобы найти суммарную величину пылевыделений от рассматриваемого сектора источника определяют параметры \bar{G}^{\max} , a , x_k и рассчитывают M_{mo} . Для узла пересыпки асбеста $M_{mo} = 2,6$ кг/ч. Пылеоседание от конкретного источника пыления может быть найдено в результате удвоения суммы средних показателей оседания пыли в секторах с наибольшим и наименьшим выпадением пыли.

Показатель M_{cp} вычисляем отдельно для каждого вида оборудования. Обозначим количество оборудования определенного типа – n_i , тогда общую массу пыли от производственного оборудования M_i , можно определить:

$$M_{Ti} = \sum_{i=1}^n M_{cpi} \cdot n \quad (6)$$

а общую массу пыли, вследствие неполной герметичности оборудования:

$$M_T = \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^k M_{cpi} \quad (7)$$

где n – количество единиц данного типа оборудования; k – общее количество видов источников пылевыделения.

Так как количество пыли, уносимой вентиляционными и аспирационными системами (M_1), и количество пыли, уносимой через проемы помещения (M_2), в уравнении (8) составят только 0,05-0,1 от суммарной величины пылевыделений в цех (M):

$$M = M_1 + M_2 + M_T \quad (8)$$

тогда общая масса пыли, выделяющаяся в рабочую зону, рассчитывается как:

$$M_{mo} = 1,1 \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^k M_{cpi} \quad (9)$$

а мощность пылевыделения от одного узла пересыпки материала составит:

$$M_{mo} = 1,1 \cdot M_{Ti} = 1,1 \cdot 2,6 = 2,86 \text{ кг/ч.}$$

Результаты исследований показали, что наибольшее пылевыделение наблюдается через 0,5-1м от источника и превосходит предельно-допустимую концентрацию до 7 раз. Величина плотности пылеоседания принимает максимальные значения в заготовительных цехах асбестоцементных производств при влиянии двух соседних источников и равна 124,6 г/(м²·ч). Мощность пылевыделения от одного узла пересыпки материала составляет 2,86 кг/ч.

Данная методика может использоваться, как для уточнения количества пыли, распространяющейся при технологическом процессе M_{mo} , так для определения источника наибольших пылевыделений заготовительного цеха и описания параметров воздухообмена.

Список литературы / References

1. Азаров В. Н. О дисперсном составе пыли в воздушной среде в производстве строительных материалов / В.Н. Азаров, Р.А. Бурханова, Н.А. Маринин // Вестник ВолгГАСУ, сер. Строительство и архитектура, вып. 30 (49) 2013, с. 256-261.
2. Методика определения концентрации пыли в промышленных выбросах (Эмиссия) / НИИОГАЗ. – М., 1970. – 47 с.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД – 86 [Электронный ресурс] / Госкомгидромет. – Л., 1985. – URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2826/.

4. Калинушкин М. П. Измерение осадочной запыленности / М.П. Калинушкин // Всесоюз. науч. конф. “Очистка вентиляционных выбросов и защита воздушного бассейна от загрязнения”. – Ростов-на-Дону, 1977. – С. 183 – 185.

5. Богуславский Е. И. Интенсивность выделения и накопления пыли в производственном помещении / Е. И. Богуславский, В. Н. Азаров // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающая среда. – Ростов н/Д : РИЦ Ростов-на-Дону гос. акад. сельхозмашиностроения, 1997. – С. 48-49.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Azarov V. N. O dispersnom sostave pyli v vozduzhnoy srede v proizvodstve stroitelnykh materialov [About disperse composition of dust in the air environment in production of construction materials] / V. N. Azarov, R. A. Burkhanova, N. A. Marinin // Vestnik VolgGASU, ser. Stroitelstvo i arkhitektura [Bulluten of VolgGASU. Construction and architecture]. – V. 30(49). – 2013. – P. 256–261. [in Russian]

2. Metodika opredeleniya koncentracii pyli v promyshlennykh vybrosakh [Technique of definition of concentration of dust in industrial emissions] (Emissiya). – М. : НИОГАЗ, 1970. – 47 p. [in Russian]

3. Metodika rascheta koncentraciy v atmosfernom vozdukhе вредных veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatiy [Method of calculation of concentration in atmospheric air of the harmful substances which are contained in emissions of the enterprises]: OND – 86 [Electronic resource]. – – L. : Goskomgidromet, 1985. – URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2826/ [in Russian]

4. Kalinushkin M. P. Izmerenie osadochnoy zapylenosti [Measurement of sedimentary dust content] / М.П. Kalinushkin // Всесоюз. науч. конф. “Очистка вентиляционных выбросов и защита воздушного бассейна от загрязнения” [Cleaning of ventilating emissions and protection of the air basin against pollution]. – Ростов-на-Дону, 1977. – P. 183–185. [in Russian]

5. Boguslavskiy E. I. Intensivnost vydeleniya i nakopleniya pyli v proizvodstvennom pomeshchenii [Intensity of allocation and accumulation of dust in the production room] / E. I. Boguslavskiy, V. N. Azarov // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. Okhrana truda i okruzhayushchaya sreda [Health and safety. Labor protection and environment]. – Ростов н/Д: RICz Ростов-на-Дону гос. акад. selkhoz mashinostroeniya, 1997. – P. 48-49. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.088>

Веприков А.А.¹, Полищук В.В.²

¹Аспирант,

Санкт-Петербургский горный университет,

²Кандидат технических наук,

Петербургский энергетический институт повышения квалификации

министерства энергетики Российской Федерации

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ АКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Аннотация

Приведены научно-технические проблемы повышения энергоэффективности систем электроснабжения промышленных потребителей постоянного тока большой мощности. С использованием компьютерной модели подтверждена эффективность работы активных преобразователей в условиях электротехнологических установок постоянного тока. Показано, что при соблюдении норм параметров качества электроэнергии в пределах действующих стандартов коэффициент мощности электротехнического комплекса с активным выпрямителем напряжения может достигать 0,98-0,99. По результатам эксперимента на физическом объекте мощностью 0,5 МВт установлено, что реальный коэффициент мощности составляет 0,97-0,98 на всём диапазоне регулирования тока нагрузки.

Ключевые слова: электролизёры, дуговая печь постоянного тока, активный преобразователь, коэффициент мощности.

Veprikov A.A.¹, Polishchuk V.V.²

¹Postgraduate Student, St. Petersburg Mining University,

²PhD in Engineering, St. Petersburg Power Engineering Institute of Continuing Education

Ministry of Energy of the Russian Federation

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF SYSTEMS OF POWER SUPPLY OF INDUSTRIAL CONSUMERS OF DC ON THE BASIS OF ACTIVE CONVERTERS

Abstract

The article discusses scientific and technical problems of increasing the energy efficiency of power supply systems for industrial consumers of high-power direct current. The use of a computer model increases the efficiency of active converters under the conditions of electro-technological installations of direct current. It is shown that if the norms of the electric power quality parameters are observed within the limits of the current standards, the power factor of the electrical complex with the active rectifier can reach 0,98-0,99. Based on the results of the experiment, a 0.5 MW physical facility established that the real power factor is 0.97-0.98 over the whole range of load current control.

Keywords: electrolyzers, DC arc furnace, active converter, power factor.

В настоящее время в промышленности широко используется электроэнергия постоянного тока, при этом большая её часть (до 60 %) приходится на цветную металлургию. Мощность потребителей постоянного тока различается в зависимости от их вида, режима работы, удельного расхода электроэнергии и производительности, наиболее энергоёмкими являются:

- электролизные установки получения цветных металлов из расплавов (алюминий, магний) и растворов (цинк, медь, никель, натрий и пр) [1], [2];
- электродуговые печи постоянного тока (сталеплавильные, руднотермические, вакуумные) [3];
- промышленные преобразователи для питания постоянным током приводов постоянного тока и инверторов частотно-регулируемого привода (экскаваторы, прокатные станы, буровые станки, транспорт и т.п.).

Для обеспечения оптимального протекания технологических процессов в вышеприведённых установках требуется регулировать параметры выпрямленного тока и напряжения в диапазоне 0,2-1,15 от номинальной величины с точностью 0,1-0,2 % в течение нескольких секунд. Использование управляемых выпрямительных агрегатов на основе параметрических источников, дросселей и силовых тиристоров приводит к увеличению потребления реактивной мощности. Большую часть времени преобразовательные агрегаты установок электролиза работают на пониженном напряжении с ненулевым углом управления, из-за чего их коэффициент мощности составляет 0,7-0,91 [4], [5]. Источники питания дуговых печей постоянного тока имеют номинальный коэффициент мощности в пределах 0,85-0,94, но при глубоком регулировании тока он снижается до 0,6 [3].

В [6] приводятся результаты исследований дифференцированного во времени электроснабжения (модуляции тока) серий электролизеров, проводившиеся на российских и зарубежных алюминиевых заводах с целью снижения платы за заявленный максимум нагрузок. Результаты работы серии при модуляции тока на 10 % показали возможность ее эксплуатации практически без снижения технико-экономических показателей, при этом потребление энергии в часы «пик» снижалось не менее чем на 16–17 %. Таким образом, для алюминиевых заводов, которые имеют проблемы с нехваткой электроэнергии, либо к ним применяются повышенные тарифы в пиковые периоды в энергосистемах, применение модуляции тока является оправдывающим себя решением и не сказывается отрицательно на технологических операциях.

Полупроводниковые выпрямители приводят к возникновению высших гармоник в сетевом напряжении и потребляемом токе, что может приводить к нарушению электромагнитной совместимости системы электроснабжения предприятия с питающей сетью, нарушениям в работе автоматики, релейной защиты и, в некоторых случаях, самих вентиляционных преобразователей [7], [8]. Происходит ускоренное старение изоляции электрических машин, аппаратов и кабелей, что сопряжено со снижением надёжности электрооборудования. Использование систем управления выпрямленным напряжением усугубляет эти недостатки, в то же время возможность применения компенсирующих устройств на основе конденсаторных батарей в таких условиях ограничено из-за возможности их перегрузки токами высших гармоник и возникновения резонансных явлений [4], [8].

В этой связи требуется решить ряд задач, связанных с повышением энергоэффективности систем электроснабжения мощных промышленных потребителей постоянного тока путем введения в их состав активных преобразователей (АП) на основе IGBT транзисторов, позволяющих снизить потребляемую из сети полную мощность, установленную мощность электрооборудования и обеспечить поддержание параметров качества электроэнергии (ПКЭ) в регламентируемых пределах.

Фирмой Semikron реализованы полумостовые IGBT модули по технологии SKiP 4 мощностью до 2,1 МВт, при напряжении 1,2 кВ и постоянном токе до 3,6 кА, в которых допускается параллельное соединение нескольких модулей (до 6-8 шт), дальнейшее увеличение числа параллельных элементов не рекомендуется из-за возникновения существенной несимметрии управляющих каналов и возможности рассинхронизации времени коммутаций ключей [9].

Для увеличения тока нагрузки предлагается использовать параллельное соединение преобразовательных секций, каждая из которых получает питание от преобразовательного трансформатора (ПТ) [10], [11]. Структура системы электроснабжения с активными выпрямителями (АВ) представлена на рис. 1.

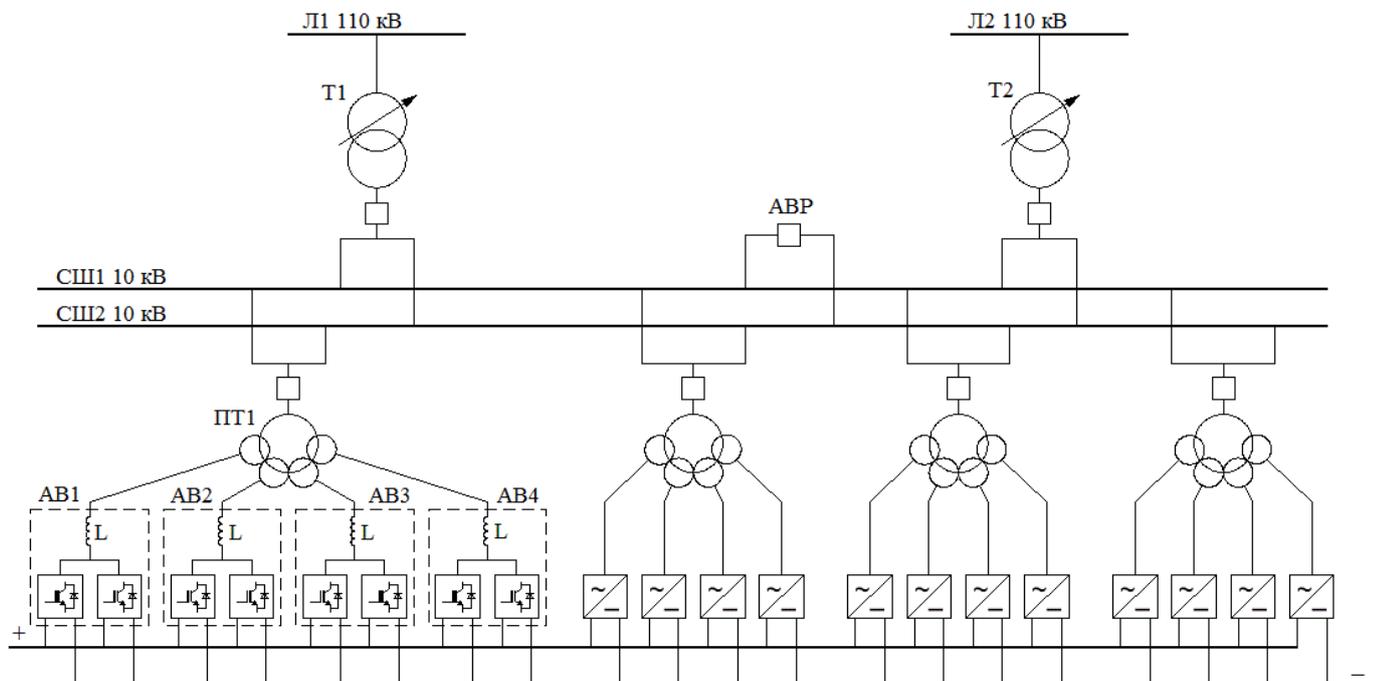


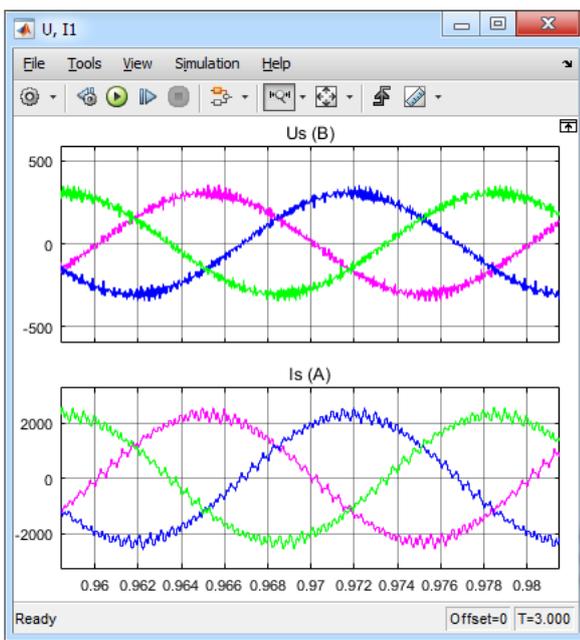
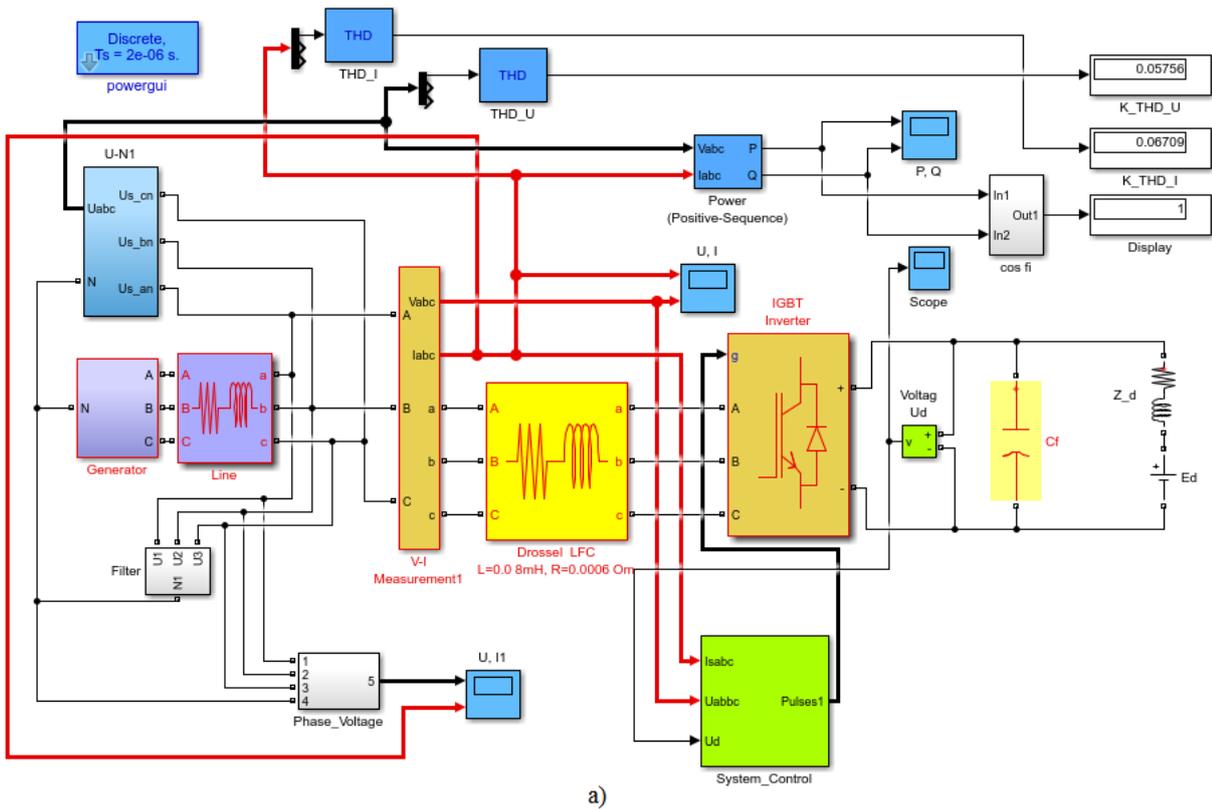
Рис. 1 – Схема системы электроснабжения мощного потребителя постоянного тока с применением активных выпрямителей

Требуемый диапазон регулирования выпрямленного напряжения нагрузки достигается путём использования РПН в групповых силовых трансформаторах (Т). Использование АВ с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) для коррекции коэффициента мощности преобразователя (χ) позволит решить задачи снижения потребляемой мощности и поддержания ПКЭ на питающем присоединении в пределах действующих стандартов при обеспечении необходимых требований электропитания промышленных потребителей постоянного тока.

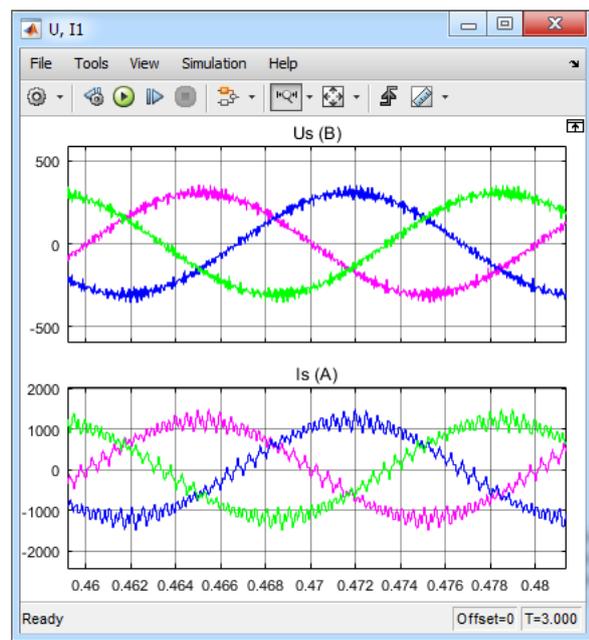
Для проверки в среде MATLAB Simulink была построена модель активного выпрямителя напряжения (АВН) со следующими параметрами: частота сетевого напряжения $f_s = 50$ Гц, $U_n = 380$ В, внутреннее сопротивление питающей фазы $r_\phi = 0,08$ Ом; индуктивность и активное сопротивление фазы токоограничивающего сетевого реактора $L_p = 0,08$ мГн, $r = 0,6$ мОм; активное сопротивление и индуктивность нагрузки $R_d = 0,4$ Ом, $L_d = 0,12$ мГн, противо-ЭДС нагрузки $E_n = 310$ В; емкость конденсатора $C_\phi = 32$ мФ; напряжение стабилизации $U_c = 850$ В. При создании модели были приняты следующие допущения:

- система питающих напряжений и преобразователь симметричные;
- питающие напряжения имеют синусоидальную форму (в реальной сети возможны отклонения амплитуды, частоты и формы питающего напряжения в пределах действующих стандартов ПКЭ из-за изменения параметров энергосети и присутствия сторонних потребителей);
- силовые ключи идеальные, их внутреннее сопротивление не зависит от температуры;
- отношение частоты коммутации к частоте основной гармоники питающего напряжения удовлетворяет соотношению $N_s = f_s / f_{(1)} \gg 10$;
- преобразователь вносит только высокочастотные искажения, т. е. гармоники с частотами, значительно превышающими частоту первой гармоники.

Напряжение на нагрузке изменялось в пределах $(0,5-1) U_{ном}$. Созданная модель и результаты, полученные при моделировании, приведены на рис. 2.



б)



в)

Рис. 2. – а - модель активного выпрямителя для питания промышленной нагрузки постоянного тока, формы кривых напряжений и токов питающей сети для б - $U=U_{ном}$ в - $U=0,5U_{ном}$

В результате моделирования установлено, что система электроснабжения с использованием АВН с ШИМ позволит синхронизировать фазы сетевого тока и напряжения и повысить χ до 0,98-0,99 при поддержании параметров качества электроэнергии в регламентируемых пределах.

Для экспериментальной проверки эффективности использования АП были проведены исследования системы электроснабжения дуговой вакуумной печи 83ЗД с номинальной мощностью 0,5 МВт, суммарное число параллельно соединённых преобразователей с IGBT составило 90 шт, что соответствовало диапазону выпрямленного тока от 450 А до 13,5 кА с возможностью плавного регулирования. Максимальная величина постоянного тока одного блока составила 200 А при напряжении в 45 В, в номинальном режиме рабочий ток равен 150 А. Потребляемый из сети фазный ток достигал 840 А при токе нагрузки 12-13 кА. Коэффициент суммарных гармонических искажений напряжения на всём диапазоне регулирования не превышал 5,7 %, а коэффициент мощности исследуемого электротехнического комплекса находился 0,97-0,98. При номинальном токе дуги 12 кА коэффициент полезного действия электротехнического комплекса составил 0,77.

Экспериментальные исследования подтвердили возможность эффективной параллельной работы как отдельных модулей, так и их секций, причём число параллельных секций может наращиваться практически без ограничений, что обеспечит эффективное электроснабжение промышленных потребителей постоянного тока большой мощности.

Список литературы / References

1. Беляев А.И. *Металлургия легких металлов* / А.И. Беляев – М.: *Металлургия*, 1970. – 365 с.
2. Бобков В. Силовая преобразовательная техника для мощных электротехнологических установок постоянного тока / В. Бобков, А. Бобков, В. Копырин // *Силовая электроника*. – 2004. – №1. – С. 66-68.
3. Сафонов В.И. *Электротехнологические установки: учебное пособие* / В.И. Сафонов. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – 124 с.
4. Сальников В.Г. *Эффективные системы электроснабжения предприятий цветной металлургии* / В.Г. Сальников, В.В. Шевченко. – М.: Изд-во «Металлургия», 1986. – 320 с.
5. Никулин А.Д. *Тиристорная преобразовательная техника в цветной металлургии* / А.Д. Никулин, Л.С. Родштейн, В.Г. Сальников и др. – М.: Изд-во «Металлургия», 1983. – 128 с.
6. Галевский Г.В. *Металлургия алюминия: стабилизация и модуляция тока электролизной серии: монография* / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2011. – 151 с.
7. Крупович В.И. *Проектирование промышленных электрических сетей* / В.И. Крупович, А.А. Ермилов, Е.С. Иванов и др.; под ред. В.И. Круповича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 328 с.
8. Жежеленко И.В. *Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий*. 4-е изд., перераб. и доп. / И.В. Жежеленко – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
9. Винтрих А. *Проблемы параллельного и последовательного соединения IGBT. Часть 1. Параллельная работа IGBT* / А. Винтрих, У. Николаи, В. Турски и др.; пер. А. Колпаков, Е. Карташов // *Силовая электроника*. – 2013. – № 4. – С. 67–74.
10. Абрамович Б.Н. *Повышение эффективности электротехнических преобразовательных комплексов для добычи и переработки полезных ископаемых* / Б.Н. Абрамович, А.А. Веприков, Ю.А. Сычѳв // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2017. – №1. – С. 7-12.
11. Абрамович Б.Н. *Повышение эффективности электротехнических преобразовательных комплексов для питания электролизѳров алюминия* / Б.Н. Абрамович, А.А. Веприков, Ю.А. Сычѳв и др. // *Цветные металлы*. – 2016. – №10. – С. 49-53.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Beljaev A.I. *Metallurgija legkih metallov* [Metallurgy of light metals]. – М.: Metallurgija, 1970. P 365. [in Russian]
2. Bobkov V. *Silovaja preobrazovatel'naja tehnika dlja moshhnyh jelektrotehnologicheskikh ustanovok postojannogo toka* [Power converter equipment for direct current electrotechnological units]. / V. Bobkov, A. Bobkov, V. Kopyrin // М.: *Silovaja jelektronika* [Power Electronics]. – 2004. – №1, – P. 66-68. [in Russian]
3. Safonov V.I. *Jelektrotehnologicheskie ustanovki: uchebnoe posobie* [Electrotechnological units: teaching materials]. / V.I. Safonov – Cheljabinsk: Izdatel'skij centr JuUrGU [South Ural State University bulletin], 2014. – P. 124. [in Russian]
4. Sal'nikov V.G. *Jefferktivnyye sistemy jelektrosnabzhenija predpriyatij cvetnoj metallurgii* [Efficient power supply systems for non-ferrous metallurgy]. / V.G. Sal'nikov, V.V. Shevchenko // М.: «Metallurgija», 1986. – P. 320. [in Russian]
5. Nikulin A.D. *Tiristor'naja preobrazovatel'naja tehnika v cvetnoj metallurgii* [Thyristor power converters in non-ferrous metallurgy]. / A.D. Nikulin, L.S. Rodshtejn, V.G. Sal'nikov, V.A. Bobkov – М.: «Metallurgija», 1983. – P 128. [in Russian]
6. Galevskij G.V. *Metallurgija aljuminija: stabilizacija i moduljacija toka jelektroliznoj serii: monografija* [Metallurgy of aluminum: current stabilization and modulation for electrolysis series: monography]. / G.V. Galevskij, M.Y. Mincis, G.A. Sirazutdinov – Novokuzneck: SibGIU [Siberian State Industrial University], 2011. – P. 151. [in Russian]
7. Krupovich V.I. *Proektirovanie promyshlennyh jelektricheskikh setej* [Engineering of industrial power grids]. / V.I. Krupovich, A.A. Ermilov, V.S. Ivanov, Y.V. Krupovich.: pod red. V.I. Krupovicha – 2-e izd., pererab. i dop [Vol. 2]. – М.: Jenergija, 1979. – P. 328. [in Russian]
8. Zhezhelenko I.V. *Vysshie garmoniki v sistemah jelektrosnabzhenija promyshlennyh predpriyatij* [Harmonics in industrial power supply systems]. 4-e izd., pererab. i dop [Vol. 4]. – М.: Jenergoatomizdat. 2000. – P. 331. [in Russian]
9. Vintrih A., Nikolai U., Turski V., Reiman T. *Problemy parallel'nogo i posledovatel'nogo soedinenija IGBT. Chast' 1. Parallel'naja rabota IGBT* [Parallel and series IGBT connection issues. Part 1: IGBT parallel connection] / A. Vintrih, U. Nikolai., V. Turski, T. Reiman; per. A. Kolpakov, E. Kartashov // *Silovaja jelektronika* [Power Electronics]. – 2013. – № 4. – P. 67–74. [in Russian]
10. Abramovich B.N. *Povyshenie jefferktivnosti jelektrotehnicheskikh preobrazovatel'nyh kompleksov dlja dobychi i pererabotki poleznyh iskopaemyh* [Enhancing the efficiency of electrical converters for mining and processing of mineral resources]. / A.A. Veprikov, B.N. Abramovich, Y.A. Sychjov // *Gornoe oborudovanie i jelektromehanika* [Mining Equipment and Electromechanics], – 2017. – №1. – P. 7-12. [in Russian]
11. Abramovich B.N. *Povyshenie jefferktivnosti jelektrotehnicheskikh preobrazovatel'nyh kompleksov dlja pitaniya jelektrolizjorov aljuminija* [Increasing the effectiveness of electro-technical transformation complexes for supplying of aluminium electrolyzers] / A.A. Veprikov, B.N. Abramovich, Y.A. Sychjov, K.A. Homjakov // *Cvetnye metally* [Non-ferrous Metals]. – 2016. – №10. – P. 49-53. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.061>

Голдобин Д.А.¹, Михайлов А.А.²

¹Кандидат технических наук, доцент,
Сургутский Государственный Университет,

²Студент магистратуры 2 курс,

Сургутский Государственный Университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 110 кВ С ДВУХСТОРОННИМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭКРАНОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПРОКЛАДКИ

Аннотация

Разработана математическая модель двухцепной трехфазной кабельной линии для расчета наведенных токов в экранах при их двухстороннем заземлении в симметричном режиме. Рассмотрены электрические и тепловые процессы протекающие в кабельной линии при различном чередовании фаз. Проведен анализ влияния соседних фаз на токи в экранах и температуру в КЛ. Получены результаты при использовании математической модели КЛ и в программе COMSOL Multiphysics с учетом электрических и тепловых параметров каждой фазы КЛ. Показана необходимость в применении оптимального расположения фаз.

Ключевые слова: кабельная линия, сшитый полиэтилен, способ прокладки, тепловой режим, заземление экранов, токи в экранах, двухцепная линия.

Goldobin D.A.¹, Mikhailov A.A.²

¹ PhD in Engineering, Associate Professor,
Surgut State University, Surgut,

² Master's Degree Student of the 2 Year of Study,
Surgut State University, Surgut

STUDY OF NORMAL MODES OF CABLE LINES OF 110 kV WITH A TWO-WAY INTERCONNECTION OF SCREENS AT VARIOUS LAYING METHODS

Abstract

We developed a mathematical model of a two-circuit three-phase cable line for the calculation of induced currents in screens with their two-sided grounding in a symmetrical mode. The paper considers electrical and thermal processes in the cable line for different phase alternations. The influence of the neighbouring phases on the currents in the screens and the temperature in the CL are analyzed. The results are obtained with the help of the mathematical model of CL and in the COMSOL Multiphysics program with regard to the electrical and thermal parameters of each phase of the CL. The necessity for the application of an optimal phase arrangement is shown in the paper.

Keywords: cable line, cross-linked polyethylene, laying method, thermal conditions, screen grounding, shield currents, double-circuit line.

Известно, что пропускная способность кабельной линии выше, чем воздушных линий того же класса напряжения в силу меньшего волнового сопротивления. Но конструкция и материал кабеля из СПЭ накладывают ограничения на пропускную способность. На практике пропускная способность кабеля будет определяться тепловым режимом, то есть предельно допустимой температурой нагрева изоляции кабеля, что для кабеля из сшитого полиэтилена в длительном режиме составляет 90 °С, превышение этой рекомендуемой температуры заводом изготовителем приводит к тепловому старению изоляции.

В таких кабелях схемы соединения экранов можно выделить два типа: «замкнутый контур» - с протеканием тока промышленной частоты по экрану кабеля (двухстороннее заземление) и «разомкнутый контур» - отсутствие тока в экране (одностороннее заземление, транспозиция экранов, разземление).

Схема заземления по обоим концам – одна из основных схем.

Достоинства данной схемы:

– напряжение в экранах относительно земли минимально, и в симметричных режимах равняется нулю, но так как система в симметричном режиме бывает исключительно редко, то уравнивающие токи и напряжения существуют всегда;

– наличие токов в экранах снижает влияние на рядом расположенные коммуникации, линии связи и окружающую среду (за счет снижения напряженности магнитного поля вокруг КЛ);

– снижается индуктивное сопротивление КЛ;

– уменьшаются перенапряжения на оболочке и изоляции при коммутационных и других волновых процессах.

Недостатки:

– протекание токов по экрану сопровождается их нагреванием, что приводит к снижению пропускной способности кабеля;

– токи в экранах ведут к дополнительным потерям мощности и электроэнергии, уменьшается КПД линии электропередачи;

– ток КЗ протекает по экрану кабеля.

При заземлении экранов с двух сторон в начале и конце линии в них практически не будут возникать наведенные напряжения, зато будет протекать продольный ток промышленной частоты, который зависит:

– от тока, протекающего в жиле;

– от сечения экрана;

– от расстояния между осями жил кабеля;

– от расположения фаз.

Наличие тока в экране существенно влияет на пропускную способность кабельной линии, так как потери,

возникающие в экранах, дополнительно нагревают кабель. При выборе сечения жилы принимают во внимание:

- схему заземления экранов (наличие или отсутствие паразитных токов);
- способ прокладки (расстояния между осями жил кабеля, чередования фаз);
- тепловой режим (расчет температуры при помощи программных комплексов);

Ранее в [1, С.22] разработана математическая модель для расчета наведенных токов и напряжений в КЛ. Эта математическая модель была доработана для возможности расчета двухцепной КЛ. В модели учтены коэффициенты взаимной индукции между петлями токов «экран-земля» фаз кабеля (Ma1b1, Mb1c1, Ma1c1, Ma2b2, Mb2c2, Ma2c2, Ma1a2, Ma1b2, Ma1c2, Mb1a2, Mb1b2, Mb1c2, Mc1a2, Mc1b2, Mc1c2).

Уравнения, описывающие стационарный режим в каналах экран-земля фаз с учетом их магнитной связи имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} -R_{\Sigma} * I_{1a1} + (R_{\Sigma} + j\omega L_2) * I_{2a1} + I_{2b1} * j\omega Ma1b1 + I_{2c1} * j\omega Ma1c1 + \\ + I_{2a2} * j\omega Ma1a2 + I_{2b2} * j\omega Ma1b2 + I_{2c2} * j\omega Ma1c2 + \\ + U_{2ha1} - U_{2ka1} = 0; \\ -R_{\Sigma} * I_{1b1} + (R_{\Sigma} + j\omega L_2) * I_{2b1} + I_{2a1} * j\omega Ma1b1 + I_{2c1} * j\omega Mb1c1 + \\ + I_{2a2} * j\omega Mb1a2 + I_{2b2} * j\omega Mb1b2 + I_{2c2} * j\omega Mb1c2 + \\ + U_{2hb1} - U_{2kb1} = 0; \\ -R_{\Sigma} * I_{1c1} + (R_{\Sigma} + j\omega L_2) * I_{2c1} + I_{2b1} * j\omega Mc1b1 + I_{2a1} * j\omega Ma1c1 + \\ + I_{2a2} * j\omega Ma2c1 + I_{2b2} * j\omega Mc1b2 + I_{2c2} * j\omega Mc1c2 + \\ + U_{2hc1} - U_{2kc1} = 0; \\ -R_{\Sigma} * I_{1a2} + (R_{\Sigma} + j\omega L_2) * I_{2a2} + I_{2b1} * j\omega Ma2b1 + I_{2a1} * j\omega Ma1a2 + \\ + I_{2c1} * j\omega Mc1a2 + I_{2c2} * j\omega Ma2c2 + I_{2b2} * j\omega Ma2b2 + \\ + U_{2ha2} - U_{2ka2} = 0; \\ -R_{\Sigma} * I_{1b2} + (R_{\Sigma} + j\omega L_2) * I_{2b2} + I_{2a1} * j\omega Ma1b2 + I_{2b1} * j\omega Mb1b2 + \\ + I_{2c1} * j\omega Mc1b2 + I_{2a2} * j\omega Ma2b2 + I_{2c2} * j\omega Mb2c2 + \\ + U_{2hb2} - U_{2kb2} = 0; \\ -R_{\Sigma} * I_{1c2} + (R_{\Sigma} + j\omega L_2) * I_{2c2} + I_{2a1} * j\omega Ma1c2 + I_{2b1} * j\omega Mb1c2 + \\ + I_{2c1} * j\omega Mc2c1 + I_{2a2} * j\omega Mc2a2 + I_{2b2} * j\omega Mc2b2 + \\ + U_{2hc2} - U_{2kc2} = 0; \end{array} \right.$$

Полная система уравнений режима КЛ с учетом граничных условий в начале и конце кабельной линии в матричном виде выглядит как

$$[A] \times \vec{X} = \vec{E},$$

где [A] – квадратная матрица комплексных коэффициентов размерностью 40x40, вектор X – вектор изображений на комплексной плоскости токов и напряжений. Вектор E – вектор комплексных изображений источников ЭДС фаз a1, b1, c1, a2, b2, c2.

Результаты расчета по этой модели приводятся в сравнении с подробным моделированием на COMSOL Multiphysics.

Показан анализ токов в экранах (таблица 1–4), величины потерь (таблица 5) и температуры (рисунок 1–2) для кабеля, геометрические параметры которого:

- сечение жилы 500 мм²;
- сечение экрана 95 мм²;
- кабель зарыт на глубине 1,5 м;
- толщина изоляции 3,4 мм;
- толщина оболочки 2,5 мм;

Рассматриваются различные варианты расположения и чередования фаз, поэтому для наглядности ток жилы равен 500 А, теплопроводность грунта 0,5 Вт/(м*К).

Ток в экранах будет увеличиваться по мере увеличения расстояния между жилами и достигнет значения практически равного току в жиле при очень больших расстояниях. Наименьшие токи в экранах при одноцепной КЛ возникают при прокладке кабеля в сомкнутый треугольник, когда две фазы кладут вплотную друг к другу, а третью – сверху, тем самым образуя симметричную систему, каждая фаза находится в равных условиях в отношении двух других. В таблице 1–2 показано распределение токов при их стандартном чередовании фаз в плоскости при различных расстояниях. Таблица 3–4 показывает распределение тока уже при измененном чередовании фаз, самое оптимальное это менять фазы А и С местами.

Таблица 1 – Токи в экранах

Экраны фаз 	В плоскости на расстоянии 0,5м (А)	В плоскости на расстоянии 0,1м (А)	В плоскости вплотную (А)
А1 и А2 соответственно	445 и 445	385 и 385	309 и 309
В1 и В2 соответственно	377 и 377	259 и 259	138 и 138
С1 и С2 соответственно	386 и 386	312 и 312	255 и 255

Таблица 2 – Токи в экранах при полевом моделировании.

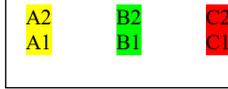
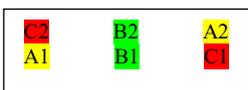
Экраны фаз 	В плоскости на расстоянии 0,5м (А)	В плоскости на расстоянии 0,1м (А)	В плоскости вплотную (А)
А1 и А2 соответственно	434 и 433	382 и 382	299 и 299
В1 и В2 соответственно	379 и 378	261 и 261	164 и 164
С1 и С2 соответственно	386 и 387	310 и 310	250 и 250

Таблица 3 – Токи в экранах

Экраны фаз 	В плоскости на расстоянии 0,5м (А)	В плоскости на расстоянии 0,1м (А)	В плоскости вплотную (А)
А1 и А2 соответственно	375 и 375	251 и 251	128 и 128
В1 и В2 соответственно	379 и 379	259 и 259	137 и 137
С1 и С2 соответственно	378 и 378	255 и 255	131 и 131

Таблица 4 – Токи в экранах при полевом моделировании.

Экраны фаз 	В плоскости на расстоянии 0,5м (А)	В плоскости на расстоянии 0,1м (А)	В плоскости вплотную (А)
А1 и А2 соответственно	374 и 373	251 и 251	137 и 137
В1 и В2 соответственно	379 и 378	259 и 259	144 и 144
С1 и С2 соответственно	377 и 378	256 и 256	140 и 140

Видно, что система стала более симметричной. Разница в токах при полевом моделировании обусловлена тем, что математическая модель не учитывает эффект близости.

Таблица 5 – Эффективность применения оптимального чередования фаз.

Способ прокладки	Процентное уменьшение тока в экране (%)	Сумма потерь в экранах (кВт/км)	
		Обычное чередование фаз	Оптимальное чередование фаз
В плоскости на расстоянии 0,5м	18	87,5	76,1
В плоскости на расстоянии 0,1м	49	55,5	35
В плоскости вплотную	116	32	10,5

Анализ таблицы 5 показывает, что максимально эффективную систему двучепной КЛ с точки зрения минимизации токов в экране можно получить при прокладке в плоскости, одна цепь положена на другую вплотную, причем фазы А и С у одной цепи должны быть поменяны местами (фаза А первой цепи должна быть максимально близко к фазе С второй цепи).

С другой стороны, при укладке фаз вплотную ухудшается тепловой режим, так как кабели греют друг друга и это надо учитывать. Подключая блок температур COMSOL Multiphysics можно показать распределение тепла в КЛ (рисунок 1–2).

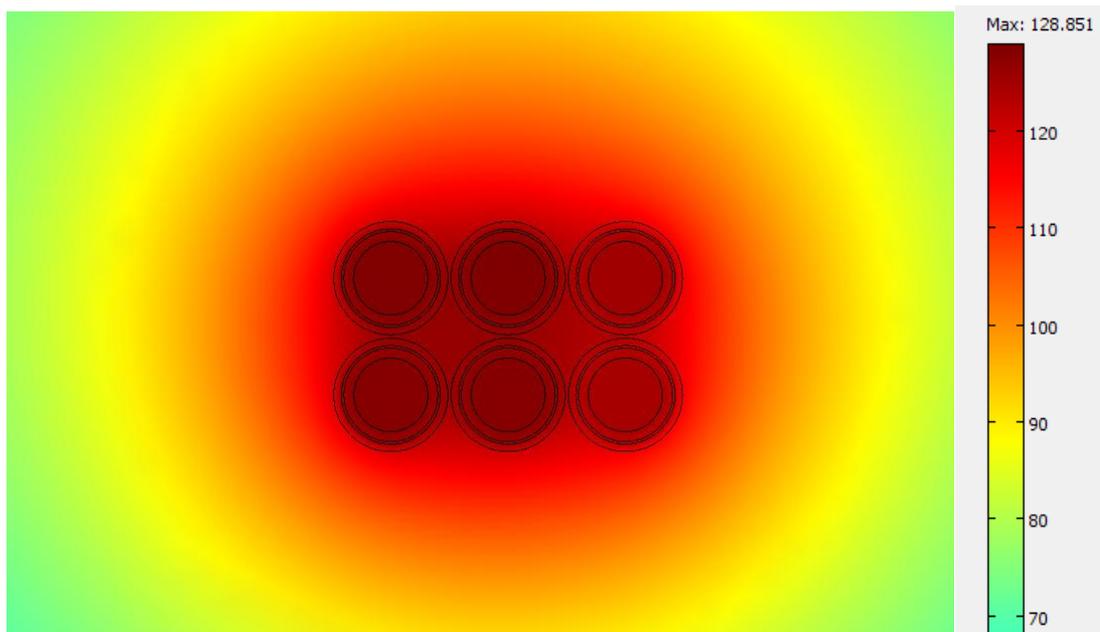


Рис. 1 – Распределение температуры в плоскости вплотную.

На рисунке 2 показано распределение тепла при прокладке в плоскости, но уже с измененным чередованием фаз

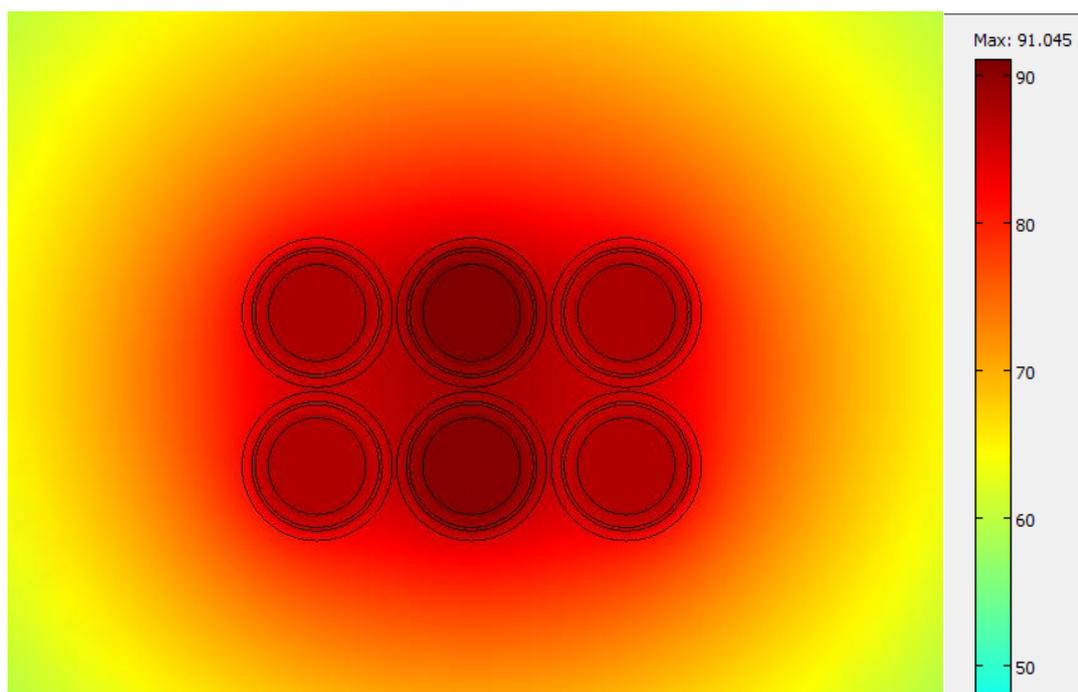


Рис. 2 – Распределение температуры в плоскости вплотную с измененным чередованием фаз

На рисунке 1–2 видно, что уменьшение токов в экране значительно снижает температуру на оболочке кабеля. Выходит что мероприятия по изменению чередования фаз могут эффективно повлиять на снижение температуры кабеля в грунтах с низкой теплопроводностью (в данном примере на 40 °С) тем самым создавая более благоприятный температурный режим для кабеля повышая срок его службы.

Список литературы / References

1. Бронникова В. В. Исследование нормальных и аварийных режимов кабельной линии 110 кВ при различных способах прокладки и схемах соединения экранов / В. В. Бронникова, Д.А. Голдобин // Научное периодическое издание IN SITU: сборник статей Европейский фонд инновационного развития. – 2016. – Т. 1. – №6. – С. 20–26.
2. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ. –СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2010. –154 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bronnikova V. V. Issledovanie normal'nyh i avarijnyh rezhimov kabel'noj linii 110 kV pri razlichnyh sposobah prokladki i shemah soedinenija jekranov [Investigation of normal and emergency modes of a 110 kV cable line for various ways of laying and connection schemes for screens] / V. V. Bronnikova, D.A. Goldobin // Nauchnoe periodicheskoe izdanie IN SITU: sbornik statej Evropejskij fond innovacionnogo razvitija [Scientific periodical IN SITU: collection of articles European Foundation for Innovative Development]. – 2016. – V. 1. – №6. – P. 20–26. [in Russian]
2. Dmitriev M.V. Zazemlenie jekranov odnofaznyh silovyh kabelej 6-500 kV. [Grounding shields of single-phase power cables 6-500 kV] Dmitriev M.V. – SPb.:Izd-vo Politehn. un-ta, 2010. –154 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.056>Гусева М.А.¹, Гетманцева В.В.², Андреева Е.Г.³¹Кандидат технических наук, доцент,²Кандидат технических наук, доцент,³доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВО Российский Государственный Университет им. А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

АНАЛИЗ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОДЕЖДЫ СО СЛОЖНОЙ ТОПОГРАФИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ*Аннотация*

Рассмотрен механизм трехмерной визуализации одежды в виртуальной среде с помощью технологии сканирования. Показаны особенности проектирования меховой одежды с волосяным покровом, расположенным со внешней и внутренней стороны изделия. Силуэт, покрой и свойства материалов обуславливают формирование сложной пространственной топографии поверхности одежды. Моделирование конструкции одежды рекомендуется проводить путем позиционирования линий членений на виртуальной 3D модели проектируемого изделия и варьирования величины проекционных прибавок.

Ключевые слова: меховая одежда, трехмерная визуализация, трехмерное сканирование.Guseva M.A.¹, Getmatseva V.V.², Andreeva E.G.³¹PhD in Engineering, Associate Professor,²PhD in Engineering, Associate Professor,³PhD in Engineering, Professor,

FSBEI of Higher Education Russian State University named after A.N.Kosygin (Tech. Design. Art)

ANALYSIS OF 3D VISUALIZATION OF THE PROCESS OF CLOTHES FORMATION WITH COMPLEX TOPOGRAPHY OF THE SURFACE*Abstract*

The article considers the mechanism of three-dimensional visualization of clothes in a virtual environment using the scanning technology. Features of the design of fur clothes with a hair covering, located on the outer and inner sides of the product, are shown. Silhouette, tailoring and material properties cause the formation of a complex spatial topography of the clothing surface. Modeling of the clothing design should be carried out by positioning the splitting lines on the virtual 3D model of the projected product and varying the magnitudes of projections.

Keywords: fur clothing, three-dimensional visualization, three-dimensional scanning.

Трехмерная визуализация на сегодняшний день является наиболее перспективной информационной технологией, используемой во многих отраслях. Возможности её применения достаточно широки, так как отображение пространственных объектов в трехмерной среде наиболее привычно, интуитивно понятно и наглядно для человека. Существуют разные типы систем трехмерной визуализации и виртуальной реальности, предоставляющие пользователю возможность объемного и объективного восприятия информации об объекте. Системы трехмерной визуализации выступают эффективным инструментом проектирования и оценки конструкций одежды в швейной промышленности [1] с помощью информационной 3D модели, являющейся виртуальным прообразом изделия и несущей необходимый пакет данных о свойствах и характеристиках проектируемого объекта [2].

Визуализация изделия в 3D редакторе позволяет реалистично передать форму, цвет и фактуру материалов, что создает специальные функциональные возможности в области проектирования и производства одежды, а именно:

- ✓ визуальную формулировку внешнего вида изделия;
- ✓ использование трехмерной модели для корректировки внешней формы и конструкции изделия;
- ✓ проведение виртуальной примерки на конкретной фигуре.

В качестве первоочередных задач для разработки методов визуализации процесса формообразования одежды можно выделить:

- изучение особенностей геометрии формы объекта и определение способа его задания и отображения;
- изучение топографических особенностей поверхности объекта и определение способа ее задания и отображения.

В настоящее время изучение факторов, влияющих на формообразование швейных изделий, выборочно касалось отдельных свойств и ассортиментных групп [3], поэтому не охваченными и малоизученными остались проблемы визуализации пространственной формы одежды со сложной топографией поверхности. К таким изделиям можно отнести: 1) меховые изделия, геометрию поверхности которых характеризует сложная топография волосяного покрова

меха; 2) многослойные изделия, на форму поверхности которых влияют характеристики пакета материалов и степень контакта с участками поверхности фигуры человека и др.

Внешнюю форму поверхности изделий со сложной топографией определяют силуэт [4], [5], покрой [6], декоративное решение поверхности [7], совокупность свойств пакета используемых материалов.

Для бесконтактного определения и 3D визуализации рельефа поверхности образцов материалов предлагаются новые инструменты [8; 9], однако задача интеграции характеристик свойств материалов и параметров взаимодействия изделия с участками одеваемой фигуры по-прежнему не теряет актуальности.

Реализацию метода 3D визуализации пространственной формы одежды со сложной топографией поверхности можно проиллюстрировать на виртуальном формообразовании изделий из меха. Конфигурацию поверхности мехового изделия прежде всего определяют геометрические свойства волосяного покрова пушно-мехового полуфабриката [10], [11].

Волосяной покров меха принято располагать как по внешней стороне изделия (модели из пушнины, меха морского зверя, мехового полуфабриката), так и по внутренней (дубленки, изделия на меховой подкладке) [12]. При расположении волосяного покрова внутрь пододежного пространства изделия на конфигурацию его поверхностей влияют: сминаемость, сжатие, густота, высота и мягкость волосяного покрова, соотношение количества пуховых и остевых волос, угол наклона волос относительно кожной ткани. Для шубной овчины принято учитывать единый коэффициент сжатия (уплотнения) волосяного покрова по всем участкам конструкции одежды [13, С.83], чтобы определить величину прибавки на толщину пакета материалов. Степень уплотнения волосяного покрова внутри пододежного пространства влияет на конструктивные параметры меховой одежды и может стать причиной дефектов посадки изделий на фигуру человека [14].

Исследование вариативности проявления уплотнения волосяного покрова различных видов меха в зависимости от отделки (стрижки волос, утонения кожной ткани, перфорации и т.д.) целесообразно проводить с помощью современных систем компьютерного зрения [1], [8], позволяющих пользователю САПР по цифровым 3D изображениям получить достоверную информацию о конфигурациях внешней и внутренней поверхностей мехового изделия.

В результате сканирования образца одежды из мехового велюра на оборудовании Artex 3D EVA [15] получена виртуальная модель изделия (рис.1а, б). Конфигурация внешнего контура поверхности соответствует фактическому расположению кожной ткани используемого меха при одевании готового образца меховой одежды на типовой натурный манекен фигуры человека. Виртуальную конфигурацию внешней и внутренней поверхностей изделия с учетом уплотнения волосяного покрова меха определяли путем сопоставления поверхности 3D модели внешней формы исследуемого образца мехового изделия с поверхностью виртуального манекена (рис. 1в-д), выбранного из базы типовых виртуальных манекенов, разработанной на кафедре ХМКиТШИ РГУ им. А.Н. Косыгина [16]. Сопоставление абрисов манекена и внешней поверхности исследуемого изделия (рис.1е) позволяет определить проекционные прибавки [17], задающие силуэт изделия и степень сжатия волосяного покрова меха на опорных участках.

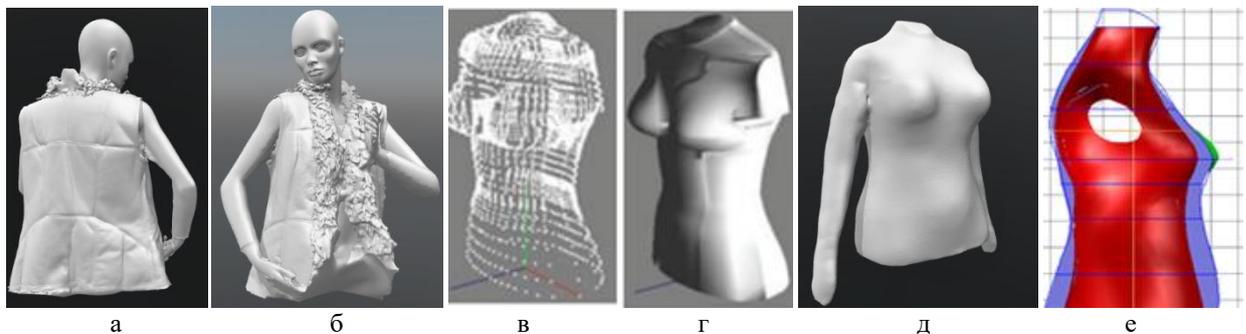


Рис. 1 – Исследование 3D поверхности мехового изделия:

а, б – сканированная модель образца со спинки и переда; *в, г, д* – виртуальные манекены фигур; *е* – совмещение абрисов внешней поверхности стана изделия и манекена

Достоверную качественную и количественную информацию, характеризующую трехмерную форму проектируемого изделия получают после импорта виртуального изображения образца с 3D сканера в графическую среду САПР [18]. Для корректировки базовой конструкции одежды (рис. 2а) и последующего моделирования проводят позиционирование линий членений на виртуальной 3D модели проектируемого изделия (рис. 2 б) [19] и варьируют величины проекционных прибавок [20]. Для лучшего визуального восприятия 3-D конструкции графический аппарат САПР позволяет варьировать цветовое решение любой детали проектируемого изделия (рис. 2б). Так конфигурация деталей стана модели мехового жилета (рис. 1а) получена приемами конструктивного моделирования 3-D базовой формы (рис. 2а) – простым переносом выточек в линии членений (рис. 2б).



Рис. 2 – Визуализация проектируемого изделия: *а* – базовая форма; *б* – позиционирование членений

Установлено, что графическая информация сглаженного контура поверхности мехового изделия, отсканированного с помощью сканера Artec 3D EVA (рис. 3а,б), не обеспечивает достаточной точности измерений для получения достоверных количественных характеристики волосяного покрова используемого меха, так как высота волосяного покрова, угол наклона волос к кожной ткани, вид меха визуализируется в недостаточной степени (рис. 3в). С низкой степенью достоверности можно измерить количественные характеристики лишь по контуру абриса изделия (рис. 3в), что не всегда информативно, т.к. волосяной покров неоднороден.

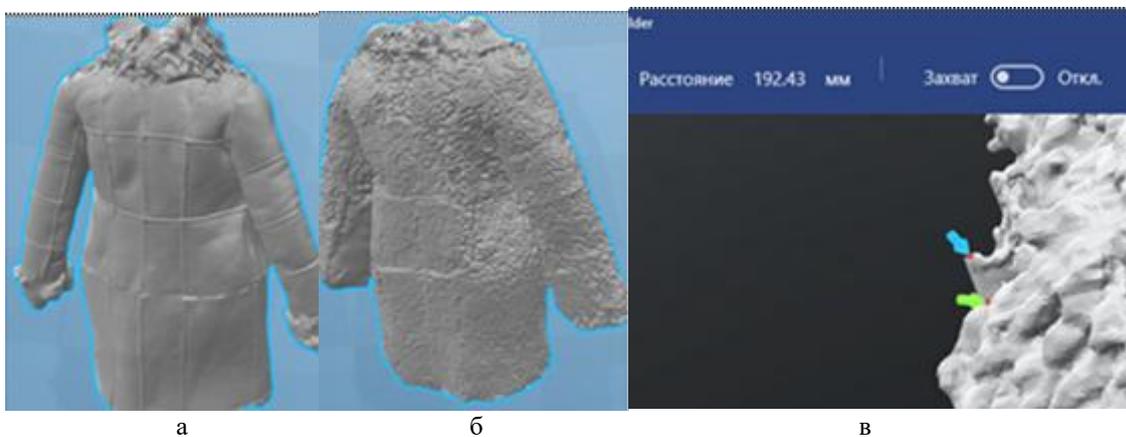


Рис. 3 – Визуализация топографии поверхности мехового изделия в среде Artec 3D: *а* – изделие из мехового велюра с воротником из лисицы; *б* – меховое изделие со станом и рукавами из овчины, воротником из лисицы; *в* – измерение высоты волосяного покрова в среде Artec 3D EVA

Таким образом, результативность исследования количественных и качественных характеристик трехмерной формы одежды зависит не только от сложности топографии поверхности исследуемых изделий, но и точности цифровой информации в виртуальной среде и технических возможностей применяемого оборудования. Следует отметить, что использование технологии 3D сканирования для определения величин и мест локализации проекционных прибавок в конструкциях меховой одежды можно рекомендовать для проектирования моделей с расположением волосяного покрова со стороны пододежного пространства, а именно дубленок и изделий на меховой подкладке.

Список литературы / References

1. Андреева Е.Г., Петросова И.А. Методология оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде. – М.: МГУДТ, 2015. – 131 с.
2. Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Киселева М.В., Петросова И.А. Методика художественного и конструктивного проектирования моделей одежды в виртуальной среде // В книге: «Научные исследования и разработки в области конструирования швейных изделий». – М.: Спутник+. 2016. – С.34-57.
3. Гетманцева В.В., Гончарова А.С., Никитина Н.В., Андреева Е.Г. Влияние показателей физико-механических свойств тканей на пространственную форму плечевого изделия // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. – №6. – С.88-94.
4. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А. Основные силуэтные и стилевые решения меховой одежды // Естественные и технические науки. – 2015. № 11. – С.509-512.
5. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Мартынова А.И. Исследование конструктивных прибавок в меховых изделиях различных силуэтов // Дизайн и технологии. – 2016. – №52 (94). – С.50-59.
6. Гусева М.А., Петросова И.А., Андреева Е.Г. Особенности покроя современной меховой одежды // В сборнике мат. XXI Междунар. науч.-практ. конф. «Кожа и мех в XXI веке: Технология, качество, экология, образование». Улан-Удэ, ВСГУТУ. – 2015. – С.208-212.
7. Гусева М.А., Андреева Е.Г. Композиция пространственной формы меховой одежды // Научный журнал КубГАУ. – 2016, №119. – С.31-43.

8. Петросова И.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Новиков М.В., Сухинина Т.В., Горбачева М.В. Способ бесконтактного определения рельефа поверхности материалов // Патент на изобретение №2606703 RUS. Заявка № 2015136164, заявл. 26.08.2015, зарег. 10.01.2017.
9. Guseva M.A., Andreeva E.G., Getmantseva V.V., Petrosova I.A. Three-dimensional virtual technology to simulate the garment with a complex surface topography // In the conference proceedings: Science, Technology and Higher Education. Westwood: Accent Graphics communications. – 2017. – P. 59-68.
10. Рассадина С.П. Разработка методов оценки и исследование геометрических и оптических свойств волосяного покрова пушно-меховых полуфабрикатов: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 –Кострома: КГТУ., 2002. – 266 с.
11. Новиков М.В. Показатели качества пушно-мехового полуфабриката // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2015. – №8. – С.54-63.
12. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Korychichina M.A., Kalinina M.A. 3D research of form formation in fur clothes // В сборн.: «21 век: фундаментальная наука и технологии». – North Charleston: CreateSpace. – 2017, апрель. – С.137-139.
13. Пармон Ф.М. Проектирование и изготовление изделий из меховой овчины. – М.: Легпромышлениздат, 1989. – 192 с.
14. Гусева М.А., Андреева Е.Г. Анализ антропометрического соответствия современной меховой одежды из промышленных коллекций // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 8-3 (50). – С.39-43.
15. Artec 3D. URL: <https://www.artec3d.com/ru/3d-models#eva> (дата обращения 06.05.2017)
16. Гетманцева В.В., Гальцова Л.О., Бояров М.С., Гусева М.А. Методика проектирования виртуального манекена // Швейная промышленность. – 2011. – №6. – С.32-34.
17. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А. Преобразование поверхности манекена для проектирования внутренней формы мехового изделия // В книге: «Научные исследования и разработки в области конструирования швейных изделий». – М.: Спутник+, 2016. – С.58-78.
18. Гетманцева В.В., Гальцова Л.О., Бояров М.С., Андреева Е.Г. Virtual Dummy Development in 3D Environment // В сборнике междунар. Корейско-Российской конф. «Grand Fashion». – М.: KF&CDA, 2011. – С.45-47.
19. Гетманцева В.В., Колиева Ф.А., Гусева М.А. Разработка информационного описания пространственной формы моделей одежды // В сборнике «Мода и дизайн. Инновационные технологии-2015»: Междунар. науч.-практ. конф. – Сев.-Осетинский ГУ им. К.Л. Хетагурова. – 2016. – С.50-53.
20. Андреева Е.Г., Волкова Е.К., Черемисина Т.А. Использование проекционных прибавок при проектировании мужской одежды // Швейная промышленность. – 2008. – № 1. – С.55-56.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andreeva E.G., Petrosova I.A. Metodologija ocenki kachestva proektnyh reshenij odezhdy v virtual'noj trehmernoj srede [Methodology to assess the quality of design solutions of clothing in the virtual three-dimensional environment]. – М.: MGUDT, 2015. – 131 p. [in Russian]
2. Getmanceva V.V., Andreeva E.G., Kiseleva M.V., Petrosova I.A. Metodika hudozhestvennogo i konstruktivnogo proektirovaniya modelej odezhdy v virtual'noj srede [Technique of fashion art and design in a virtual environment] // V knige: «Nauchnye issledovaniya i razrabotki v oblasti konstruirovaniya shvejnyh izdelij». [In: «Scientific researches and developments in the field of designing of garments»]. – М.: Спутник+. 2016. – P.34-57. [in Russian]
3. Getmanceva V.V., Goncharova A.S., Nikitina N.V., Andreeva E.G. Vlijanie pokazatelej fiziko-mehaničeskikh svojstv tkaney na prostranstvennuju formu plečevogo izdelija [Influence of physico-mechanical properties of tissues in the spatial shape of the shoulder of the product] // Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. [Proceedings of universities. Technology of the textile industry]. – 2011. – № 6. - P.88-94. [in Russian]
4. Guseva M.A., Andreeva E.G., Petrosova I.A. Osnovnye silužetnye i stilevyje reshenija mehovoj odezhdy [The basic silhouette and style fur garments] // Estestvennye i tehničeskie nauki [Natural and Technical Sciences]. – 2015. – № 11. – P.509-512. [in Russian]
5. Guseva M.A., Andreeva E.G., Martynova A.I. Issledovanie konstruktivnyh pribavok v mehovyh izdelijah razlichnyh silužetov [Study of structural increments in the fur garments of different silhouettes] // Dizajn i tehnologii [Design and technology]. – 2016. – № 2. – P.50-59. [in Russian]
6. Guseva M.A., Petrosova I.A., Andreeva E.G. Guseva M.A., Petrosova I.A., Andreeva E.G. Osobennosti pokroja sovremennoj mehovoj odezhdy [The modern cut of fur garments] // V sbornike mat. XXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Kozha i meh v XXI veke: Tehnologija, kachestvo, jekologija, obrazovanie» [Proceedings of the XI international conference «Leather and fur in XXI century. Technology, quality, environmental, management, education»]. Ulan-Ude, VSGUTU. – 2015. – P.208-212. [in Russian]
7. Guseva M.A., Andreeva E.G. Kompozicija prostranstvennoj formy mehovoj odezhdy [Composition of spatial forms of fur garments] // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific journal of KubSAU]. – 2016. – № 119. – P.31-43. [in Russian]
8. Petrosova I.A., Andreeva E.G., Belgorodskij V.S., Novikov M.V., Suhinina T.V., Gorbacheva M.V. Spособ beskontaktnogo opredelenija rel'efa poverhnosti materialov [Method for the contactless determination of surface topography of materials] // Patent na izobretenie [Patent] № 2606703 RUS 10.01.2017. [in Russian]
9. Guseva M.A., Andreeva E.G., Getmantseva V.V., Petrosova I.A. Three-dimensional virtual technology to simulate the garment with a complex surface topography // Proceedings: «Science, Technology and Higher Education». Westwood: Accent Graphics communications. – 2017. – P.59-68.
10. Rassadina S.P. Razrabotka metodov ocenki i issledovanie geometričeskikh i optičeskikh svojstv volosjanogo pokrova pušno-mehovyh polufabrikatov [The development of evaluation methods and the study of geometrical and optical properties of hair of fur semi-finished products]: dis. ... of PhD in Engineering: 05.19.01. – Kostroma: KGTU., 2002. – 266 p. [in Russian]

11. Novikov M.V. Pokazateli kachestva pushno-mehovogo polufabrikata [Indicators of quality fur semi-finished product] // Veterinarija, zootehnija i biotehnologija [Veterinary Medicine, Animal Science and Biotechnology]. – 2015. – №.8. – P.54-63. [in Russian]
12. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Korychichina M.A., Kalinina M.A. 3D research of form formation in fur clothes // V sborn.: «21 vek: fundamental'naja nauka i tehnologii» [Proceedings: « 21 century: fundamental science and technology XII»]. – North Charleston: CreateSpace. – 2017. – P.137-139.
13. Parmon F.M. Proektirovanie i izgotovlenie izdelij iz mehovoju ovchiny [Design and manufacture of products of fur sheepskin]. – M.: Legprombytizdat, 1989. – 192 p. [in Russian]
14. Guseva M.A., Andreeva E.G. Analiz antropometricheskogo sootvetstvija sovremennoj mehovoju odezhdy iz promyshlennykh kollekcij [Anthropometric analysis of fur clothing in industrial collections] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2016. – № 8-3 (50). – P.39-43. [in Russian]
15. Artec 3D. URL: <https://www.artec3d.com/ru/3d-models#eva> (data obrashhenija [accessed] 06.05.2017)
16. Getmanceva V.V., Gal'cova L.O., Bojarov M.S., Guseva M.A. Metodika proektirovanija virtual'nogo manekena [Technique of projecting a virtual mannequin] // Shvejnjaja promyshlennost' [Sewing Industry]. – 2011. – № 6. – P.32-34. [in Russian]
17. Guseva M.A., Andreeva E.G., Petrosova I.A. Preobrazovanie poverhnosti manekena dlja proektirovanija vnutrennej formy mehovogo izdelija [Converting the surface of the dummy for the design of the internal form of fur clothers] // V knige: «Nauchnye issledovanija i razrabotki v oblasti konstruirovanija shvejnykh izdelij». [In: «Scientific researches and developments in the field of designing of garments»]. – M.: Sputnik +, 2016. – P.58-78. [in Russian]
18. Getmanceva V.V., Gal'cova L.O., Bojarov M.S., Andreeva E.G. Virtual Dummy Development in 3D Environment // V sbornike mezhdunar. Korejsko-Rossijskoj konf. «Grand Fashion». [Proceedings: «Grand Fashion»]. – M.: KF&CDA, 2011. – P.45-47.
19. Getmanceva V.V., Kolieva F.A., Guseva M.A. Razrabotka informacionnogo opisanija prostranstvennoj formy modelej odezhdy [Development of information describing the spatial forms of models of clothes] // V sbornike «Moda i dizajn. Innovacionnye tehnologii-2015»: Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Proceedings: «Moda i dizajn. Innovacionnye tehnologii-2015»]. – Sev.-Osetinskij GU im. K.L. Hetagurova. – 2016. – P.50-53. [in Russian]
20. Andreeva E.G., Volkova E.K., Cheremisina T.A. Ispol'zovanie proekcionnykh pribavok pri proektirovanii muzhskoj odezhdy [Using of projecting characteristics in designing menswear] // Shvejnjaja promyshlennost'. [Sewing Industry]. – 2008. – № 1. – P.55-56. [in Russian]



OpenAIRE
Open Access Infrastructure for Research in Europe

«Международный научно-исследовательский журнал» включен в систему **OpenAIRE**.

OpenAIRE — европейская поисковая система по академическим материалам открытого доступа. Один из главнейших репозиториев научной информации в Европейском Союзе. Данная база позволяет увеличить цитируемость Ваших материалов в Европе.



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.006>

Дмитриев Б.М.

ORCID: 0000-0002-2668-9956, Доктор технических наук,

Московский Технический Университет им. Баумана

ШКАЛА СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ*Аннотация*

Материал статьи посвящён формированию шкалы свойства несущей системы металлорежущего станка противодействия термическим воздействиям для количественной оценки данного свойства. В существующей системе знаний отсутствует единица измерения термического свойства станка. Это обстоятельство является тормозом в разработке шкалы такого свойства. В статье предложен вариант формирования единицы измерения термического свойства. Решение данной задачи создаёт предпосылки к разработке шкалы отношений, которая обладает возможностью количественного определения свойства конструкции противодействия термическим процессам. Наличие такого инструмента позволяет перейти при разработке новой конструкции от «метода проб и ошибок» к количественной оценке принятого решения.

Ключевые слова: металлорежущий станок, несущая система конструкции станка, свойство конструкции противодействия термическим процессам, шкала уровня свойства, единица измерения свойства, потребляемая мощность, условия при формировании шкалы.

Dmitriev B.M.

ORCID: 0000-0002-2668-9956, PhD in Engineering,

Bauman Moscow State Technical University

SCALE OF PROPERTIES OF CUTTING MACHINE FOR COUNTERACTION TO THERMAL PROCESSES*Abstract*

The article is devoted to the formation of the property scale of a carrying system of a cutting machine for counteraction to thermal influences for the quantitative evaluation of this property. In the existing knowledge system, there is no unit for measuring thermal properties of a machine. This circumstance hinders the development of such property scale. The article discusses the formation of a unit for measuring a thermal property. The solution of this problem creates prerequisites for the development of a scale of relations that has the ability to quantitatively determine the property of counteraction to thermal processes. The presence of such a tool allows switching quantitative evaluation of the solution when developing a new design from the "trial and error method."

Keywords: cutting machine, carrying system of the machine design, property of the construction of counteraction to thermal processes, level scale of the property, unit of property measurement, power consumption, conditions for scale formation.

Современная практика станкостроения характеризуется двумя противоречивыми тенденциями. Одна из них состоит в том, что увеличивается энерговооружённость станка как результат автоматизации процесса производства и ужесточение режимов работы станка. Следствием данного процесса является снижение точности станка.

Другая тенденция состоит в возрастающем требовании к точности станка как источника обеспечения качества изделий машиностроения [1, С. 12]. Возникает противоречие между этими тенденциями. Ситуация в области точности станкостроения состоит в том, что требуется сокращение этого противоречия. Современная практика проектирования в своём арсенале имеет разнообразные методы и способы по обеспечению стабилизации термического состояния конструкции [2, С.13].

Для выбора метода стабилизации термических процессов, который удовлетворит конструктора, необходимо иметь способ количественной оценки эффективности свойств существующих методов стабилизации. В современной системе знаний (ССЗ) разработан метод экспериментальной оценки степени эффективности применения того или иного мероприятия. Метод оценки основан на сравнения данных полученных на исследуемом станке с прототипом. Если у нового решения термические деформации меньше чем у прототипа, то этот вариант принимают к исполнению. С помощью данного принципа можно оценить качественные, не имеющие строгой количественной меры, показатели. Данный способ оценки разработан в 50-х годах прошлого века и характеризуется тем что оценивает уровень термического свойства станка на уровне «больше/меньше, лучше/хуже» [3, С. 303], [4, С. 568], [5, С. 540], [6, С. 10]. Это шкала порядка. Существующий принцип позволяет измерять качественные, не имеющие строгой количественной меры, показатели. В результате получаемая информация имеет широкий диапазон неопределённости, который лишает возможности однозначно применять решения о достигнутом уровне совершенства станка. Однако отсутствие иных предложений в этом направлении, приводит к необходимости использования данного подхода в настоящее время. Этот метод оценки результатов конструкторских решений приводит к потерям времени и средств в результате того, что приходится осуществлять повторные работы для апробации другого способа стабилизации термических воздействий. Современный уровень требований к процедуре создания конструкции станков требует метода более точного определения термического состояния конструкции. Одно из возможных решений данной проблемной ситуации является разработка метода измерения данного свойства и в частности разработки шкалы оценки свойства конструкции противостоять действию термических процессов.

Измерением качества различных технических устройств занимается наука квалиметрия [7, С. 18]. Квалиметрия сформировала для оценки уровня свойств, технических устройств, четыре типа шкал [8, С. 23], [9, С. 34], [10, С. 5]. Это шкала наименований; шкала порядка; шкала интервалов и шкала отношений. В ССЗ станкостроения в настоящее время для оценки эффективности конструкторских решений по термическим процессам используют шкалу порядка.

Для того чтобы целенаправленно управлять процессом выбора способа воздействия на термическое состояние конструкции, требуется иметь шкалу, в основании которой лежит шкала более «мощная», чем шкала порядка. Например, на уровне шкал интервалов или шкалы отношений [8, С. 12].

Наличие такой шкалы применимо в работах по отладке опытного образца станка, а также при проведении приёмосдаточных испытаниях. Известно, что продвижение в количественном описании изучаемого явления даёт возможность для качественно нового проникновения в сущность такого явления как изменение параметров несущей системы станка (НСС) под действием термических процессов [11, С. 11]. Наличие шкалы, позволяющей количественного определения свойства, формирует возможность детального изучения свойства конструкции противодействовать термическим процессам. Параметры каждой шкалы для своего формирования требуют выполнения определённых условий. Вопрос в данной проблеме состоит в формировании условий, выполнение которых позволит разработать шкалу отношений исследуемого свойства.

Целью данной разработки является формирование шкалы на уровне шкалы отношений для количественного определения свойства конструкции противодействия термическим процессам. Для достижения поставленной цели требуется решить ряд задач: сформировать метод получения единицы

измерения данного свойства, определить условия, выполнение которых требует данная шкала, произвести апробацию сформированных положений для производства измерения исследуемого свойства.

Первым шагом при формировании шкалы является формирование способа получения единицы измерения исследуемого свойства. Оценка свойства конструкции противодействия термическим процессам формируется внутренней структурой конструкции. Количественное определение данного свойства прямым измерением не удаётся. Для количественного определения этого свойства используют косвенный метод измерения [12, С. 28]. Косвенное измерение состоит в том, что измеряется не сама величина свойства, а другие величины, связанные с ней функционально. Числовое значение величины, подлежащее оценке, при косвенном измерении, получается путем соответствующих расчетов на основании зависимостей, существующих между величинами и выраженных в математической форме. При осуществлении данного способа на конструкцию подаётся термическое воздействие известной величины. Одновременно оценивается реакция конструкции на это воздействие. Значение величины свойства определяют, как отношение реакции к величине воздействия.

$$\text{Значение величины свойства} = \frac{\text{значение величины реакции}}{\text{значение величины воздействия}}$$

В качестве реакции используют изменение параметров геометрической точности станка, которые в конечном итоге определяют точность производимых деталей. Это пять параметров, определяющих положения базы инструмента относительно базы под заготовку (три линейных величины по осям координат и две угловых координаты). Эти параметры сосредоточенные, представлены в линейно-угловых величинах и определяют точность станка. Параметры термического воздействия на НСС, которые используют при исследовании термического свойства, как правило, распределённые. Это температура конструкции, либо частота вращения шпинделя, исследуют действие тепловых потоков и т.д. Их применение приводит к результату характеризующегося неопределённостью в оценке. В качестве показателя, определяющего величину термического воздействия, как правило, применяют температуру конструкции [12, С. 10].

Для того чтобы использовать распределённые параметры, например, параметр температуры, в оценке свойства конструкции, требуется иметь температуру, сосредоточенную в определённой точке несущей системы станка. Причём температура этой точки должна однозначно согласовываться с изменением параметра геометрической точности. В ССЗ устойчивой методики по определению положения такой точки на конструкции обнаружить не удалось. Аналогичное положение складывается и с остальными параметрами термического воздействия на НСС. В данной работе использовали параметр потребляемой мощности на входе питания станка [13, С. 35]. Это параметр сосредоточенный, термодинамический. В качестве единицы термического свойства предлагается использовать [мкм/кВт*час для линейных перемещений и мкм/100 мм на кВт*час в угловом отношении]. Физически данная единица показывает на сколько мкм перемещается база станка под действием одного кВт* часа в линейном отношении и на какой угол деформируется конструкция при действии одного кВт*часа мощности. В силу того, что термическое воздействие формируется за счёт теплоты образуемой работой механизма шпинделя, а работа шпинделя имеет достаточно широкий диапазон изменения, то требуется иметь условия, позволяющие однозначно воспроизводить термическую нагрузку на конструкцию. Для выполнения однозначности условия требуется сформировать закон воздействия при проведении исследования термического свойства. В данном случае есть возможность использовать предложение в [14 С. 44]. Закон воздействия представлен на рисунке.

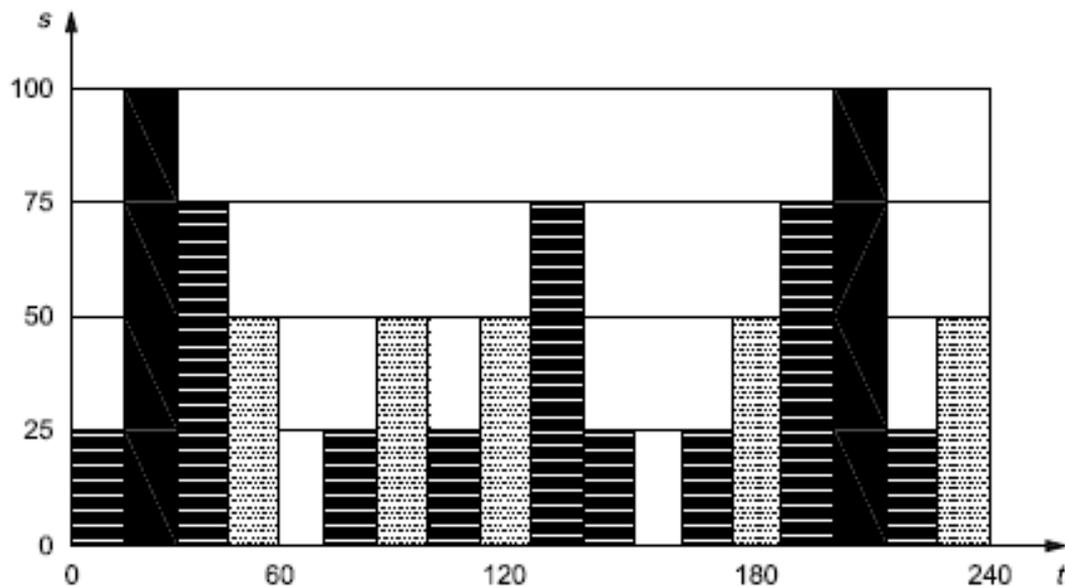


Рис. 1 – Закон термического воздействия на несущую систему станка

Закон состоит из чередования работы шпинделя с разной интенсивностью и перерывов в работе. По оси ординат отложены значения величин частот вращения шпинделя в процентном отношении к максимальному значению. По оси абсцисс отложены значения времени работы в минутах. Из этой же работы используем методику учёта влияния температуры окружающей среды. Выполнение этих условий гарантирует однозначность воспроизводства термического воздействия на конструкцию станка. Получив значение единицы свойства, можно переходить к выполнению следующего условия.

Шкала отношений отличается от шкалы порядка тем, что в ней определено положение нулевой точки, точки начала отсчёта уровня термического свойства.

Для шкалы отношений требуется наличие таких условий, при которых при воздействии теплоты величина деформации конструкции равнялась нулю. Реализация таких условий возможна при создании термически симметричной конструкции. Такое состояние конструкции обеспечивается конструкторскими методами.

Шкала с равномерным делением диапазона измерения является всегда предпочтительным с позиций удобства пользователя. Известно, что переход конструкции из одного равновесного термического состояния в другое не противоречит экспоненциальной зависимости. Такая форма перехода не обеспечивает равенства шага на шкале за время переходного процесса. Для обеспечения линейной зависимости между термическим воздействием и реакцией конструкции приходится переводить оба значения в логарифмическую форму.

Показатель свойства станка = логарифм отклика / логарифм воздействия. Данный показатель характеризует свойство конструкции как термическую жёсткость.

Дальнейшее формирование шкалы требует иметь несколько реперных точек исследуемого свойства. Одна точка это начало шкалы. В силу того, что термическое движение конструкции имеет возможность проявляться как в положительном, так и в отрицательном направлениях, то шкалу продолжают от нуля в обоих направлениях. Следующие точки характеризует величину термического перемещения баз станка в момент постоянной времени переходного процесса из одного термического равновесного состояния в другое, в обоих направлениях

Все три точки располагаются на прямой линии, определяющей расположение значений свойств исследуемых станков.

Воспроизводимость единицы измерения осуществляется набором стандартных средств измерения. Средство измерения состоит из трёх информационных устройств. Это линейно-угловые средства для оценки реакции конструкции. Ваттметр для оценки степени влияния термических воздействий на конструкцию, термометра для оценки влияния изменения температура окружающей среды на термическое состояние конструкции и хронометр для синхронизации процессов измерения. Средство измерения свойства конструкции противодействия термическим воздействиям представляет собой совокупность указанных средств, работающих при съёме информации одновременно.

Такие операции как поверка и градуировка, средств измерения, входящих в состав измерительного устройства, разработаны в соответствии с требованиями соответствующих нормативных документов.

Обеспечив все выше перечисленные условия, апробировали их путём исследования двух станков. Станки одинаковой конструкции, но разного класса точности. Один фрезерный станок нормальной точности 676, другой станок повышенной точности 676П. Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица – Результаты исследования термической жёсткости станков

Оси станка	Модели станков		Примечание
	676 П	676	
OX	-0,4	3,8	Мкм/кВт
OY	14,5	23,7	
OZ	3,1	9,8	

В таблице приведены значения линейной термической жёсткости по соответствующим координатам

Предлагаемая шкала и средство измерения количественного значения свойства конструкции противостоять действиям термических процессов формирует механизм оценки свойства НСС. Наличие такого механизма позволяет повысить качество получаемой информации о том, как применяемое конструкторско-технологическое решение реализуется на практике на основе количественной оценки результатов применения.

Область применения данного предложения ограничено использованием свойств станков одного типа и одного размерного ряда. Для универсального применения предлагаемого подхода, т.е. для оценки свойств разных моделей, свойства разных типов станков противодействовать термическим процессам, требуется проводить исследования. Эти исследования призваны выработать условия и способ термического воздействия на различные конструкции, при действии одного и того же значения термического воздействия для обеспечения сравнимости результатов.

Наличие шкалы и средств измерения создаёт возможность, при исследовании термических свойств станка, иметь механизм по оценки принятых решений на количественном уровне. Наличие шкалы такого уровня как шкала отношений создаёт возможность получать информацию более высокого качества по сравнению со шкалой наименований. Что создаёт возможность производить исследования с возможностью проникать глубже в физическую сущность термических явления. Для того чтобы иметь возможность применения данного подхода к измерению уровня термического свойства, требуется проведения работы по разработке воссоздания единого уровня термического воздействия на конструкцию станков разных размеров и типов.

Список литературы / References

1. Юрин В. Н. Влияние тепловых деформаций на точность работы гидрокопировального агрегатного станка // Станки и инструмент. – 1970- №12 – С. 18-20.
2. Кузнецов А.П., Косарев М.В. Классификация типовых видов температурных деформаций металлорежущих станков. //СТИН, 2013, №9, С13-18.
3. Точность механической обработки и пути ее повышения. / Под. ред. А. П. Соколовского-М.- Л.: Машгиз, 1951. – 487 с.
4. Jungnickel G. Wärmeübertragung durch freie Konvektion an Maschinenbauteilen. Maschintnbautechnik/ 1979/ vol.28/ N.72/ pp 568-573
5. Jacob K. Beurteilungskriterien für das termische Verhalten von Werkzeugmaschinen. Maschinenbautechnik. 1981. v.30. №12. P. 540-544.
6. Квалиметрия и диагностирование механизмов /Под ред. Е.Г.Нахапетяна.- М.: 1979, -204с
7. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. М.: Экономика, 1982г. 256 с.
8. Фомин В.Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация. - М.: «ТАНДЕМ». Изд-во «ЭКМОС», 2002, - 184с.
9. Андрианов Ю. М. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении.Л.: Машиностроение,- 1990 – 221с.
10. Хованов Н. В. Математические основы теории шкал измерения качества- Л.: Ленинградский университет, 1962. – 188 с.
11. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
12. Поляков А.Н., Дьяконов П.И. Исследование теплового состояния станков с помощью нейронных сетей. // СТИН, 2006, С 10-13.
13. Дмитриев Б.М. Количественная оценка свойства металлорежущего станка сопротивляться термическим воздействиям. Екатеринбург, "Международный научно-исследовательский журнал", 2016, № 9-51, - С. 35-37. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26678750>
14. Международный стандарт ISO 230-3, вторая редакция от 15.08.2007. Инструкция по испытаниям металлорежущих станков. Часть 3. Определение тепловых воздействий. – М.: Стандарты, 2009, -44 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yurin V. N. Vliyaniye teplovykh deformatsiy na tochnost' raboty gidrokopiroval'nogo agregatnogo stanka. [Influence of thermal deformations on the accuracy of the hydrocopy aggregate machine] // Stanki i instrument. [Machines and tools] – 1970- №12 – P. 18-20. [in Russian]
2. Kuznecov A.P., Kosarev M.V. Klassifikacija tipovykh vidov temperaturnyh deformatsij metallo#uschih stankov [Classification of typical types of temperature deformations of metal-cutting machines] // STIN[Machine tools, technology, tools], 2013, №9,P13-18. [in Russian]
3. Tchnost' mehani4eskoj obrabotki i puti ee povybenija [Accuracy of machining and ways to improve it] / Pod. red. A. P. Sokolovskogo. -M.- L.: Mahgiz[Machine-building publishing house], 1951. – 487 P. [in Russian].
4. Young nickel G. Wärmeübertragung through a free convection on the machine elements of construction. Maschintnbautechnik/ 1979/ vol.28/ N.72/ pp 568-573.
5. Jacob of criteria of reasoning K. fur termische behavior of instrumental machines. Machine-building technique. 1981. v.30. №12. P. 540-544.

6. Kvalimetriya i diagnostirovaniye mekhanizmov [Qualimetry and diagnosis of mechanisms] / Pod red. Ye.G.Nakhapetyana.- M.: 1979, -204 p. [in Russian]
7. Azgal'dov G.G. Teorija i praktika ocenki kachstva tovarov [Accuracy of machining and ways to improve it]. M.: Jekonomika [Economy], 1982. 256 p. [in Russian]
8. Fomin V.N. Kvalimetriya. Upravleniye kachestvom. Sertifikatsiya. [Qualification. Quality control. Certification] - M.: «TANDEM». Izd-vo «EKMOS» [Publishing house "EKMOS"], 2002, - 184 p. [in Russian]
9. Andrianov YU. M. Kvalimetriya v priborostroyenii i mashinostroyenii. [Qualimetry in Instrument Making and Mechanical Engineering] M.: Mashinostroyeniye, [Mechanical Engineering] - 1990 – 221p. [in Russian]
10. Khovanov N. V. Matematicheskiye osnovy teorii shkal izmereniya kachestva. - L.: Leningradskiy universitet [Leningrad: Leningrad University], 1962. – 188 p. [in Russian]
11. Novitskiy P. V. Osnovy informatsionnoy teorii izmeritel'nykh ustroystv.[Fundamentals of the Information Theory of Measuring Devices] – L.: Energiya [Energy], 1968. – 248 p.
12. Polyakov A.N., D'yakonov P.I. Issledovaniye teplovogo sostoyaniya stankov s pomoshch'yu neyronnykh setey.[Study of the thermal state of machines with the help of neural networks] //STIN, [Machine tools, technology, tools] 2006, P. 10-13. [in Russian]
13. Dmitriyev B.M. Kolichestvennaya otsenka svoystva metallorezhushchego stanka soprotivlyat'sya termicheskim vozdeystviyam. [Quantification of the property of a metal-cutting machine to resist thermal influences.]Yekaterinburg, "Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal" [International Scientific and Research Journal], 2016, № 9-51, - P. 35-37. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26678750>. [in Russian]
14. Me#dunarodnyj standart ISO 230-3, vtoraja redakcija ot 15.08.2007 [International standard ISO 230-3, second edition of August 15, 2007]. Instrukcija po ispytaniyam metallo#uschih stankov [Instructions for testing machine tools]. Част' [Part] 3. Opredelenie teplovyh vozdeystvij [Determination of thermal effects]. - 44 P. [in English]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.104>

Жильцов С.А.¹, Карпушин А.А.², Власюк С.Н.³

¹ORCID: 0000-0003-3206-5194, Ассистент департамента инженерного бизнеса и менеджмента инженерной академии, Российский университет дружбы народов

²ORCID: 0000-0002-3723-3292, Магистрант департамента инженерного бизнеса и менеджмента инженерной академии, Российский университет дружбы народов

³ORCID: 0000-0002-5528-3920, Магистрант департамента инженерного бизнеса и менеджмента инженерной академии, Российский университет дружбы народов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕЛИОТРОПИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Аннотация

Все больше и больше отдельных регионов вкладывают средства в возобновляемую энергетику. Объективно существует угроза изменения климата за счет использования горючего топлива. Это означает, что все больше и больше стран будут переходить на экологически безопасную и возобновляемую энергетику – солнечную, ветровую и приливную.

Цель данной работы – представить использование гелиотропических солнечных панелей для автономного электроснабжения потребителей, выполнить анализ рынка солнечных панелей используемых в качестве автономного источника питания для уличного освещения и станций зарядки устройств в условиях больших отклонений углов на диаграмме солнечного пути для регионов, удаленных от экватора.

Гелиотропические установки – это эффективный способ управления солнечной панелью за счет корректировки ее положения относительно солнца. Это особенно актуально для регионов, удаленных от экватора. В данной работе кратко представлен финансовый прогноз рынка солнечной энергетики, предложена конструкция солнечной установки гелиотропического типа и приведено ее сравнение с классической стационарной установкой.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, гелиотропические солнечные установки.

Zhylytsov S.A.¹, Karpushyn A.A.², Vlasiuk S.N.³

¹ORCID: 0000-0003-3206-5194, Assistant of the Department of Engineering Business and Management of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN)

²ORCID: 0000-0002-3723-3292, Graduate Student of Business Administration and Management Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN)

³ORCID: 0000-0002-5528-3920, Graduate Student of Business Administration and Management Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN)

USING HELIOTROPIC SOLAR PANELS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF CONSUMERS

Abstract

More and more individual regions are investing in renewable energy. There is an objective threat of climate change due to the use of combustible fuel. This means that more and more countries will switch to ecologically safe and renewable energy – solar, wind and tidal.

The purpose of this work is to discuss the use of heliotropic solar panels for autonomous power supply to consumers, to analyze the market of solar panels used as a stand-alone power source for street lighting and charging stations under the conditions of large angles deviations in the solar path diagram for regions remote from the equator.

Heliotropic installations are an effective way to control solar panels by adjusting its position relative to the sun. This is especially true for regions remote from the equator. The following paper contains financial forecast for the solar energy market and the design of a solar installation of the heliotropic type. The comparison with a classical stationary installation is provided.

Keywords: renewable energy, solar energy, heliotropic solar installations.

Большое количество отдельных регионов вкладывают средства в возобновляемую энергетику. Так, Саудовская Аравия объявила тендеры на строительство крупных объектов солнечной и ветряной энергетики на общую сумму \$50 млрд.

Объективно существует угроза изменения климата за счет использования горючего топлива. Это означает, что все больше и больше стран будут переходить на экологически безопасную и возобновляемую энергетику – солнечную, ветровую и приливную.

С переходом в третью промышленную революцию, ячейкой производства труда станет домашнее хозяйство. Мы все чаще слышим о появлении распределенных сетей – Smart Grid, в которых каждый потребитель энергии может стать его производителем.

Целью данной работы – выполнить анализ рынка солнечной панели, которую можно использовать в качестве автономного источника питания для уличного освещения и станций зарядки устройств в условиях больших отклонений углов на диаграмме солнечного пути для регионов, удаленных от экватора.

2015 год стал рекордным по приросту мощностей в фотоэлектрической и ветряной энергетике мира – более 50 и 60 ГВт за год, соответственно [1]. За период с 2005 г. по 2015 г. установленная мощность ветровых электростанций увеличилась в 9 раз, фотоэлектрических – в 64 раза. Прирост инвестиций за последний год составил более \$329 млрд., где более половины (\$161 млрд.) направлен на солнечную энергетику. Для сравнения, в отрасль по добыче углеводородов было инвестировано \$130 млрд.

Министерство возобновляемой энергетики Индии к 2021 году планирует создание 10 солнечных плантаций площадью 10 тысяч гектар каждая с производительностью 4 кВт*ч на метр квадратный. Цель проекта – достигнуть выработки 1 ГВт электрической энергии к 2022 году. На основании этого можно сделать вывод, что Индия, таким образом, открывает новый инвестиционный коридор для ВИЭ, что позволит увеличить приток капитала и обеспечить создание сотни тысяч рабочих мест. Прогнозируемая установленная мощность всех мировых солнечных электростанций к 2020 году будет составлять порядка 700 ГВт, из которых на лидера, Китай, придется – 150 ГВт. Такие прогнозы связаны с бурным ростом и интеграцией возобновляемых источников в домашнее хозяйство и предметы быта. Драйвером, для развития портативных ВИЭ, являются инвестиции в Internet of Things, wearable, smart clothes – это портативные панели, интегрированные в общую систему дома, смартфоны и ткань одежды.

Наблюдается закономерность, что каждое удвоение установленной мощности фотовольтаических элементов приводит к снижению их стоимости на 26%. По прогнозам Международного агентства возобновляемой энергетики (IRENA) [2, С. 132], стоимость модулей может упасть до диапазона \$0.3-0.4/Вт к 2025 году, а цена на электроэнергию будут составлять 3 цента за кВт*ч.

Для отдельных регионов России (богатых солнечными ресурсами), по прогнозу IRENA, было подсчитано, что капитальные затраты на строительство объектов солнечной генерации составят до 50000 руб/кВт (средний размер удельных капитальных затрат к 2025 году) при коэффициенте использования установленной мощности 18% и процентной ставки 15% годовых смогут обеспечить стоимость электроэнергии за 1 кВт*ч на уровне 2.6 рубля. При смягчении условий кредитования и уменьшения ставки до 10%, стоимость будет равна 2 рублям. Однако в некоторых регионах России, достаточно удаленных от экватора, мало солнечной энергии, а также бывает полярная ночь. Поэтому наиболее эффективно использовать солнечную энергию в южных районах России.

Применение ВИЭ целесообразно для домашних хозяйств. Это подкрепляется тем фактом, что традиционные энергостанции являются одной из главных причин глобального потепления [3]. Установка портативных фотовольтаических модулей, как основных энергетических элементов автономного дома, позволит превратить любой дом из потребителя, в поставщика энергии. Однако необходим проект, который будет направлен на оптимизацию расхода энергии от солнечных панелей. Если рассматривать квартиру, как модель домашнего хозяйства в рамках плотной застройки с минимально-доступным свободным пространством для установки фотовольтаических элементов, то можно предложить проект «Гелиотропической солнечной установки» (ГУ).

Гелиотропизм – это способность растений поворачиваться вслед за солнцем, также известное как «Солнечный трекер». Подобное свойство растений позволяет максимизировать эффективность фотосинтеза.

Преобразование солнечной энергии в электрическую происходит за счет солнечной радиации, падающей на фотовольтаическую ячейку (полупроводник). Ячейка, содержащая полупроводники n и p типа, получившая энергию, создаст пару носителей заряда, которые образуют p-n переход и как следствие – падение напряжения на его концах.

Масштабируемость ГУ позволяет устанавливать их на лоджиях, балконах, крышах, в парках. Такие установки могут быть источником энергии для уличного освещения и ламп внутри помещений, а также использоваться как станции зарядки портативных устройств. Преимущества данной системы: меньшие требования к площади установки и эффективная генерация энергии за счет системы слежения за солнцем. Недостаток – более высокая стоимость за счет рамной конструкции и дополнительного обслуживания.

Современные солнечные панели можно разделить на два типа по материалам: органические (обычно PEDOT панели) и не органические (на основе кремния). Преимущество органических солнечных панелей: меньшая температура изготовления, гибкие свойства материалов (могут устанавливаться на изогнутые поверхности) [4]. К сожалению, технология производства ещё не оптимизирована, и стоимость панелей на основе органических материалов остается высокой [5, С. 446]. В данной работе будут рассмотрены кремниевые панели, но, в будущем, подразумевается использование органических материалов.

В качестве солнечного элемента использовался модуль от компании Jinshan Peroleum Company с рабочим напряжением 0.5 В и рабочим током 80 мА. Данный фотовольтаический элемент используется в качестве экспериментального, для оценки функционирования установки на территории России.

В работе рассмотрена экспериментальная ГУ, стационарная без автоматической коррекции положения и модель усовершенствованной ГУ с автоматической коррекцией положения относительно солнца. Коррекция положения происходит за счет изменения угла по 2 осям. Экспериментальная ГУ содержит 4 подложки, на которых установлены 9 солнечных элементов, каждый из которых генерирует напряжение 0.4 - 0.6 В, как показано на рисунке 1. Все элементы подключены последовательно.

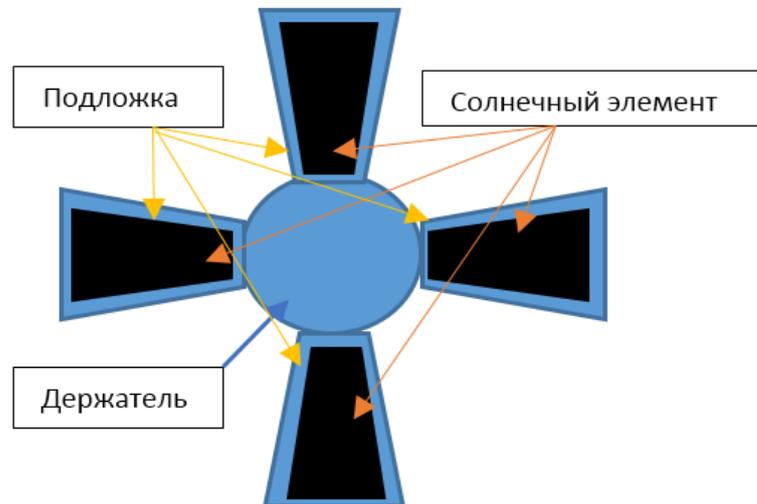


Рис. 1 – Гелиотропическая солнечная панель, стационарная

На рисунке 2 представлена типичная диаграмма солнечного пути над экватором [8]. Для таких зон достаточно изменять угол наклона панели в незначительном диапазоне, что не подходит для регионов России, т.е. такая установка будет работать неэффективно из-за изменения положение солнца относительно экватора на 70° в большинстве регионов РФ (для прим. взят город Москва) (рис. 3). Недостатком экспериментальной ГУ является её стационарность, т.е. отсутствия автоматического изменения положения наклона панели относительно солнца.

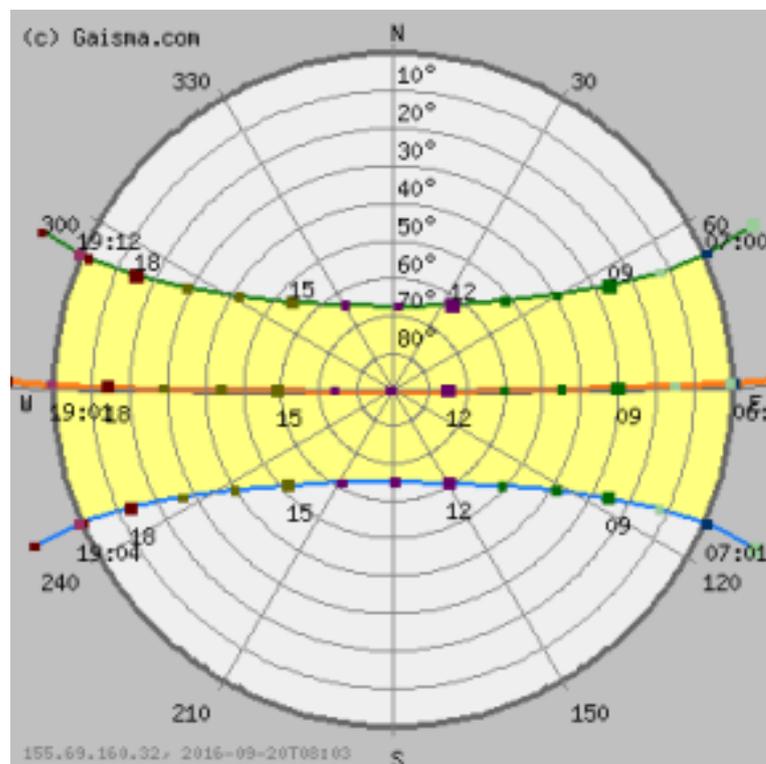


Рис. 2 – Диаграмма солнечного пути над экватором в течение дня

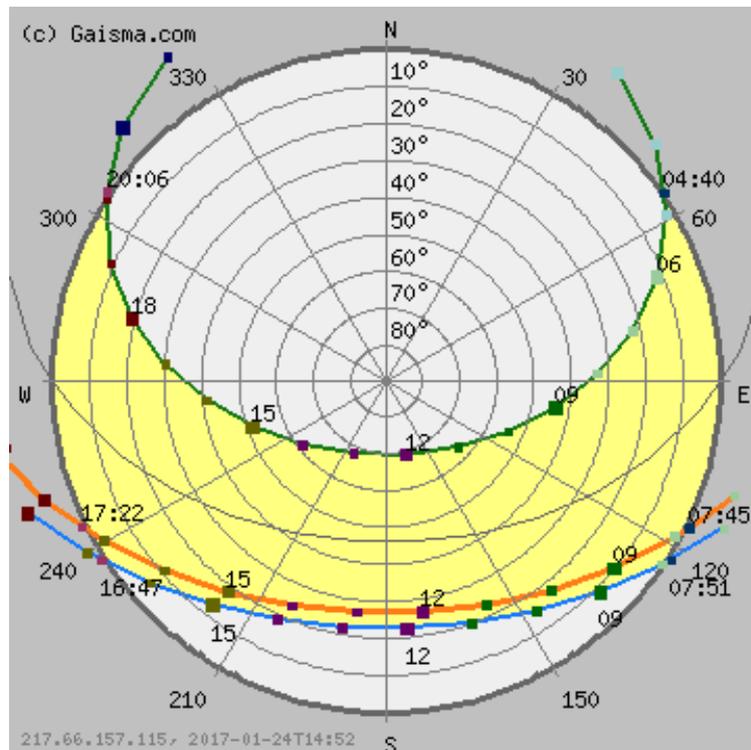


Рис. 3 – Диаграмма солнечного пути над Москвой

С перспективой использования PEDOT солнечных элементов, которые позволяют использовать в качестве подложки фигуры нелинейной плоскости, а также для повышения эффективности используемого пространства, в данной работе предложена конструкция усовершенствованной ГУ на лепестковой подложке с автоматической коррекцией положения для регионов, отдаленных от экватора (рис.4).

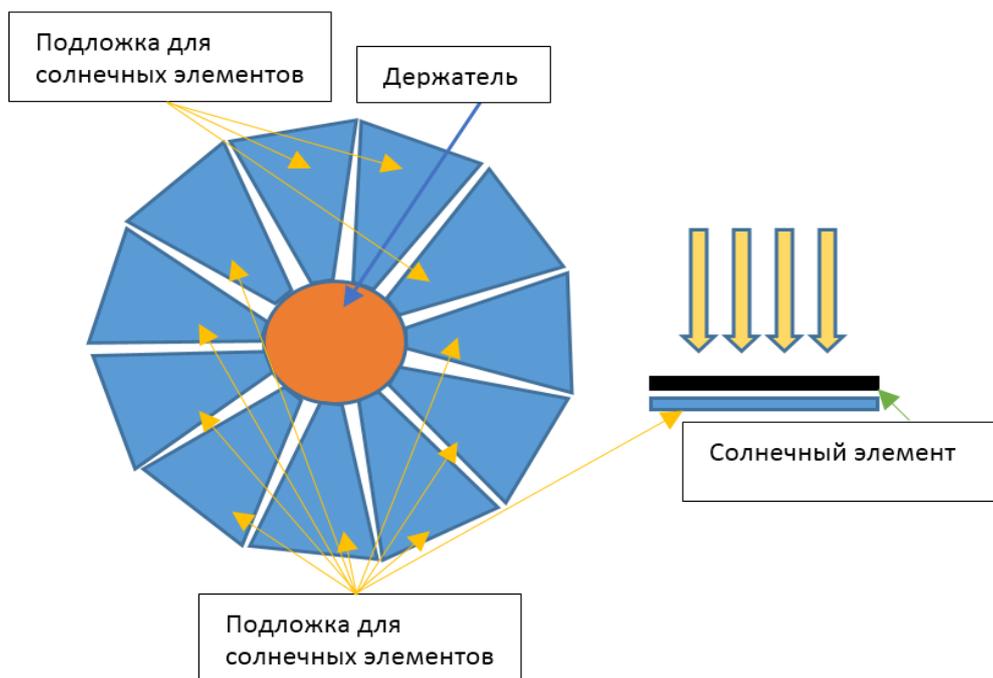


Рис. 4 – Принципиальная схема ГУ на лепестковой подложке

Особенностью данной схемы является то, что каждый «лепесток» конструкции самостоятелен и может изменять свое положения относительно центрального держателя. Это позволяет производить самоочистку панели (например, автоматическую отчистку от пыли, или снега), за счет увеличения угла наклона подложки. Функциональная схема ГУ на лепестковой подложке представлена на рисунке 5.

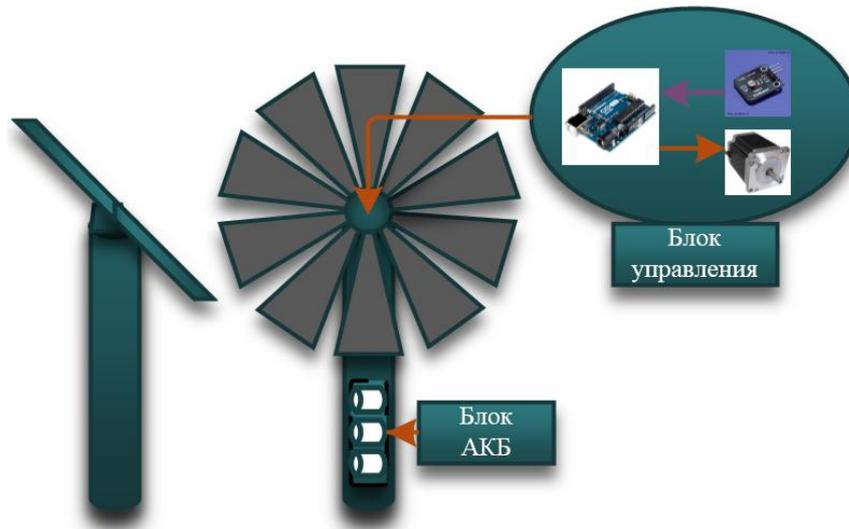


Рис. 5 – Функциональная схема ГУ

В роли вычислительной платформы для блока управления была выбрана плата Arduino Uno. Плата обладает необходимым количеством аналоговых и цифровых входов-выходов, которые необходимы для управления системой, а также необходимой тактовой частотой для выполнения алгоритма работы ГУ согласно требованиям [7]. Блок АКБ необходим для обеспечения электроэнергией установки в случае минимального, по освещенности, светового дня, а также для питания поворотных механизмов и двигателей.

Система управления работает следующим образом (рис.6): центральной держатель ГУ оборудован датчиком освещенности, включенным в мостовую схему Уилсона. В зависимости от интенсивности освещения, датчики меняют свое сопротивление. Данные, полученные с датчика, усиливаются операционным усилителем и подаются на аналоговый вход Arduino UNO. По разработанному алгоритму происходит корректировка положения солнечной панели относительно положения солнца. Автоматическая корректировка происходит раз в 30 минут. Такой интервал выбран исходя из соображения экономии батареи и масштабируется в зависимости от солнечной диаграммы местности.



Рис. 6 – Схема работы солнечной панели «Гелиотропическая панель» на лепестковой подложке

Кроме корректировки положения в зависимости от изменения интенсивности освещения, система управления имеет в своем составе блок контроля тока (КТ). Функция данного блока – проверка величины выходного тока для определения загрязненности панели. Величина тока сравнивается с эталонной для данного уровня освещенности. Если величина тока отличается от эталонной более чем на 30%, то инициализируется механизм очистки поверхностей: изменение угла панелей с последующей обдувкой (опционально).

Были получены выходные характеристики для экспериментальной ГУ по двум сценариям: с неизменным положением и с изменением положения панелей через определенный интервал времени. Результаты представлены на рисунке 7.

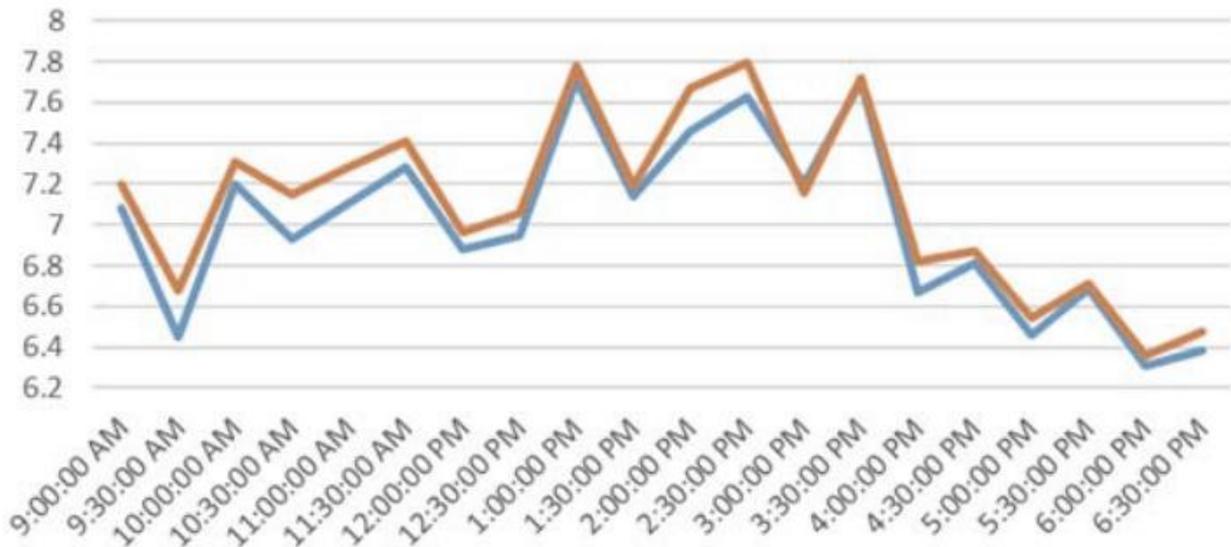


Рис. 7 – Результаты работы ГП в случае стационарного расположения и периодической коррекцией положения относительно солнца (голубая линия – стационарная, оранжевая – с коррекцией)

Можно заметить, что при грубой коррекции с периодом 30 минут, выходное напряжение ГП с коррекцией положения выше на ~6.3%, относительно стационарной панели. Ожидается, что интеграция автоматического модуля корректировки позволит увеличить значения этого показателя до 10-15%.

На сегодняшний день управляемые солнечные батареи нашли широкое применение и апробацию, немецкий концерн "Гильдемайстер АГ" (Gildemeister AG) успешно внедрил на площадке станкостроительного завода в Ульяновске солнечные батареи, управляемые с помощью компьютера.

Таким образом, в работе представлен анализ рынка возобновляемых источников энергии, а именно солнечной энергетики: финансовые и инвестиционные прогнозы в разных регионах, в том числе и РФ.

Было представлено техническое решение для малой солнечной энергетики – «Гелиотропическая панель» стационарная и теоретическая модель «Гелиотропической панели» лепесткового типа с автоматической корректировкой для регионов, удаленных от экватора.

Был поставлен эксперимент по двум сценариям с «Гелиотропической панелью»: измерялась величина выходного напряжения со стационарной панели, чье положение не менялось со временем, и выходного напряжения с установки, чье положение изменялось каждые 30 минут. Преимущество грубой коррекции положения составило 6.3%.

Был написан алгоритм коррекции положения относительно максимума освещенности солнца для платформы Arduino Uno.

Дальнейшее направление разработки: реализовать экспериментальный образец «Гелиотропической панели» лепесткового типа с автоматической коррекцией положения, а также протестировать солнечные элементы на основе органических материалов.

Список литературы / References

1. Отчет о развитии ВИЭ и предложения в энергетическую стратегию России [Электронный ресурс]. - URL: <http://gisre.ru> (дата обращения: 22.03.2017).
2. Renewable Energy Market Analysis: The GCC Region // The International Renewable Energy Agency. - Abu Dhabi, 2016. - 454 p.
3. Causes effects solution urbanization. URL: <http://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-urbanization.php> (дата обращения: 22.03.2017).
4. Kukreti K., Pratap A., Brijeh K. Recent Advancements and Overview of Organic Solar Cell. ICCCA, 2016.
5. Rath, J. Low temperature polycrystalline silicon: a review on deposition, physical properties and solar cell applications // Solar Energy Materials and Sola-Cells. 2003.76(4). P.431-487
6. Rasool F., Driberg M., Badruddin N., Singh B. Modeling of PV Panels Performance Based on Datasheet Values for Solar Micro Energy Harvesting, 2016.
7. Chien L.J., Driberg M., Sebastian P., Hiung L.H. A simple solar energy Harvester for Wireless Sensor Networks, 2016.
8. Энергия Солнца // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Otchet o razvitii VIJe i predlozhenija v jenergeticheskiju strategiju Rossii [The report on development of RES and the offer in power strategy of Russia] [Electronic resource]. - URL: <http://gisre.ru> (accessed: 22.03.2017). [in Russian]
2. Renewable Energy Market Analysis: The GCC Region // The International Renewable Energy Agency. - Abu Dhabi, 2016. - 454 p.
3. Causes effects solution urbanization. - URL: <http://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-urbanization.php> (accessed: 22.03.2017).
4. Kukreti K., Pratap A., Brijeh K. Recent Advancements and Overview of Organic Solar Cell. ICCCA, 2016.

5. Rath, J. Low temperature polycrystalline silicon: a review on deposition, physical properties and solar cell applications. *Solar Energy Materials and Sola-Cells*. 2003; 76(4): 431-487
6. Rasool F., Drieberg M., Badruddin N., Singh B. Modeling of PV Panels Performance Based on Datasheet Values for Solar Micro Energy Harvesting, 2016.
7. Chien L.J., Drieberg M., Sebastian P., Hiung L.H. A simple solar energy Harvester for Wireless Sensor Networks, 2016.
8. Energy of the Sun // *Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Efron*: 86 t. (82 t. And 4 ext.). - St. Petersburg, 1890-1907.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.063>

Касымова В.М.¹, Куржумбаева Р.Б.², Сариев Б.И.³, Абдиева З.Э.⁴, Касмамбетов Х.Т.⁵

¹ORCID: 0000-0002-3063-0439, доктор экономических наук,

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, в г. Бишкек,

²ORCID: 0000-0002-9155-2876, кандидат технических наук,

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, в г. Бишкек,

³ORCID: 0000-0003-0849-6672, старший преподаватель,

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, в г. Бишкек,

⁴ORCID: 0000-0002-4349-3111, старший преподаватель,

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, в г. Бишкек,

⁵ORCID: 0000-0001-7712-355X, старший преподаватель,

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, в г. Бишкек

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И РОЛЬ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ УСПЕШНОЙ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

Аннотация

В данной работе отмечены потенциальные возможности развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Кыргызской Республики (КР). Одним из важнейших условий успешного развития является обеспечение подготовки специалистов высокой квалификации, образованных и обладающих широким спектром компетенций, умеющих ориентироваться в потоке поступающей информации, способных грамотно и мобильно решать сложные производственные задачи при постоянно изменяющихся условиях. Знания и умения формируются в ходе образовательного процесса, в результате которого выпускник становится востребованным в качестве профессионала, при условии соответствия требованиям, предъявляемым производством.

Ключевые слова: устойчивое развитие, подготовка кадров, энергетическая безопасность, энергоэффективность экономики, концепция развития энергетики.

Kasymova V.M.¹, Kurzhumbaeva R.B.², Sariev B.I.³, Abdieva Z.E.⁴, Kasmambetov H.T.⁵

¹ORCID: 0000-0002-3063-0439, PhD in Economy,

Kyrgyz State Technical University named after Iskhak Razzakov, Bishkek,

²ORCID: 0000-0002-9155-2876, PhD in Engineering,

Kyrgyz State Technical University named after Iskhak Razzakov, Bishkek,

³ORCID: 0000-0003-0849-6672, Senior Lecturer,

Kyrgyz State Technical University named after Iskhak Razzakov, Bishkek,

⁴ORCID: 0000-0002-4349-3111, Senior Lecturer,

Kyrgyz State Technical University named after Iskhak Razzakov, Bishkek,

⁵ORCID: 0000-0001-7712-355X, Senior Lecturer,

Kyrgyz State Technical University named after Iskhak Razzakov, Bishkek

PERSPECTIVES OF ENERGY STRATEGY OF THE KYRGYZ REPUBLIC AND ROLE OF PERSONNEL TRAINING FOR ITS SUCCESSFUL IMPLEMENTATION

Abstract

The article considers potential opportunities for the development of the fuel and energy complex (FEC) of the Kyrgyz Republic (KR). One of the most important conditions for the successful development of energy strategy is the training of highly qualified specialists, educated and having a wide range of competences, professionals able to navigate the flow of incoming information and competently and quickly solve complex production tasks under constantly changing conditions. Knowledge and skills are formed during the educational process. Graduates become demanded as professionals, provided that the requirements of the production are met.

Keywords: sustainable development, training, energy security, energy efficiency of the economy, the concept of energy development.

Кыргызский государственный технический университет (КГТУ) им. И. Раззакова ведет подготовку кадров для энергетической отрасли реального сектора экономики КР на протяжении 60 лет. Это кузница кадров инженеров-электриков по таким востребованным специальностям как: «Электрические станции», «Электрические сети и системы», «Электроснабжение» (по отраслям) и «Энергосбережение», «НВИЭ», «Релейная защита и автоматика», «Менеджмент в энергетике», «Теплоэнергетика» и др. Энергетический факультет за последние пять лет выпустил 2450 молодых специалистов, в том числе 2288 инженеров-электриков, 59 магистров и 103 бакалавра.

Обеспечение высококвалифицированными специалистами, обладающими профессиональными компетенциями, прописанными в утвержденном Государственном образовательном стандарте высшего профессионального образования КР – это один из реальных путей, способствующих подъему энергетического сектора. В связи с переходом на двухуровневую подготовку и выпуском бакалавров и магистров, в 2017 г. будет осуществлен последний выпуск инженер-электриков, сокращены учебные программы по некоторым специальностям. Из выпускных квалификационных работ бакалавров исключено технико-экономическое обоснование проектов. В связи с чем ожидается снижение качества подготовки молодых кадров для энергетических предприятий, что недопустимо. Продолжить образование в магистратуре остаются единицы. Переподготовка кадров также имеет тенденцию к снижению, количества и качества обучения. В условиях опережающих темпов развития энергетики в перспективе, дефицит специалистов инженер-электриков может увеличиться, что станет тормозом для повышения эффективности энергетического сектора КР.

Можно выделить, что КР обладает достаточными запасами топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в том числе значительными запасами углей и около 30% гидроэнергетических ресурсов центрально-азиатского региона (ЦАР). Потенциальные возможности развития ТЭК реализуются в недостаточной мере - в структуре топливно-энергетического баланса (ТЭБ) доля импорта энергоносителей составляет 21,4%, что оказывает отрицательное влияние на надежность энерго- и топливоснабжения КР [3].

Однако, обладая достаточным потенциалом ТЭР, области КР недостаточно обеспечивают энергетическую безопасность, так как существуют неравномерность размещения ТЭР по территории, низкий уровень их освоения, опережение темпов роста спроса на энергоносители над их предложением и зависимость производства электроэнергии больших и малых ГЭС от природно-климатических условий; импорта природного газа, горюче-смазочных материалов из России, частично угля из Казахстана и закупочных цен на них [4].

Энергетическая безопасность (ЭБ) является наиболее важным условием работы и стратегического развития ТЭК. На ЭБ влияют внешние и внутренние факторы [6].

К внешним факторам относятся: природные (истощение природных ресурсов), климатические (глобальное потепление, стихийные бедствия); геополитические (зависимость от импорта ТЭР, дискриминационные действия отдельных государств и др.), макроэкономические (неустойчивая мировая конъюнктура цен на топливо, дефицит инвестиций и др.).

Внутренние факторы: нерациональная структура ТЭБ, финансовая дестабилизация из-за кризиса неплатежей, социально-ориентированная ценовая и тарифная политика, дефицит инвестиций и уменьшение ее конкурентоспособности, снижение объемов геологоразведочных работ, низкий уровень природоохранной деятельности и экологической безопасности, невыполнение условий международных соглашений по уменьшению влияния ТЭК на окружающую среду и др. Их учет является важным для КР.

Советом обороны КР совместно с Минэнергопромом КР был утвержден уточненный план осуществления мер по борьбе с системной коррупцией в энергетике КР и было поручено Минэнергопрому КР разработать проект Концепции развития энергетики КР до 2030 г [7].

Для разработки концептуальных подходов развития энергетики на будущее требуется системный и программно-целевой подход с определением главной цели, выбора модели и очередности развития, для выполнения выбранных целей на каждом этапе ее проведения [1].

Основная цель – стабильный рост энергетики, энергобезопасность страны, энергоэффективность экономики КР.

Модель развития: Энергетическая политика КР в контексте устойчивого развития должна обеспечить энергетическую, экономическую, экологическую и в целом национальную безопасность страны и продвижение к устойчивому развитию.

Приоритеты достижения поставленной цели [7]:

- регулирование потребностью на энергоносители страны для достижения экономического роста и формирования рациональной структуры ТЭБ;
- стабильная энергетика: обеспечение ЭБ и содействие предотвращению глобального потепления климата;
- международное сотрудничество и усиление энергетической политики;
- энергосбережение и уменьшения техногенного влияния энергетики на экологию, здоровье и продвижение к стабильному росту страны;
- финансовое улучшение: тарифообразование, обеспечение финансовой устойчивости и эффективности энергетических компаний и предприятий ТЭК.

В проекте Концепции на основе аналитического прогноза на энергоносители проработаны три сценария развития энергетики оптимистический, базовый и пессимистический, исходя из задач по реализации главной цели и приоритетов предоставление энергобезопасности и энергоэффективности развития страны и возможностей привлечения внешних инвестиций.

По базовому сценарию ожидается повышение выработки электроэнергии с вводом новых мощностей каскада Верхне-Нарынских ГЭС, Каракечинской ТЭС и Камбаратинской ГЭС-1, второго агрегата Камбаратинской ГЭС-2, а также малых ГЭС и ТЭС, солнечных и биогазовых установок при этом выработка электроэнергии увеличится с 13,5 до 27 млрд.кВт.ч. или в 2,4 раза.

Прогноз выработки по данному сценарию при строительстве Верхне-Нарынского каскада ГЭС, Камбаратинской ГЭС-1 и Кара-Кечинской ТЭС показывает, что возможно обеспечить рост выработки электрогенерации над темпами повышения потребления после 2020 г. и их соотношение составит 1,48, то есть запас в энергосистеме ожидается выше предельного значения 1,15-1,3. При этом потребуется порядка 6,7 млрд. долл. США инвестиций.

Развитие гидроэнергетики, которая является неотъемлемой частью «зеленой экономики» и важнейшей предпосылкой обеспечения устойчивого развития, позволит обеспечить доступ к современным, экологически чистым и недорогим услугам по энергоснабжению [5]. При строительстве Камбаратинской ГЭС-1 мощностью 1860 тыс. кВт в

энергетическом режиме для покрытия спроса потребителей страны в осенне-зимний период возможна эксплуатация Токтогульской ГЭС в проектом режиме с выработкой электроэнергии в зимнее время в количестве порядка 25 % от мощности и наполнением воды в Токтогульском водохранилище, в весенне-летнее время увеличением выработки электроэнергии на Токтогульской ГЭС попутно с попусками воды для ирригационных потребностей, как КР, так и соседних республик. В результате зимние энергетические попуски воды от Камбаратинских ГЭС будут накапливаться и будут перерегулированы Токтогульским водохранилищем под ирригационный график водопотребления, то есть эксплуатация Камбаратинской ГЭС-1 внесет коррективы в сезонный режим притока в Токтогульское водохранилище и, тем самым, позволит в наиболее засушливые сезоны снабжать достаточным количеством воды сопредельные страны низовья.

По оптимистическому сценарию увеличение резерва мощности и экспорта в дополнение к вышеперечисленным перспективным ГЭС и ТЭС по базовому сценарию возможно путем:

- сооружения в период 2020-2025 гг. Казарманского каскада ГЭС мощностью 1160 тыс. кВт с выработкой 4,6 млрд.кВт.ч электроэнергии в год;

- активного привлечения ВИЭ, за счет сооружения малых ГЭС, солнечных и ветро- энергоустановок по регионам страны, которые позволят повысить выработку с 183 млн.кВт.ч в 2015 г. до 1,04 млрд.кВт.ч к 2030г.

При вводе вышеизложенных объектов по прогнозу выработка электроэнергии на период 2015-2030 гг. возрастет в 2,53 раза или с 13,09 млрд.кВт.ч до 33,3 млрд.кВт.ч при повышении потребления в 1,9 раза разница темпов роста выработки возрастет над темпами роста потребления и их соотношение достигнет - 1,33. В этом случае также обеспечится запас мощности в энергосистеме выше предельного уровня энергобезопасности – 1,15-1,3. Таким образом, возможно обеспечить энергобезопасность страны и регионов в перспективе по данному сценарию, однако требуются порядка 12 млрд.долл.США. инвестиций.

При пессимистическом сценарии если не сооружать Камбаратинскую ГЭС-1, Кара-Кечинскую ТЭС и Верхне-Нарынский каскад ГЭС производство электроэнергии возрастет незначительно и повлечет за собой дефицит электроэнергии в объеме более 1 млрд.кВт.ч к 2030 г. В этом случае необходимо ускорить сооружение малых ГЭС и солнечных (СЭС), малых тепловых (ТЭС) и их в доля в структуре баланса электроэнергии достигнет около 8 %. При этом потребуются порядка 4 млрд.долл.США инвестиций.

Производство электроэнергии возрастет к 2030 г. в 1,56 раза при росте потребности в 1,65 раза. Соответственно резерв мощности в энергосистеме будет ограничен и оценивается в 0,95, что ниже порогового значения 1,15. В этом случае необходимо будет снизить темпы роста потребления электроэнергии на 1 млрд.кВт.ч. путем проведения жесткой энергосберегающей политики.

Прогноз баланса электроэнергии в этом случае свидетельствует о сокращении импорта, как и при базовом сценарии вплоть до 2018 года, далее возможно увеличение экспорта до 0,23 млрд.кВт.ч к 2020г. и до 4,4 млрд.кВт.ч к 2025 г. и до 6,3 млрд.кВт.ч к 2030 г., что позволит также войти в единый рынок электроэнергии ЕАЭС с объемом экспорта свыше – 3 млрд.кВт.ч и рынок Центральной и Южной Азии по проекту CASA-1000 – 1,8 млрд.кВт.ч. и 1,5 млрд.кВт.ч в КНР по оптимистическому сценарию. По базовому сценарию прогноз показывает о напряженном балансе вплоть до 2020 года, а также о возможности экспорта только к 2025 и 2030 г. в объеме свыше 4 млрд.кВт.ч, в том числе опеспечить экспорт по проекту CASA-1000 - 1,8 млрд.кВт.ч. и свыше 2 млрд.кВт.ч в энергосистемы стран ЕАЭС на оптовый рынок электроэнергии и (или) КНР.

Поставлены задачи также по обеспечению нормативов потерь электроэнергии на уровне 5 % по передающим и 8-10 % по распределительным электрическим сетям, путем разработки и утверждения Положения по нормированию технологического расхода электроэнергии на передачу и распределение по электрическим сетям и Инструкции по снижению потерь электроэнергии до экономически обоснованного уровня, утверждаемых Правительством КР. Процесс передачи и распределения электрической энергии сопровождается наличием ее потерь. Последние имеют различную природу возникновения и оценки. Указанные потери оказывают существенное влияние на результаты производственно-хозяйственной деятельности энергопредприятий и систему взаимоотношений между ними. Часть потерь является технологическим расходом электроэнергии, необходимым для преодоления сопротивления сети и доставки потребителям выработанной на электростанциях электроэнергии.

Для обеспечения и привлечения инвестиций намечена разработка методологии формирования тарифной политики на энергоносители в направлении их соответствия затратам энергетических компаний и нормативной прибыли. Так как в 2015 г. дефицит тарифа составил 0,59 сом за 1кВт.ч, это повлекло убытки энергетических компаний в объеме 7,2 млрд. сомов. В 2016 г. дефицит тарифа снизился до 0,29 сом за 1 кВт.ч, но в 2017 г. ожидается повышение по плану до 0,55 сом за 1 кВт.ч по данным Национального энергетического холдинга Кыргызстана (НЭХК).

Подготовка кадров для ТЭК должна быть ориентирована на решения проблем, существующих в энергетического секторе. В связи с чем стоят важные задачи по повышению качества образования бакалавров и магистров-инженеров и магистров-исследователей на энергетическом факультете с восстановлением экономической части в квалификационных и выпускных работах. Достижением является открытие специальности «Экономика и управление на предприятиях электроэнергетики» на инженерно-экономическом факультете на кафедре «Экономика промышленности», которые в перспективе будут востребованы. Тесную взаимосвязь с подготовкой кадров имеет развитие научных исследований и опытно-конструкторских работ, которые пришли в упадок из-за отсутствия финансовых средств и восполнения потребностей в них за счет международных проектов и программ, которые не входят в разряд фундаментальных исследований.

В связи с этим необходимо изыскать средства для поддержки энергетических научных исследований как основы инновационного развития всего реального сектора и повышения жизненного уровня населения страны и регионов. Для целевого финансирования подготовки кадров и научных исследований и выпуска востребованных специалистов для энергетических компаний и предприятий целесообразно в перспективе создать Институт энергетики на базе энергетического факультета КГТУ им. И.Раззакова.

Список литературы / References

1. Бушуев В. В. Энергетический потенциал и устойчивое развитие / В. В. Бушуев. - М.: Энергия, 2006. - 320 с.
2. Быкова Е. В. Мониторинг индикаторов энергетической безопасности / Е. В. Быкова. — Кишинев: Типография АНМ, 2008. — 162 с.
3. Касымова В.М. Основы антикризисного управления в энергетике Кыргызской Республики. - Б.: Инсанат, 2009.
4. Постановление Правительства КР "О проекте Национальной энергетической программы Кыргызской Республики на 2008-2010 годы и стратегии развития топливно-энергетического комплекса до 2025 года" от 13 февраля 2008 года № 47, г. Бишкек.
5. Топливо-энергетический баланс Кыргызской Республики за 1990–2009 гг. – Бишкек: Нацстатком, 2010.
6. Энергетика России (1920–2020 гг.). Том 2. Энергетическая политика на рубеже веков. – М.: ИД Энергия, 2008. – 1032 с.
7. Постановление Правительства КР "Об утверждении Плана действий Правительства Кыргызской Республики по реализации Программы Правительства Кыргызской Республики "Доверие и единство" на 2017 год" от 30 января 2017 года № 53 Проект Концепции развития ТЭК до 2030 года.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bushuev V. V. Energeticheskij potencial i ustojchivoe razvitie [Energy Potential and Sustainable Development] / V. V. Bushuev. - M.: Energija, 2006. - 320 p. [in Russian]
2. Bykova E. V. Monitoring indikatorov energeticheskoj bezopasnosti [Monitoring of energy security indicators] / E. V. Bykova. — Kishinev: Tipografi ANM, 2008. — 162 p. [in Russian]
3. Kasymova V.M. Osnovy antikrizisnogo upravlenija v energetike Kyrgyzskoj Respubliki.[Basics of crisis management in the energy sector of the Kyrgyz Republic] - B.: Insanat, 2009. [in Russian]
4. Postanovlenie Pravitel'stva KR "O proekte Nacional'noj jenergeticheskoj programmy Kyrgyzskoj Respubliki na 2008-2010 gody i strategii razvitija toplivno-jenergeticheskogo kompleksa do 2025 goda" [Resolution of the Government of the Kyrgyz Republic "On the Draft National Energy Program of the Kyrgyz Republic for 2008-2010 and the Strategy for the Development of the Fuel and Energy Complex until 2025"] ot 13 fevralja 2008 goda № 47, g. Bishkek [in Russian]
5. Toplivno-jenergeticheskij balans Kyrgyzskoj Respubliki za 1990–2009 gg.[Fuel and energy balance of the Kyrgyz Republic for 1990-2009] – Bishkek: Nacstatkom, 2010 [in Russian]
6. Jenergetika Rossii (1920–2020 gg.). Tom 2. Jenergeticheskaja politika na rubezhe vekov.[Energy of Russia (1920-2020). Volume 2. Energy policy at the turn of the century] – M.: ID Energija, 2008. – 1032 p. [in Russian]
7. Postanovlenie Pravitel'stva KR "Ob utverzhenii Plana dejstvij Pravitel'stva Kyrgyzskoj Respubliki po realizacii Programmy Pravitel'stva Kyrgyzskoj Respubliki "Doverie i edinstvo" na 2017 god" [Resolution of the Government of the Kyrgyz Republic "On approval of the Action Plan of the Government of the Kyrgyz Republic for the implementation of the Program of the Government of the Kyrgyz Republic" Trust and Unity "for 2017"] ot 30 janvarja 2017 goda № 53 Proekt Konceptii razvitija TJeK do 2030 goda . [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.057>Курочкина И.В.¹, Милохова В.И.², Мокшанова Р.А.³, Воронкова Г.В.⁴¹Магистр,

Волгоградский государственный технический университет,

²Магистр,

Волгоградский государственный технический университет,

³Магистр,

Волгоградский государственный технический университет,

⁴ORCID: 0000-0001-5837-3895, Кандидат технических наук, доцент

Волгоградский государственный технический университет

**РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С БОЛЬШИМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ
УЗЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СМЕШАННОЙ ФОРМЕ***Аннотация*

В статье приведена методика расчета систем с односторонними связями по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода. Описан подход к формированию системы разрешающих уравнений, получающихся непосредственно из статических и кинематических условий и условий неразрывности, для пространственных стержневых систем с большими перемещениями узлов, основанный на процедуре пошагового догружения и выполнения расчета в линейной постановке на каждом шаге с учетом новой геометрии системы, достигнутой на предыдущем шаге.

Ключевые слова: метод конечных элементов, классический смешанный метод, геометрическая нелинейность, шарнирно-стержневая система.

Kurochkina I.V.¹, Milokhova V.I.², Mokshanova R.A.³, Voronkova G.V.⁴¹Graduate Student, Volgograd State Technical University,²Graduate Student, Volgograd State Technical University,³Graduate Student, Volgograd State Technical University,⁴ORCID: 0000-0001-5837-3895, PhD in Engineering, Associate Professor,

Volgograd State Technical University,

**SOLUTION OF SPATIAL FRAME STRUCTURE WITH LARGE NODE DISPLACEMENTS BY FINITE
ELEMENTS METHOD IN A MIXED FORM***Abstract*

The article contains the method of system calculation with unilateral links by the finite element method in the form of a classical mixed method. We described an approach to the formation of a system of resolving equations obtained directly from static and kinematic conditions and continuity conditions for spatial frame structures with large node displacements based on the stepwise pre-loading procedure and the calculation in a linear setting at each step with regard to the new system geometry achieved at the previous step.

Keywords: finite element method, classical mixed method, geometrical nonlinearity, hinge-rod system.

С развитием компьютерной техники и технологии широкое развитие в расчетах строительных конструкций получил метод конечных элементов. Наиболее часто этот метод реализуется в форме метода перемещений, но, как показано в работе [7], при решении задач в нелинейной постановке данная форма дает большие расхождения с точными решениями. В таких задачах более точные решения позволяет получить метод конечных элементов в форме смешанного метода. Для стержневых конечных элементов в основной системе смешанного метода принимаются одновременно как усилия, так и перемещения [5]. Ввиду простоты основной системы элементы матрицы откликов получают непосредственно из статических и кинематических условий и условий неразрывности.

Рассмотрим применение метода конечных элементов в смешанной форме для расчета вантовой конструкции. Будем рассматривать схему в виде верхнего абсолютно жесткого тела, опертого на колонну. Нижнее кольцо подвешено на тросах к верхнему диску. Для удобства теоретических выкладок необходимо представить нижнее кольцо в виде полигонального многоугольника, вписанного в окружность. В данной задаче принят гексагональный многоугольник.

Для составления системы разрешающих уравнений рассмотрим узел симметричной конструкции с примыкающими к нему стержнями. Фрагмент основной системы смешанного метода показан на рис. 1.

На данном рисунке точка O является центром нижнего кольца с радиусом R , i – рассматриваемый узел нижнего кольца, i' – узел верхнего кольца.

Такая система кинематически и геометрически изменяемая и может сохранять свою геометрическую конфигурацию только при самоуравновешенной нагрузке статически эквивалентной нулю.

Как и нить с припуском (геометрически изменяемую систему), рассматриваемую систему нужно сначала рассчитать как систему из нерастяжимых элементов, чтобы найти её равновесную конфигурацию под заданной узловой нагрузкой.

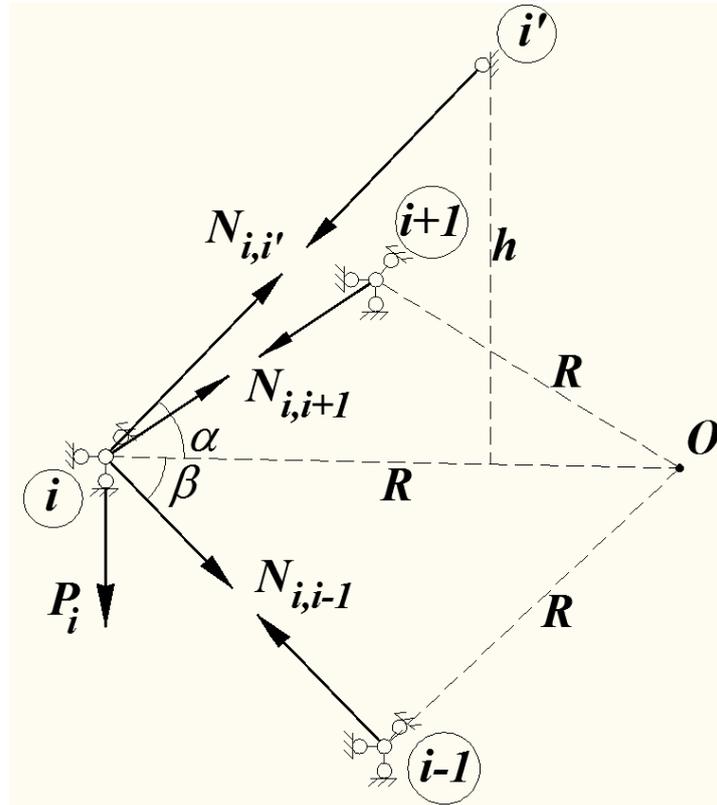


Рис. 1 – Фрагмент основной системы смешанного метода

Рассмотрим составление уравнений равновесия в общем виде.

Условия статического равновесия узла i :

$$\sum X = N_{i,i'} \cdot \cos \alpha + (N_{i,i+1} + N_{i,i-1}) \cdot \cos \beta = 0, \quad (1)$$

$$\sum Y = (N_{i,i-1} - N_{i,i+1}) \cdot \sin \beta = 0, \quad (2)$$

$$\sum Z = -N_{i,i'} \cdot \sin \alpha + P_i. \quad (3)$$

Из (3) получаем, что $N_{i,i'} = \frac{P_i}{\sin \alpha_i}$. (4)

Из (2) следует, что $N_{i,i-1} = N_{i,i+1}$. (5)

Тогда, подставляя полученные значения (4) и (5) в (1), получаем

$$N_{i,i-1} = N_{i,i+1} = -\frac{P_i}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta}.$$

Это выражение показывает, что усилия в элементах кольца, примыкающих к i -тому узлу – равны между собой и зависят только от нагрузки приложенной в узле P_i . При переходе к другому узлу, то есть к $i+1$ или к $i-1$ получаем другие усилия, что является противоречием. Это противоречие устраняется при условии $P_i = P = \text{const}$, тогда кольцо оказывается равномерно сжатым и усилия во всех тросах будут также одинаковыми.

Для получения решения этой задачи при разных значениях узловой нагрузки P_i необходимо перейти к решению задачи в нелинейной постановке. При этом полученное в линейной постановке решение по недеформируемой схеме может быть использовано в качестве начального приближения в итерационном процессе.

Как только к узлам будут приложены дополнительные неодинаковые нагрузки ΔP_i , система изменит конфигурацию и все её узлы сместятся на величины Δx_i , Δy_i , Δz_i , [6]. Этими величинами будет определяться положение каждого стержня в пространстве. Найдём величины Δx_i , Δy_i , Δz_i в зависимости от узловых нагрузок $\Delta P_i + P_i$ для системы из недеформируемых стержней.

Основная система смешанного метода получается введением в каждый незакреплённый узел i ($i=1, \dots, 6$) по три связи, препятствующие линейным перемещениям узла по направлению локальных осей координат и устранением связей в разрезе каждого из стержней системы. Таким образом, в основной системе имеем 30 неизвестных: 12 силовых неизвестных (по числу стержней) и 18 кинематических неизвестных (по три неизвестных в каждом закреплённом узле). В соответствии с этим система разрешающих уравнений в линейной постановке задачи будет состоять из 30 уравнений.

Для дальнейших вычислений введём следующие обозначения и допущения в соответствие с работой [3]. Примем нумерацию узлов нижнего кольца арабскими цифрами от 1 до 6, а нумерацию узлов верхнего кольца от 1' до 6'. Стержни вант, соединяющие верхнее и нижнее кольца, имеют нумерацию от 1-1' до 6-6'. Геометрические параметры системы:

$l_{1'-1} = l_{2'-2} = l_{3'-3} = l_{4'-4} = l_{5'-5} = l_{6'-6} = l_1$ – длины радиальных нитей;

$l_{1-2} = l_{2-3} = l_{3-4} = l_{4-5} = l_{5-6} = l_{6-1} = l$ – длины сторон шестиугольника;

$\alpha_1^{(1)}, \alpha_1^{(2)}, \dots, \alpha_1^{(6)}$ – углы наклона радиальных нитей в деформированном состоянии к плоскости xOy к оси z в локальной системе координат узла;

$\beta_1^{(1)}, \beta_1^{(2)}, \dots, \beta_1^{(6)}$ – углы между проекцией деформированной нити на плоскость xOy и осью x .

Для нитей сторон шестиугольника приняты те же обозначения, но с нижним индексом 2.

Возникающие реакции $R_{1,x} = R_1^{(1)}, R_{1,y} = R_2^{(1)}, R_{1,z} = R_3^{(1)}$,

разрывы в разрезе $\Delta_{1-1'} = \Delta_4^{(1)}, \Delta_{1-2} = \Delta_5^{(1)}, \Delta_{1-6} = \Delta_5^{(6)}$,

неизвестные перемещения $q_{1,x} = q_1^{(1)}, q_{1,y} = q_2^{(1)}, q_{1,z} = q_3^{(1)}$,

усилия $N_{1-1'} = \tilde{q}_4, N_{1-2} = \tilde{q}_5^{(1)}, N_{1-6} = \tilde{q}_5^{(6)}$.

Запишем разрешающие уравнения для узла 1 в линейной постановке:

$$R_1^{(1)} = (r_{1,1} \cdot q_1 + r_{1,2} \cdot q_2 + r_{1,3} \cdot q_3 + \tilde{r}_{1,4} \cdot \tilde{q}_4 + \tilde{r}_{1,5} \cdot \tilde{q}_5 + r_{1,p})^{(1)} = 0,$$

$$R_2^{(1)} = (r_{2,1} \cdot q_1 + r_{2,2} \cdot q_2 + r_{2,3} \cdot q_3 + \tilde{r}_{2,4} \cdot \tilde{q}_4 + \tilde{r}_{2,5} \cdot \tilde{q}_5 + r_{2,p})^{(1)} = 0, \quad (6)$$

$$R_3^{(1)} = (r_{3,1} \cdot q_1 + r_{3,2} \cdot q_2 + r_{3,3} \cdot q_3 + \tilde{r}_{3,4} \cdot \tilde{q}_4 + \tilde{r}_{3,5} \cdot \tilde{q}_5 + r_{3,p})^{(1)} = 0,$$

Уравнения неразрывности деформаций в разрезе:

$$\Delta_4^{(1)} = (\tilde{\delta}_{4,1} \cdot q_1 + \tilde{\delta}_{4,2} \cdot q_2 + \tilde{\delta}_{4,3} \cdot q_3 + \delta_{4,4} \cdot \tilde{q}_4 + \delta_{4,5} \cdot \tilde{q}_5 + \delta_{4,p})^{(1)} = 0,$$

$$\Delta_5^{(1)} = (\tilde{\delta}_{5,1} \cdot q_1 + \tilde{\delta}_{5,2} \cdot q_2 + \tilde{\delta}_{5,3} \cdot q_3 + \delta_{5,4} \cdot \tilde{q}_4 + \delta_{5,5} \cdot \tilde{q}_5 + \delta_{5,p})^{(1)} = 0.$$

Для системы с отклонениями от заданной геометрии (рис.2) составим уравнения статического равновесия и геометрические уравнения в локальных системах координат. На рис.2 показано перемещение наклонного стержня $I'-I$ в новое положение, вызванное смещением узла 1 на величины $\Delta x, \Delta y, \Delta z$.

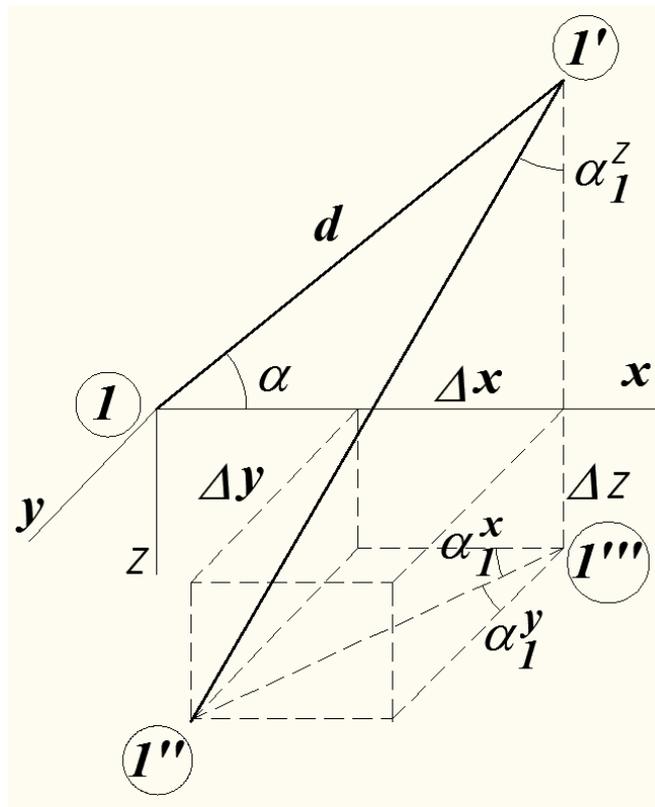


Рис. 2 – Перемещение стержня $I'-I$

Из геометрических соотношений следует:

$$(d \cdot \cos \alpha + \Delta x_1)^2 + (\Delta y_1)^2 + (d \cdot \sin \alpha + \Delta z_1)^2 = d^2.$$

Отсюда после образования получаем:

$$2d \cdot (\Delta x_1 \cdot \cos \alpha + \Delta z_1 \cdot \sin \alpha) + (\Delta x_1)^2 + (\Delta y_1)^2 + (\Delta z_1)^2 = 0. \quad (7)$$

Необходимые для дальнейших выкладок величины узлов ориентации стержня $l-l$ в новом отклоненном положении определяются следующими выражениями:

$$\cos \alpha_{1-1'}^{(z)} = \frac{d + \Delta z_1}{d}; \operatorname{tg} \alpha_{1-1'}^{(x)} = \frac{\Delta y_1}{d \cdot \cos \alpha + \Delta x_1}; \operatorname{tg} \alpha_{1-1'}^{(y)} = \frac{d \cdot \cos \alpha + \Delta x_1}{\Delta y_1}. \quad (8)$$

Аналогично находим для стержней 1-2 и 6-1

$$(d \cdot \cos 30^\circ + \Delta y_{1-2})^2 + (d \cdot \cos 60^\circ + \Delta x_{1-2})^2 + (\Delta z_{1-2})^2 = d^2, \quad (9)$$

где $\Delta z_{1-2} = (z_2 - z_1)$, $\Delta y_{1-2} = (y_2 \cdot \cos 60^\circ - y_1)$, $\Delta x_{1-2} = (x_2 \cdot \cos 60^\circ - x_1)$,

x_1, y_1, z_1 - перемещение узла 1 в его локальной системе координат,

x_2, y_2, z_2 - перемещение узла 2 в локальной системе координат.

$$(d \cdot \cos 30^\circ + \Delta y_{1-6})^2 + (d \cdot \cos 60^\circ + \Delta x_{1-6})^2 + (\Delta z_{1-6})^2 = d^2, \quad (10)$$

где $\Delta z_{1-6} = (z_6 - z_1)$, $\Delta y_{1-6} = (y_6 \cdot \cos 60^\circ - y_1)$, $\Delta x_{1-6} = (x_6 \cdot \cos 60^\circ - x_1)$,

$$\cos \alpha_{1-2'}^{(z)} = \frac{\Delta z_{1-2'}}{d}, \operatorname{tg} \alpha_{1-2'}^{(y)} = \frac{d \cdot \cos 30^\circ + \Delta y_{1-2}}{d \cdot \cos 60^\circ + \Delta x_{1-2}}, \operatorname{tg} \alpha_{1-2'}^{(x)} = \frac{d \cdot \cos 60^\circ + \Delta x_{1-2}}{d \cdot \cos 30^\circ + \Delta y_{1-2}}.$$

При смещении узла 1 в новое положение под воздействием нагрузки со смещениями по осям координат:

$$\Delta x^{(1)} = q_1^{(1)}, \Delta y^{(1)} = q_2^{(1)}, \Delta z^{(1)} = q_3^{(1)},$$

Новая длина нити 1-1' будет определяться выражением

$$\tilde{l}_{1-1'}^{(2)} = (l + \Delta x^{(1)})^2 + (0 + \Delta y^{(1)})^2 + (0 + \Delta z^{(1)})^2.$$

Приращение длины:

$$\Delta l_1 = \Delta l_{1-1'} = \tilde{l}_{1-1'} - l_{1-1'} = l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{\Delta x^{(1)}}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y^{(1)}}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z^{(1)}}{l}\right)^2} - l$$

или

$$\Delta l_{1-1'} = l_1 \cdot \left[\sqrt{\left(1 + \frac{q_1}{l_1}\right)^2 + \frac{q_2^2}{l_1^2} + \frac{q_3^2}{l_1^2}} - 1 \right].$$

Приращение длины выражается через усилие в нити,

$$\Delta l - \Delta l_{1-1'} = \frac{q_4^{(1)} \cdot l_1}{EF}.$$

Угол наклона деформированной нити к горизонтальной плоскости xOy :

$$\cos \alpha_1 = \frac{\sqrt{(l + \Delta x^{(1)})^2 + (\Delta y^{(1)})^2}}{\tilde{l}} = \frac{\left(\frac{\Delta z}{l}\right)^2}{\left(1 + \frac{\Delta x}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{l}\right)^2}, \quad (11)$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\Delta z}{\tilde{l}} = \frac{\left(\frac{\Delta z}{l}\right)^2}{\left(1 + \frac{\Delta x}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{l}\right)^2}. \quad (12)$$

В дальнейших выкладках использование выражений типа (11) и (12) для составления разрешающих уравнений и их последующего решения интеграционным способом оказывается неудобным. Так как в расчетах можно ограничиваться в первом приближении только величинами первого порядка малости, то формально можно разложить функцию $f(x) = \sqrt{\tilde{f}(x)}$ в ряд Тейлора с удержанием в нём только величин первого порядка малости.

Для нити между узлами 1 и 2 в системе координат, принятой для узла 1 стержня $l-l$, перемещения её концов в системе координат xOy находятся с использованием зависимостей:

$$\Delta x_{1-2} = \left(\Delta x^{(1)} - \Delta x^{(2)} \right) \cdot \cos 60^\circ - \left(\Delta y^{(1)} + \Delta y^{(2)} \right) \cdot \cos 30^\circ,$$

$$\Delta y_{1-2} = \left(\Delta x^{(1)} + \Delta x^{(2)} \right) \cdot \cos 30^\circ + \left(\Delta y^{(1)} - \Delta y^{(2)} \right) \cdot \cos 60^\circ,$$

$$\Delta z_{1-2} = \Delta z^{(2)} - \Delta z^{(1)}.$$

В отклоненном положении условия равновесия (1) узла 1 принимают следующий вид:

$$R_1^{(1)} = R_x^{(1)} = -\tilde{q}_4^{(1)} \cdot \cos \alpha_1^{(1)} + q_5^{(6)} \cdot \cos \left(60^\circ + \beta_2^{(6)} \right) + \tilde{q}_5^{(1)} \cdot \cos \left(60^\circ - \beta_2^{(1)} \right) = 0,$$

$$R_2^{(1)} = R_y^{(1)} = -\tilde{q}_4^{(1)} \cdot \cos \alpha_1^{(1)} \cdot \sin \beta_1^{(1)} + q_5^{(6)} \cdot \sin \left(60^\circ + \beta_2^{(6)} \right) - \tilde{q}_5^{(1)} \cdot \sin \left(60^\circ - \beta_2^{(1)} \right) = 0, \quad (13)$$

$$R_3^{(1)} = R_z^{(1)} = P^{(1)} - \tilde{q}_4^{(1)} \cdot \sin \alpha_1^{(1)} + q_5^{(6)} \cdot \sin \alpha_{(1-6)}^{(1)} + \tilde{q}_5^{(1)} \cdot \sin \alpha_{(1-2)}^{(1)} = 0.$$

Уравнения совместности (неразрывности) деформации:

$$\Delta_4^{(1-1)} = \frac{\tilde{q}_4^{(1)} \cdot l_{1-1}}{EF} - \Delta_{1-1} = 0,$$

$$\Delta_5^{(1-2)} = \frac{\tilde{q}_5 \cdot l_{1-2}}{EF} - \Delta_{1-2} = 0.$$

Уравнения для остальных узлов полигонального кольца получаются циклически.

Решение нелинейной системы уравнений (13) выполняется по алгоритму изложенному [1]. Он заключается в пошаговом нагружении конструкции, линейном расчете на каждом шаге догружения и итерационном уточнении линейного решения. Уточнение решения на каждом шаге выполняется интегрированием суммы решений на всех этапах расчета.

Правильность полученного решения можно проверить, используя вместо силового воздействия кинематическое воздействие в виде управляемого перемещения узла. Методика расчета по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода позволяет делать это на любом шаге нагружения изменением вида параметра нагружения.

Список литературы / References

1. Габова В.В. Алгоритм формирования глобальной матрицы откликов плоской стержневой системы / А. В. Игнат'ев, В. В. Габова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – № 14. – С. 71.
2. Габова В.В. Получение матрицы откликов стержневого конечного элемента плоской стержневой системы на основе смешанного вариационного принципа / А. В. Игнат'ев, В. В. Габова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – № 14. – С. 75-79.
3. Габова В.В. Влияния нумерации узлов и элементов основной системы на структуру глобальной матрицы откликов и результаты расчета при численной реализации алгоритма статического расчета плоских стержневых систем по МКЭ в смешанной форме / В. В. Габова // Интернет-Вестник ВолГАСУ. – 2008. – № 3 (6). – С. 4.
4. Игнат'ев В.А. Решение геометрически нелинейных задач статики шарнирно-стержневых систем на основе метода конечных элементов в форме классического смешанного метода / А. В. Игнат'ев, В. А. Игнат'ев, Е. В. Онищенко // Вестник МГСУ. – 2016. – № 2. – С. 20-33.
5. Игнат'ев А.В. Расчет геометрически нелинейных плоских шарнирно-стержневых систем по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода / А. В. Игнат'ев, В. А. Игнат'ев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 34 (53). С. 82-89.
6. Рекунов С.С. Формирование матриц откликов конечных элементов с учётом упругого основания / С. С. Рекунов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 5 (24). – С. 56.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gabova V.V. Algorithm formirovaniya global'noy matritsy otklikov ploskoy sterzhnevoy sistemy [An algorithm for generating global response matrices for 2-D framed systems] / A. V. Ignat'ev, V. V. Gabova // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the VSUACE. Series: Civil Engineering and Architecture]. – 2009. – № 14. – pp. 71-74. [in Russian].
2. Gabova V.V. Poluchenie matritsy otklikov sterzhneвого konechnogo elementa ploskoy sterzhnevoy sistemy na osnove smeshannogo variatsionnogo printsipa [Generating a response matrix of a 2-D frame finite element using the mixed variational principle] / A. V. Ignat'ev, V. V. Gabova // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the VSUACE. Series: Civil Engineering and Architecture]. – 2009. – № 14. – pp. 75-79. [in Russian].
3. Gabova V.V. Vliyaniya numeratsii uzlov i elementov osnovnoy sistemy na strukturu global'noy matritsy otklikov i rezul'taty rascheta pri chislennoy realizatsii algoritma staticheskogo rascheta ploskikh sterzhnevyykh sistem po MKE v smeshannoy forme [Influence of the numeration of the main system's nodes and elements on the structure of the global response matrix, and the computation results of numerical implementation of the static analysis algorithm for plane rod

systems applying the mixed form of FEM] / V. V. Gabova // Internet-Vestnik VolgGASU. – 2008. – № 3 (6). – p. 4. [in Russian].

4. Ignat'ev V.A. Reshenie geometricheski nelineynykh zadach statiki sharnirno-sterzhnevnykh sistem na osnove metoda konechnykh elementov v forme klassicheskogo smeshannogo metoda [Solving geometrically nonlinear tasks of the statics of hinged-rod systems basing on finite element method in the form of classical mixed method] / A. V. Ignat'ev, V. A. Ignat'ev, E. V. Onishchenko // Vestnik MGSU. – 2016. – № 2. – pp. 20-33. [in Russian].

5. Ignat'ev A.V. Raschet geometricheski nelineynykh ploskikh sharnirno-sterzhnevnykh sistem po metodu konechnykh elementov v forme klassicheskogo smeshannogo metoda [Calculation of geometrically nonlinear flat hinged and frame systems by the finite element method in the form of the classical mixed method] / A. V. Ignat'ev, V. A. Ignat'ev // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the VSUACE. Series: Civil Engineering and Architecture]. 2013. № 34 (53). pp. 82-89. [in Russian].

6. Rekunov S.S. Formirovanie matrits otklikov konechnykh elementov s uchedom uprugogo osnovaniya [Forming the matrix of responses of the finite elements taking into account the elastic base] / S. S. Rekunov // Internet-zhurnal «Naukovedenie» [Internet magazine «Naukovedenie»]. – 2014. – № 5 (24). – p. 56. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.072>

Малухина О.А.¹, Филиппов Д.А.²

¹ORCID: 0000-0003-0974-4682, Соискатель,

²ORCID: 0000-0002-4359-7770, Доктор физико-математических наук, Профессор,

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

**РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СФЕРИЧЕСКИХ СЕГМЕНТОВ ИЗ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ
ФОРМЫ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ ЦИКЛИРОВАНИИ ЧЕРЕЗ ИНТЕРВАЛ МАРТЕНСИТНЫХ
ПРЕВРАЩЕНИЙ**

Аннотация

По результатам циклирования сферических сегментов через интервал мартенситных превращений установлены закономерности изменения параметров, определяющих свойства памяти формы. Показано, что термоциклирование сферических сегментов через интервал мартенситных превращений, с реализацией эффекта потери устойчивости, сопровождается постепенным накоплением необратимой деформации на этапе нагрева. Следствием этого является незамкнутость термодформационного гистерезиса и смещение температур потери устойчивости. Однако темп накопления недовозврата формы и связанная с этим термоциклическая долговечность зависят от геометрических размеров сегментов, физико-механических свойств сплава, типа мартенситной реакции и вида термомеханической обработки.

Ключевые слова: эффект памяти формы, мартенситные превращения, аустенит, мартенсит, память формы.

Malukhina O.A.¹, Filippov D.A.²

¹ORCID: 0000-0003-0974-4682, External postgraduate student;

²ORCID: 0000-0002-4359-7770, PhD in Physics and Mathematics, Professor,

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University

**EFFICIENCY OF SPHERICAL SEGMENTS OF ALLOYS WITH SHAPE MEMORY EFFECT
AND THERMO-MECHANICAL CYCLING THROUGH THE INTERVAL OF MARTENSITE
TRANSFORMATIONS**

Abstract

According to the results of spherical segments cycling through the interval of martensitic transformations, the regularities of the changes in the parameters determining the properties of the shape memory are established. It is shown that the thermo-cycling of spherical segments through the martensitic transformation interval with the realization of the loss of stability effect is accompanied by a gradual accumulation of irreversible deformation at the heating stage. The consequence of this is the non-closure of the thermal deformation hysteresis and the displacement of the temperatures of stability loss. However, the rate of accumulation of the shape defect and the associated thermo-cyclic longevity depend on the geometric dimensions of the segments, physical and mechanical properties of the alloy, type of martensitic reaction and thermo-mechanical processing.

Keywords: shape memory effect, martensitic transformations, austenite, martensite, shape memory.

В современном машиностроении в регулирующих и исполнительных устройствах и механизмах находят применение рабочие элементы из сплавов с эффектом памяти формы (ЭПФ). Благодаря стабильным физико-механическим свойствам, они часто используются в различных контрольно-исполнительных устройствах и медицине [1], [2], [3]. Использование сплавов с ЭПФ на практике определяется уровнем их функционально-механических свойств: температурами мартенситных превращений (МП), величиной эффекта памяти формы. Указанные характеристики являются структурно-чувствительными и зависят от режима предварительной термомеханической обработки сплава.

Исследование функционально-механических свойств проводили на двух сплавах: Ti-50,3ат.%Ni, с температурами МП — $M_s = 14$ °C, $M_f = 7$ °C, $R = 27$ °C, $A_s = 32$ °C, $A_f = 40$ °C и TiNi-4ат.%Cu с температурами МП — $M_s = 58$ °C, $M_f = 24$ °C, $A_s = 38$ °C, $A_f = 78$ °C.

Сплав Ti-50,3ат.%Ni характеризуется узким гистерезисом. Прямое МП в данном сплаве проходит в две стадии B2→R и R→B19' (рис. 1а).

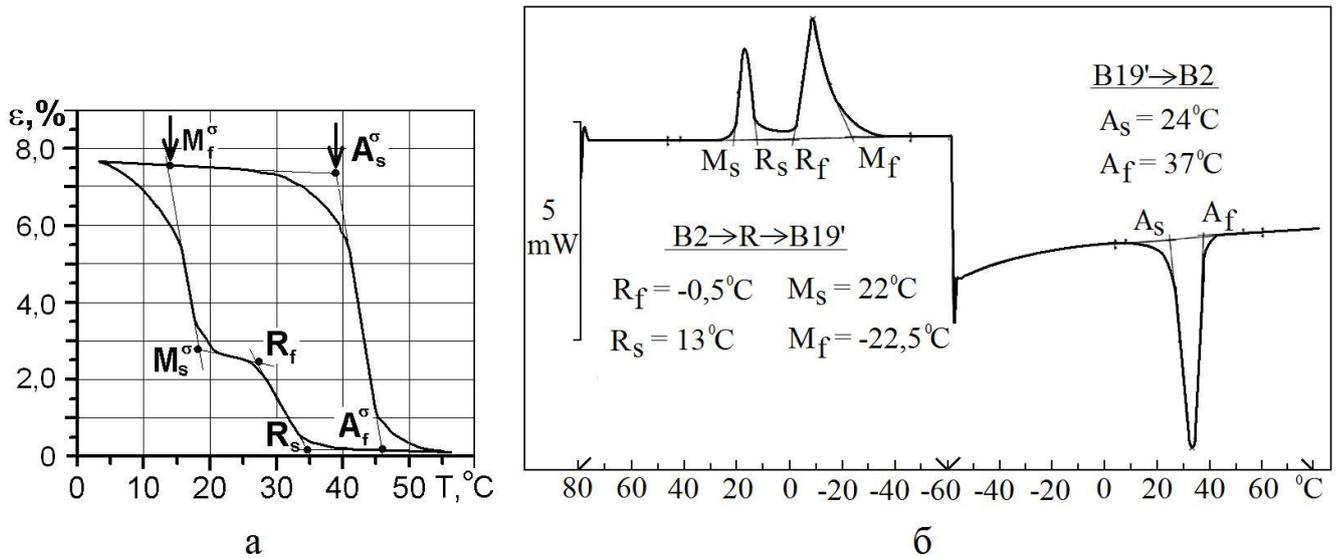


Рис. 1 – Гистерезис мартенситного превращения (а) и DSC-кривая (б) сплава Ti-50,3ат.%Ni после отжига 500°C, 30 мин

Опыты по реализации эффекта памяти формы показали высокую обратимость деформации в сплавах TiNi с R-фазой. Деформация эффекта памяти формы (ϵ) при 120 МПа после отжига 500°C, 30 мин достигает 7,8 %. Промежуточная R-фаза мартенсита зарождается при температуре близкой к 30°C (рис. 1а). Интенсивность тепловых процессов после отжига повышается. Свидетельством этому являются высокие пики фазовых переходов как при нагреве, так и при охлаждении на кривых дифференциально сканирующей калориметрии (DSC) (рис. 1б).

Известно, что температуры фазовых превращений в сплавах на основе никелида титана определяются составом сплава. Совсем незначительные изменения в содержании одного из компонентов сплава, как правило, приводят к заметному смещению температур мартенситных переходов. Следует обратить внимание на особое свойство МП в сплаве с добавкой меди — его широкий гистерезис. При этом точка A_s лежит выше M_s (рис. 2а).

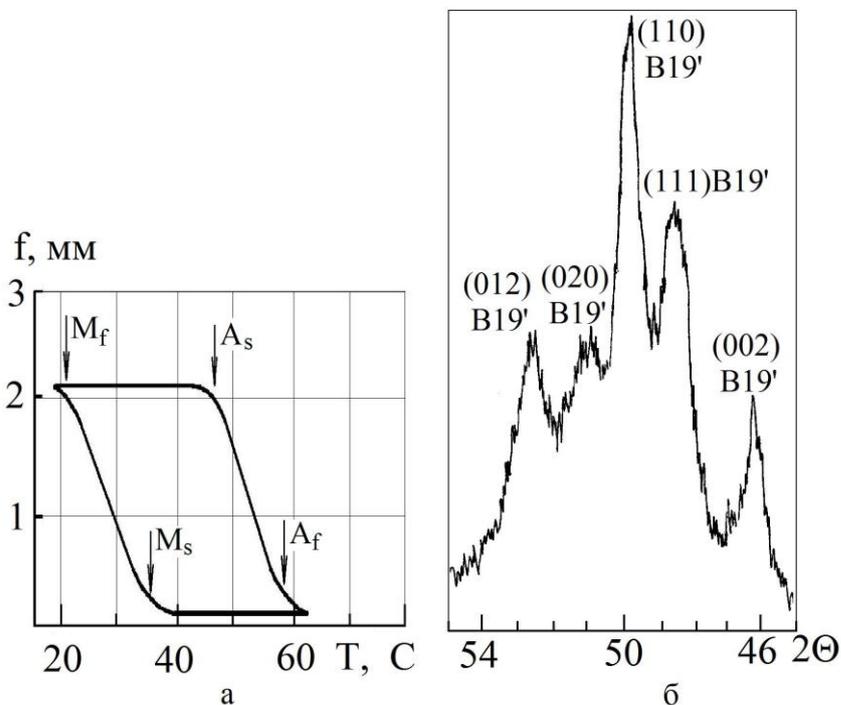


Рис. 2 – Гистерезис мартенситного превращения (а) и дифрактограмма (б) сплава TiNi-4 ат.%Cu после отжигов при 500°C, 30 мин

В сплаве TiNi-4ат.%Cu последовательность мартенситных превращений B2→B19' при охлаждении до 20°C реализуется в одну стадию, что подтверждается дифрактограммой данного сплава (рис. 2б).

Объектами исследования служили сферические сегменты диаметром 17 мм, полученные из круглых пластинок, вырезанных из предварительно прокатанных листов выбранных сплавов. Для задания формы сферического сегмента со стрелой подъема f_0'' и радиусом кривизны R круглая пластинка прогибалась в специальной оправке при температуре

ниже M_f и жестко зацемялась. Память задавалась отжигом при 500°C в течение 30 мин. На полученных таким образом сферических сегментах, проводились дальнейшие исследования термомеханической долговечности.

Если сферический сегмент прогнуть в мартенситном состоянии зеркально по отношению к исходному состоянию, то при отогреве, выше температуры окончания обратного мартенситного превращения, происходит потеря устойчивости с резким скачком деформации.

Проведенные ранее исследования [4, С. 83] показали, что при многократном циклировании сферических сегментов через интервал мартенситных превращений их функциональные свойства изменяются. На рис. 3 приведена зависимость изменения степени недовозврата формы $f_{\text{нв}}/f_0^{\text{II}}$ сферических сегментов от числа теплосмен.

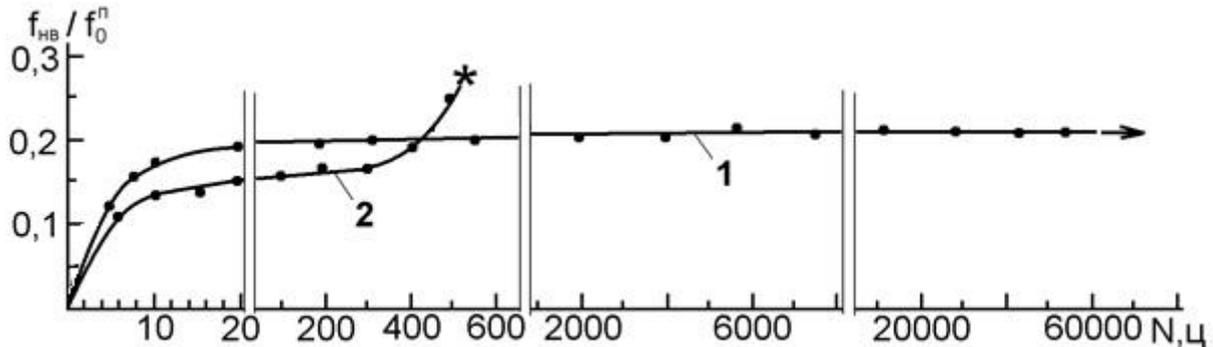


Рис. 3 – Зависимость изменения степени недовозврата формы:
1 — Ti-50,3 ат.%Ni; 2 — TiNi-4 ат.%Cu; * — плавное восстановление формы деформации;
→ — продолжение циклирования

Видно, что интенсивное изменение параметров происходит на первой стадии (10-12 циклов) — стадии неустановившегося формоизменения, где сферические сегменты показывают более высокие силовые характеристики, генерируемые на этапе обратного мартенситного превращения. На второй стадии формоизменение сегментов стабилизируется. В этом случае при нагревании практически всегда наблюдается полный возврат деформации. При установившемся формоизменении стабилизируются также силовые характеристики сферических сегментов. Такой характер изменения деформации может быть связан, с образованием и преимущественным ростом только тех его кристаллографических вариантов, которые обеспечивают наибольшее (наименьшее) формоизменение материала. В процессе термоциклирования происходит избирательное наследование дефектов кристаллической решетки, что также приводит к увеличению эффекта памяти формы. Стабилизация эффекта памяти формы после 10-20 циклов свидетельствует о том, что указанные процессы, вызывающие вначале рост недовозврата формы, также стабилизировались.

При значениях $f_{\text{нв}}/f_0^{\text{II}}=0,3$ скачки деформации сегментов из сплава TiNi-4ат.%Cu становятся очень слабыми, либо происходит плавное восстановление формы сегмента (рис.3, кривая 2).

В тех случаях, если на этапе прямого мартенситного превращения образуется R-фаза по реакции $B2 \rightarrow R \rightarrow B19'$ (сплав Ti-50,3ат.%Ni), то сегменты отличаются высокой термоциклической долговечностью. При этом благодаря R-фазе потеря устойчивости проявляется достаточно мощным скачком деформации и реализуется длительное время (более 10^4 термоциклов). При отношении $f_{\text{нв}}/f_0^{\text{II}} \geq 0,35$ сегментов из сплава Ti-50,3ат.%Ni этот эффект становится слабым.

Показано, в частности, что сплав TiNi-4ат.% Cu отличаются малой долговечностью при циклическом изменении температуры. Так, ресурс восстановления формы сегментов резким скачком деформации при температуре потери устойчивости, изготовленных из сплава Ti-50,3ат.%Ni больше, чем из сплава TiNi-4ат.% Cu более чем в 100 раз.

Температура потери устойчивости ($T_{\text{пу}}$) сферических сегментов в процессе термоциклирования изменяется незначительно и сравнительно быстро стабилизируется.

Таким образом, рассмотренные особенности поведения сегментов при длительном циклировании через интервал МП характерны для всех сегментов, независимо от состава сплава и геометрических параметров. Однако их работоспособность зависит от типа мартенситной реакции и механических свойств сплава. Сплавы с R-фазой являются наиболее перспективными материалами для изготовления сферических сегментов.

Для повышения сопротивления деформации сплавов никелида титана используются различные способы стабилизации структуры и свойств, такие как обогащение сплавов TiNi никелем и титаном с последующим старением при температуре $400-500^\circ\text{C}$. В результате такой обработки выделяются вторые фазы в виде Ti_3Ni_4 , Ti_2Ni и другие, способствующие упрочнению сплава [5, 6]

Кривые поведения сплавов в условиях длительного термоциклирования в координатах недовозврат формы — число циклов, имеют три отчетливо выраженные стадии, их можно сопоставить с этапами изменения кривой изотермической ползучести. Первая стадия характеризуется резким монотонным формоизменением сегментов. Отмечено, что первая стадия имеет продолжительность 8-10 циклов, это позволяет быстро выйти на стадию стабилизации. За ней следует стадия, в течение которой проявляется линейная зависимость изменения характеристик, при этом величины этих характеристик меняются очень медленно. Эту стадию можно назвать стадией установившегося формоизменения. Третья стадия характеризуется непрерывно возрастающим формоизменением, ее

можно назвать стадией ускоренного формоизменения, при этом эффект скачка деформации становится очень слабым, либо сегмент разрушается, что связано с образованием несплошности в объеме материала.

Особенности проявления эффектов памяти формы и пластичности превращения в условиях термоциклирования сферических сегментов еще раз свидетельствуют о той важной роли, которую играют в формировании циклической памяти формы кристаллографическая и дефектная структура материала, характер мартенситных превращений, а также процессы наследования дефектов кристаллической решетки при фазовых переходах.

Исследование термоциклической долговечности сферических сегментов представляет интерес с точки зрения практического применения, поскольку устройства с ЭПФ основаны на использовании сферических сегментов при многократном срабатывании исполнительного механизма.

Список литературы / References

1. А.с. 2171937 РФ. Термоклапан / М.А. Хусаинов, Б.Я. Тамбулатов, А.Г. Ларионов, О.А. Малухина (РФ). - 4с.: ил.
2. Katalog "Innovationsmesse" / Ideen von heute. Fur Markte von morgen / September 25-28, 1996. – Leipzig, 1996. – P.118, 173.
3. Журавлев В.Н., Пушин В.Г. Сплавы с термомеханической памятью и их применение в медицине. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 151с.
4. Хусаинов М.А. Фазовые переходы в сплавах никелида титана с эффектом памяти формы / М. А. Хусаинов, О. А. Малухина, В.А. Андреев // Вестник НовГУ. Сер.: Физико-математические науки. – 2015. – №3(86). – С. 81-84.
5. Michutta J., Somsen Ch., Yawny A., et al. Elementary martensitic transformation processes in Ni-rich NiTi single crystals with Ni₄Ti₃ precipitates // Acta Materialia. 2006. V.54. Issue 13. P.3525-3542.
6. Nam T.-H., Kim J.-H., Choi M.-S., et al. Phase transformation behavior in Ti-Ni alloy ribbons fabricated by melt spinning // J. Phys. IV France. 2003. №112. P.893-896.

Список литературы на английском языке / References in English

1. A.s. 2171937 RF. Termoklapan [Thermo-valve] / M. A. Husainov, B. Ja. Tambulatov, A. G. Larionov, O. A. Maluhina (RF). – 4 p.: ill. [in Russian]
2. Katalog "Innovationsmesse" / Ideen von heute. Fur Markte von morgen / September 25-28, 1996. – Leipzig, 1996. – P.118, 173. [in German]
3. Zhuravljov V.N., Pushin V.T. Splavy s termomekhanicheskoy pamjat'ju i ikh primenenie v medicine. [Alloys with thermomechanical memory and their application in medicine] Ekaterinburg: UrO RAN, 2000. 151 s. [in Russian]
4. Husainov M. A. Fazovie perehodi v splavah nikelida titana s tffekton pamjati formi [Phase transitions in alloys of titanium nickelide with shape memory effect] / M. A. Husainov, O. A. Maluhina, V. A. Andreev // Vestnik NovGU. Ser.: Fiziko-matematicheskie nauki [Vestnik NovSU. Issue: Physico-Mathematical SciencesSciences]. – 2015. – № 3(86). – P. 81-84. [in Russian]
5. Michutta J., Somsen Ch., Yawny A., et al. Elementary martensitic transformation processes in Ni-rich NiTi single crystals with Ni₄Ti₃ precipitates // Acta Materialia. 2006. V.54. Issue 13. P.3525-3542. [in English]
6. Nam T.-H., Kim J.-H., Choi M.-S., et al. Phase transformation behavior in Ti-Ni alloy ribbons fabricated by melt spinning // J. Phys. IV France. 2003. №112. P. 893-896. [in French]



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.2017.61.099>

Маяцкая И.А.

ORCID: 0000-0003-1530-8238, Кандидат технических наук,

Донской государственной технической университет в г. Ростове-на-Дону

РАСПОЗНАВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ФРАКТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**Аннотация**

Данное исследование посвящено проблеме распознавания растительных объектов, имеющих фрактальную поверхность. Одним из направлений исследований является разработка недорогих датчиков, способных мгновенно распознать конкретные компоненты растительного материала, имеющие неровную поверхность объекта. Большое внимание уделено моделированию объектов и математическим методам распознавания. Предлагается математическая база для нового подхода к анализу и проектированию технологических процессов переработки сельскохозяйственных культур. Рассматривается проблема распознавания растительных объектов, близких по форме к реальным, по теневому контуру.

Ключевые слова: модель, растительный объект, датчик, фрактал, контур.

Mayatskaya I.A.

ORCID: 0000-0003-1530-8238, PhD in Engineering,

Don State Technical University, Rostov-on-Don

RECOGNITION OF NATURAL OBJECTS WITH FRACTAL SURFACE**Abstract**

This research is devoted to the problem of recognition of vegetal objects with a fractal surface. One of the areas of this research is the development of inexpensive sensors capable of instantly recognizing specific components of vegetal material with an uneven surface of the object. Much attention is paid to object modeling and mathematical recognition methods. The mathematical base for a new approach to the analysis and design of technological processes of agricultural crop processing is proposed. The problem of recognition of vegetal objects which are close in shape to the real ones in the shadow contour is considered.

Keywords: model, vegetal object, sensor, fractal, contour.

Данное исследование посвящено проблеме распознавания растительных объектов, имеющих фрактальную поверхность. Одним из направлений исследований является разработка недорогих датчиков, способных мгновенно распознать конкретные компоненты растительного материала, имеющие неровную сложную форму [1, С. 862], [2, С. 866]. При распознавании растительного объекта используются оптические датчики, которые сканируют объект.

Рассмотрим методику распознавания растительного объекта с помощью теневого контура. Она основана на построении огибающей к семейству кривых полученных сечением плоскостью, перпендикулярной направлению оптического потока.

Рассмотрим модель, для которой уравнение поверхности этого объекта в неподвижной системе имеет вид: $\varphi(x, y, z) = 0$.

В подвижной системе координат уравнение поверхности объекта будет иметь следующий вид:

$$f(X, Y, Z) = 0.$$

Оптический поток направлен по оси OY . Теневой контур объекта получается с помощью построения огибающей к семейству кривых ($Y = C$). Для этого нужно решить систему уравнений:

$$\begin{cases} f(X, C, Z) = 0 \\ f'_C(X, C, Z) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

В результате получаем уравнение, которое описывает теневой контур и имеет форму эллипса, но его параметры уже другие. Предложенная методика позволит получить теневой контур растительного объекта. Можно отметить, что этот контур представляет собой замкнутую кривую и он искажается, если учесть, что объект движется в пространстве, что тоже можно учесть.

В реальности исходный контур может иметь контур в виде ломанных линий. В этом случае нужно использовать методы фрактальной геометрии, определить фрактальную размерность объекта.

Использование разработанных моделей при распознавании образов растительных объектов позволит повысить эффективность работы роботизированных средств механизации. Если же нужно учитывать геометрические параметры конкретного растительного объекта, то необходимо выяснить, насколько данная модель растительного объекта близка к реальному объекту [3, С. 346].

В природе существуют и другие объекты, имеющие фрактальную поверхность [4, С. 5]. На рис. 1 и 2 представлены такие объекты, которые имеют шероховатость, искривление линии контура, отдельные тела на поверхности. Распознавание таких объектов происходит с помощью фото и видеосъемки, но распознать объект можно по отдельному фрагменту (фрактально) поверхности, который типичен только для этого объекта с помощью оптических датчиков. Необходимо изучение характерных особенностей конкретного природного объекта.

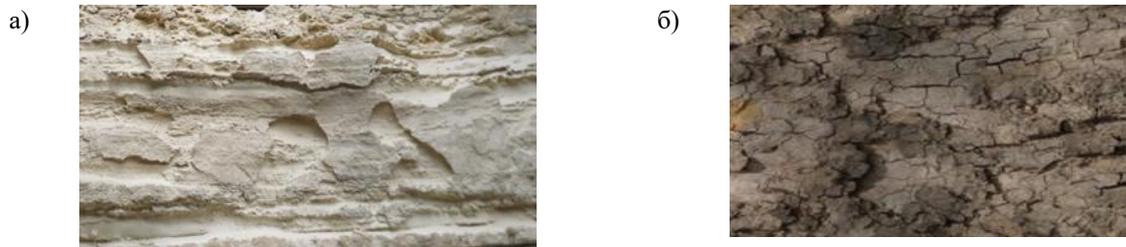


Рис. 1 – Фрактальная поверхность с небольшой размерностью: *a* – природная каменная плита; *б* – кора дерева



Рис. 2 – Фрактальная поверхность с очень большой размерностью: *a* – береговая линия; *б* – острые камни на холме

Задача о математическом моделировании природных объектов и процессов (например, береговой линии, строения растений, распознавание объекта сложной геометрической формы) является актуальной. В работах [3, С. 346], [6] рассматривается возможность моделирования природных объектов с помощью фрактальной геометрии и теории графов. Такой подход позволяет получить не только математическое описание объектов и процессов, но и дает возможность для графического моделирования. Для этого используют системы итерируемых функций.

Данный метод построения моделей растительных объектов подразумевает использование систем итеративных функций, который может быть описан как последовательный итеративный расчет координат новых точек в пространстве: $x_{k+1} = F_x(x_k, y_k)$ и $y_{k+1} = F_y(x_k, y_k)$, где F_x, F_y - функции преобразования координат, которые определяют форму фрактала. В результате получаем фрактальную модель объекта. От количества итераций зависит структура модели. В статье [3, С. 346] показаны конкретные модели для различных типов их ветвления.

В фрактальной геометрии широко используются фракталы со свойством самоподобия. Именно такие типы рассмотрены в работе [7, С. 6]. На рис. 3 показаны растительные объекты, обладающие этим свойством, только с различной фрактальной размерностью, связанной с количеством итераций.

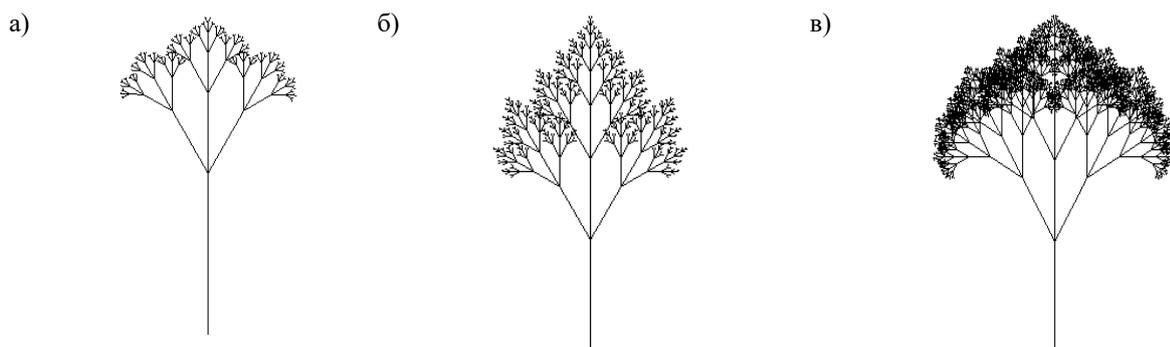


Рис. 3 – Модели листостебельных растений, построенные с помощью систем итеративных функций (число итераций: *a* – $n=4$; *б* – $n=6$; *в* – $n=10$;))

Для фракталов, не обладающих свойством самоподобия, например, береговая линия или поверхность, которая меняет свою поверхность с течением времени (рис. 4), найти размерность достаточно сложно.

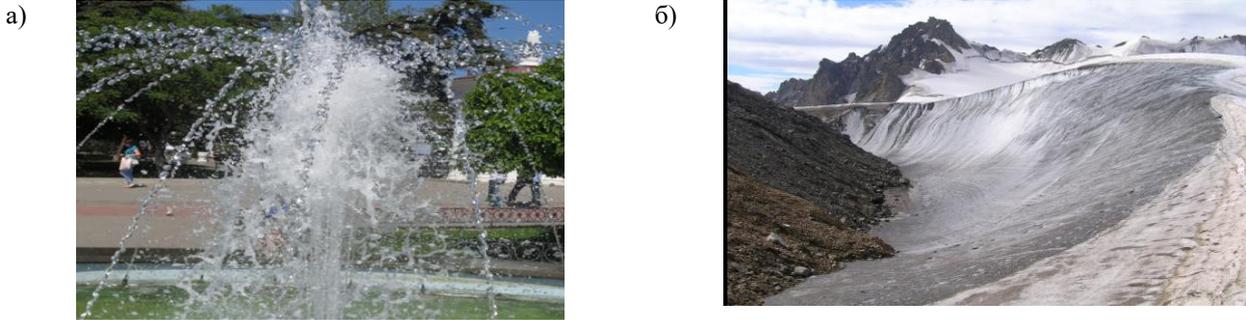


Рис. 4 – Фрактальная поверхность (динамическая модель):
 а – поверхность водяной поверхности фонтана; б – горная поверхность

Для описания фрактальной модели нужно прежде всего установить зависимость между конечным результатом и задаваемой начальной структурой растения, т. е. динамический закон $x_{k+1} = f(x_k)$. Найти эту зависимость бывает очень сложно.

Проведя анализ различных фрактальных объектов, можно сказать, что есть шероховатость поверхности, искривление линии, объемные тела, непрерывно и динамично развивающиеся, отдельные тела на поверхности, теневой контур. Именно последний объект рассматривается далее.

Распознать фрактальный объект достаточно трудно. Направление отраженного оптического луча зависит от кривизны определяемого объекта. Если объект имеет выпуклую шаровую поверхность, то радиус кривизны $\rho=R$; если же вогнутую, то $\rho=-R$; если поверхность плоская, то $\rho=\infty$. Для вогнутых поверхностей труднее всего создать метод определения самой поверхности. Также трудности возникают при определении поверхности, динамически изменяющейся во времени. В этом случае можно построить осредненную поверхность, и тогда определять ее.

Использование методов фрактальной геометрии позволяет создавать графические модели. Зная математическое описание модели объекта, можно определить методику распознавания: по всему контуру, определяемому некоторой функции; по части контура, который имеет характерные особенности только для данного объекта; по структуре распознаваемого объекта.

Так, для первого метода можно использовать методику получения теневого контура, полученного с помощью теории огибающих.

Рассмотрим методику распознавания растительного объекта с помощью теневого контура. Она основана на построении огибающей к семейству кривых полученных сечением плоскостью, перпендикулярной направлению оптического потока.

Рассмотрим следующие модели:

$$\frac{x^2}{(l/2)^2} + \frac{y^2}{(b/2)^2} + \frac{z^2}{(b/2)^2} = 1$$

эллипсоид вращения
 цилиндр, который можно описать чечевицеобразной моделью при $n=20$,

$$y = \pm \frac{b}{2} \cos^{20} \left(\frac{\pi}{l} x \right) \cos^{20} \left[\frac{z\pi}{b \sqrt{1 - \frac{x^2}{(l/2)^2}}} \right].$$

Рассмотрим поворот тела относительно оси Cz:

$$x = X \cos \alpha + Y \sin \alpha; \quad y = -X \sin \alpha + Y \cos \alpha; \quad z = Z.$$

Матрица преобразования имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Оптический поток направлен по оси OY. Теневой контур объекта получается с помощью построения огибающей к семейству кривых ($Y = C$). Для этого нужно решить систему уравнений (1).

В результате получаем следующие системы уравнений:

эллипсоид вращения

$$\begin{cases} \frac{4}{l^2} (X^2 \cos^2 \alpha + 2XC \cos \alpha \sin \alpha + C^2 \sin^2 \alpha) + \\ + \frac{4}{b^2} (X^2 \sin^2 \alpha - 2XC \sin \alpha \cos \alpha + C^2 \cos^2 \alpha + Z^2) = 1 \\ C(b^2 \sin^2 \alpha + l^2 \cos^2 \alpha) - X \sin \alpha \cos \alpha (l^2 - b^2) = 0; \end{cases}$$

$$\text{цилиндр} \quad -X \sin \alpha + C \cos \alpha = \pm \frac{b}{2} \cos^{\frac{1}{20}} \beta \cos^{\frac{1}{20}} \psi$$

$$1 = \frac{\pi b t g \alpha}{40l} \left[\cos^{\frac{1}{20}} \beta \cdot t g \beta \cos^{\frac{1}{20}} \psi \right] \pm \frac{\pi b t g \alpha}{40l} \left[\cos^{\frac{1}{20}} \beta \cos^{\frac{1}{20}} \psi t g \psi - \frac{4Z\beta}{l\pi \left(1 - \frac{4\beta^2}{\pi^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right], \quad (7)$$

$$\text{где} \quad \beta = \frac{\pi}{l} (X \cos \alpha + C \sin \alpha), \quad \gamma = \frac{2Z\pi}{l\sqrt{0,25 - \frac{\beta^2}{\pi^2}}}, \quad \psi = \frac{Z\pi}{b\sqrt{1 - \frac{4\beta^2}{\pi^2}}}. \quad (8)$$

Решая систему уравнений (7), получаем уравнение теневого контура:

$$X^2 \left[\frac{\cos^2 \alpha}{(l/2)^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{(b/2)^2} \right] + \frac{Z^2}{(b/2)^2} = 1. \quad (9)$$

Площадь теневого контура эллипсоида вращения, который представляет собой эллипс, определяется по формуле:

$$F = \pi AB, \text{ где } A \text{ и } B \text{ определяются выражениями: } A = \sqrt{\left(\frac{\cos^2 \alpha}{(l/2)^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{(b/2)^2} \right)^{-1}} = \frac{bl}{2\sqrt{b^2 \cos^2 \alpha + l \sin^2 \alpha}} \text{ и}$$

$$B = \frac{b}{2}.$$

Площадь теневого контура для модели в виде цилиндра можно найти по формуле $F = bd$, при этом выполняется условие $b^2 \leq F \leq bl$. Параметр d определяется по формулам: $d = D \cos \varphi = \sqrt{b^2 + l^2} \cos(\alpha - \theta)$;

$$t g \theta = \frac{b}{l}.$$

Для второго метода можно использовать методику оценки фрактальности поверхности с помощью построения первой производной и второй производной к контуру в заданной плоскости или по характеру изменения изогнутости поверхности, по точкам экстремума и точкам перегиба, характерным именно для данного контура.

При распознавании можно использовать и другие разделы математики, например, теорию графов. Эта теория может быть использована в третьем методе. В связи с этим объект можно оценивать по формализованному описанию объекта, например, по структуре растительного объекта.

Для этого надо построить модель объекта в виде графа, можно использовать ориентированный граф, различные деревья и сети [6, С. 21; 61, 449]. В настоящее время хорошо изучены современные компьютерные технологии, связанные с применением теории графов. Математические модели, методы и алгоритмы прикладной теории графов позволяют строить модели природных объектов, проводить оптимизацию.

Итак, необходимо определить структурные закономерности, которые позволят решать задачи поиска решающих функций и другие задачи распознавания. При этом надо ориентировать лишь на сам факт наличия структурных закономерностей объекта, не описывая его в целом. Именно такой подход наиболее оптимальный.

Список литературы / References

1. Демченко Б.М., Маяцкая И.А. Распознавание объектов и модели растительных материалов / Б.М. Демченко, И.А. Маяцкая // Научное обозрение. – 2014. – №7-3. – С. 862–865.
2. Демченко Б.М., Маяцкая И.А. Определение теневого контура при распознавании растительных объектов / Б.М. Демченко, И.А. Маяцкая // Научное обозрение. – 2014. – №7-3. – С. 866–868.
3. Маяцкая И.А., Демченко Б.М. Аналитическая интерпретация моделей растительных материалов / И.А. Маяцкая, Б.М. Демченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – №30. – С. 346–351.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Издательство Институт компьютерных исследований. – 2002. – 656 с.
5. Маяцкая И.А., Краснобаев И.А. Моделирование листостебельных материалов с помощью теории графов [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона: электрон. науч.-инновацион. журн. — 2012. — №4, часть 2.
6. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2003. – 1104 с.
7. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах / Р.М. Кроновер. – М.: Техносфера. – 2006. – 488 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Demchenko, Mayatskaya I.A. Raspoznavaniye obektov I modeli rastitelnykh materialov [Recognition of objects and models of plant materials] / B.M. Demchenko, I.A. Mayatskaya // Nauchnoye obozreniye [Scientific Review]. – 2014. №7-3. P. 862–865. [in Russian]

2. Demchenko B.M., Mayatskaya I.A. Opredeleniye tenevogo kontura pri raspoznavaniye rastitelnykh obektov [Determining the shadow path when recognizing plant objects] / B.M. Demchenko, I.A. Mayatskaya // Nauchnoye obozreniye [Scientific Review]. – 2014. №7-3. P. 866–868. [in Russian]
3. Mayatskaya I.A., Demchenko B.M. Analiticheskaya interpretatsiya modeley rastitelnykh materialov [Analytical interpretation of models of plant materials] / I.A. Mayatskaya, B.M. Demchenko // Vestnik VolgGASU, seriya Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University. Series: Building and architecture.]. – 2013. №30. P. 346–351. [in Russian]
4. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody [Fractal Geometry of Nature] / B. Mandelbrot. – M.: Izdatelstvo Institut kompyuternykh issledovaniy. – 2002. – 656 p. [in Russian]
5. Mayatskaya I.A., Krasnobaev I.A. Modelirovaniye listostebelnykh materialov s pomoshchyu teorii grafov [Modeling of leaf-stem materials using the theory of graphs [Electronic resource]] / I.A. Mayatskaya, I.A. Krasnobaev // Inzhenernyi vestnik Dona [The engineer's messenger of the Don: electron. nauk.-innov. journal.]. – 2014. – №4-2. [in Russian]
6. Kasyanov V.N., Evstigneev V.A. Grafy v programirovani: obrabotka, vizualizatsiya i primeneniye [Graphs in programming: processing, visualization and application] / V.N. Kasyanov, V.A. Evstigneev. - St. Petersburg. : BHV-Petersburg. -2003. – 1104 p. [in Russian]
7. Kronover R.M. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh [Fractals and chaos in dynamic systems] / R.M. Kronover. – M.: Tekhnosfera. –2006. – 488 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.013>

Патрушев В.С.¹, Анциферова И.В.²

¹Магистр, студент кафедры Материалы, технологии и конструирование машин, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

²Доктор технических наук, профессор кафедры Материалы, технологии и конструирование машин, Менеджмента и маркетинга, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Аннотация

В данной работе рассмотрены некоторые методы улучшения, упрощение нефтедобычи и нефтеотдачи с использованием нанотехнологий. Использование нанотехнологий для увеличения нефтеотдачи является актуальной задачей. Основные направления для решения этой задачи можно сформулировать, как размерные эффекты в свойствах катализаторах, размерные эффекты в каталитически активных пористых материалах; нанотехнологии в разделении смесей; нанотехнологические покрытия. Помимо этого, наноматериалы планируется использовать как часть умной системы, которые будут выглядеть в виде различных датчиков, приводов, устройств управления. В одной из работ был рассмотрен вопрос, как масло и вода могут быть более эффективно разделены.

Ключевые слова: нанотехнологии, нефтяная промышленность, нефтеотдача, инновации, наносвойства, нефтяные месторождения.

Patrushev V.S.¹, Antsiferova I.V.²

¹Master, student of the Department of Materials, Technologies and Designing of Machines, Perm National Research Polytechnic University,

²PhD in Engineering, Professor of the Department of Materials, Technologies and Designing of Machines, Perm National Research Polytechnic University

THE USE OF NANOTECHNOLOGIES IN THE OIL-EXTRACTING INDUSTRY

Abstract

In this paper, the authors consider some methods of improvement, and simplification of oil production and oil recovery with the help of nanotechnologies. The use of nanotechnologies in increasing of the oil recovery is an urgent task. The main directions for solving this problem can be formulated as follows: dimensional effects in the properties of catalysts, size effects in catalytically active porous materials; nanotechnologies in the separation of mixtures; nanotechnological coatings. In addition, nanomaterials are planned to be used as a part of the intelligent system that will include different sensors, drives and control devices. One of the papers considers the issues of how oil and water can be separated more effectively.

Keywords: nanotechnology, oil industry, oil recovery, innovation, nanoscience, oil fields.

Сейчас самым главной задачей государственной политики РФ является перевод экономики на абсолютно другой путь развития – инновационный. Этот путь развития требует подходов, которые смогут обеспечить благоприятный климат для формирования эффективной среды науки, производства, развития и внедрения высоких технологий [1, С. 59-63].

Этот путь требует обеспечения благоприятного климата для формирования эффективной среды производства и применения знаний, развития и внедрения новых технологий. Задача развития современных нанотехнологий - найти новые идеи для выхода из перечня критических технологий в Российской Федерации путем нахождения новых идей для возможности реализации новых проектов для развития нанотехнологий. Использование наносвойств в нефтегазовой отрасли может быть путем активного применения нанотехнологий, являющихся товарным продуктом 6-й технологического уклада [2, С. 174]. Использование нанотехнологий для увеличения нефтеотдачи является актуальной задачей.

В наноразмерном состоянии любые вещества приобретают новые химические, биологические и физические свойства, существенно отличающиеся от их свойств в макро объемном состоянии. В настоящее время интерес к

новому классу материалов в области как фундаментальной и прикладной науки, так и промышленности и бизнеса постоянно увеличивается [3, С. 2-8].

На сегодняшний день, можно назвать основные направления использования нанотехнологий в нефтедобывающей отрасли: размерные эффекты в свойствах катализаторах, размерные эффекты в каталитически активных пористых материалах; нанотехнологии в разделении смесей; нанотехнологические покрытия. Нанотехнологии могут быть использованы для улучшения процесса бурения и добычи нефти и газа. Нанотехнологии могут помочь улучшить добычу нефти и газа, будет легче отделять масло и газ в резервуаре, например, через более глубокое понимание процессов на молекулярном уровне.

Так же, наноматериалы предполагается использовать не только в качестве продвинутых функциональных материалов, но и как неотъемлемую часть умной структуры, которые состоят из различных элементов, включая датчики, приводы, устройства управления. В данном исследовании представлен обзор наиболее интересных приложений нанотехнологий в нефтяной промышленности Российской Федерации. Так, например, в работе [4, С. 209-216] было исследовано использование катализаторов на основе наночастиц. Используя, частицы размера от 1 до 100 нанометров, позволяет увеличить активную поверхность катализатора. В результате этого поверхность получается низко координированным составом, в котором наночастицы проявляют максимальную активность. Исследователи использовали современный катализатор Кретинга, который состоит из сложного композита: нанокристалла, ультрастабильного цеолита с пластической морфологией. Эти исследования также позволяют оптимизировать и пористую структуру матрицы, которая может улавливать присутствующие в сырье нефти загрязняющие вещества, такие как ионы никеля и ванадия.

Данные работы [5, С. 171], демонстрируют, что свойственный размер явлений, определяющих эффективность нефтевытеснения в пористых средах, - капиллярный гистерезис, ионнообмен, величина асфальтенов - составляют десятые доли нанометра. Целенаправленная регуляция хим. и ионного состава закачиваемых в пласт агентов, а еще влияние физиологическими полями на пласт, тем более глинодержащий, приведет к изменению ионного равновесия в системе "нефть-газ-вода-порода" и увеличению нефтегазоизвлечения [6, С. 7-12].

До сих пор представления о капиллярах в пласте было такое, что это — небольшие трубочки, пересекающиеся меж собой. Оказалось, что поровое пространство, другое по структуре, его покрытие по причине шероховатости, быстрее, сопоставимо с «персидским ковром». И задача производства в том, что бы выволить молекулу нефти или же газа не из некой безупречно-гладкой трубочки, а из канала с трудной нанометровой шероховатостью, за которую она «цепляется». Тут воспользовались эффектом лотоса.

Несложное сопоставление. В случае если бы капля нефти рухнула на гладкую плоскость стекла, то ее возможно было бы собрать с поддержкой обыкновенной губки. А в случае если данная капля рухнула на ворсинки ковра, то губка – нехорошая ассистентка. Формы кристаллов глинистых минералов, формирующие данную шероховатость, присутствуют на уровне наноразмеров. Технологическая задача состояла – например влиять на капилляр, дабы его наносероховатость, влияющая на капиллярные силы, снизилась, и нефть из него вышла. Ещё 1 неувязка, имеющая место быть в нефтедобывающей индустрии – это неувязка нефтеотдачи.

И это опять нанотехнологии, которые могут помочь улучшить добычи нефти и газа. Необходимо рассмотреть процесс на молекулярном уровне, через процессы на границе жидкости и твердого тела и это облегчит отделение масла и газа в резервуаре. Цель чтобы понять, как масло и вода может быть более эффективно разделены. Нанотехнологии могут быть применяется для увеличения нефтеотдачи в виде введения поверхностно-активных веществ. Повышение надежности оборудования за счет антикоррозионных покрытий также является одним из основных направлений нефтяной и газовой промышленности. С недавним увеличением добычи высокосернистой нефти, трубопроводы и технологическое оборудование деградирует быстрее, чем обычно. Использование нанотехнологических покрытий для повышения устойчивости и коррозионной стойкости улучшит поверхностное покрытие теплообменника и приведет к сокращению простоев, связанных с ремонтом. Повышение надежности также имеет далеко ведущие последствия для безопасности и охраны здоровья.

Потери тепла и безопасность являются две основные проблемы в оборудовании по переработке нефти и газа. Потеря тепла составляет до 50% от общего объема промышленного использования энергии. Нанотехнологии представляют такое изобретение, как аэрогель, который изолирует промышленное оборудование от потери тепла. Толщина покрытия примерно как лист бумаги изолирует трубу или резервуар, а также еще плюс изоляции из стекловолокна. Эта смесь также обеспечивает повышенную устойчивость к коррозии. Изоляция может быть распылена с покрытием на любой металлической поверхности. Так же есть покрытия, которые наносятся на стенки труб изнутри. При этом за счет снижения шероховатости увеличивается скорость прокачки углеводородов.

У нас сегодня обводненность на многих крупнейших месторождениях достигает 90 процентов, а в целом по России – 86,5. Это означает, что в продукции добывающих скважин в 6 раз больше воды, чем нефти (в мире 3 тонны воды приходится на тонну нефти). Поэтому при уровне добычи в 520 млн. тонн нефти, мы поднимаем воды более 3 млрд. тонн! Получаются многомиллиардные затраты. А еще на сумму эквивалентную не менее 5 млрд. долларов в России приходится тратить на отделение нефти и очистку поднятой попутной воды.

Испытаны технологии с применением наностабилизированных пенных систем, снижающих обводненность на 15-20 процентов. Это приводит к двукратному снижению поднимаемой воды, а значит, и затрат [7, С. 173-176]. Для совершенствования и создания нефтегазовых нанотехнологий требуются тщательные исследования на стыке всех современных научных знаний.

Заключение

Обзор многочисленных работ позволяет сделать вывод о том, что использование нанотехнологий позволяет повысить нефтеотдачу и надежность оборудования. Нанотехнологии играют важную роль в развитии нефтедобывающей промышленности. Это одно из приоритетных направлений государства.

Список литературы / References

1. Хавкин А.Я. Интеллектуализация разработки месторождений с использованием нанотехнологических эффектов /А.Я. Хавкин // Нефть. Газ. Новации.-2012. -№ 10. -С.59-63
2. Анциферов В.Н. Проблемы науки о материалах и развитие высоких технологий в России / В.Н. Анциферов – Пермь: –ПГТУ. -2010. – С.174
3. Алфимов С.М. Развитие в России работ в области нанотехнологий / С.М. Алфимов, В.А. Быков, Е.П. Гребенников и др. // Нано- и микросистемная техника. - 2004. - №8. - С. 2-8.
4. Солодова Н.Л. Наноматериалы и нанотехнологии в нефтепереработке / Н.Л. Солдатова, Н.А Терентьева // Вестник Казанского технологического университета- 2013 -Т 16. -№3- С.209-216
5. Хавкин А. Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа / А. Я. Хавкин - М.: Нефть и газ. - Т.2. - 2008. – С. 171
6. Раткин Л.С. Нанотехнологии и наноматериалы, разработанные учреждениями Российской Академии Наук, для обеспечения экологической безопасности в нефтегазовой отрасли / Л.С. Раткин // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний - 2015. - № 10. - С.7-12
7. Хавкин А.Я. Энергетическая эффективность нефтегазовых нанотехнологий. Наноявления при разработке месторождений углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям» // Материалы IV Международной Конференции в г. Москва 11-12 ноября 2014 г. - М.: Нефть и газ, 2014. - С.173-176.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Khavkin A.Y. Intellektualisatsia razrabotki mestorozhdenii s ispolzovaniem nanotekhnologicheskikh effectov [Intelligent fields development with the use of nanotechnological effects] / A.Y. Khavkin // Oil. Gas. Innovations.-2012. -№ 10. – P.59-63. [in Russian]
2. Anciferov V.N. Problemy nayki o materialah i razvitie visokih tekhnologii v Rossii [Problems of science of materials and development of high technologies in Russia] / V.N. Anciferov – Perm: –PGTU. -2010. – P.174. [in Russian]
3. Alfimov S.M. Razvitie v Rossii rabot v oblasti nanotekhnologii [The development of the work in Russia in the field of nanotechnology] / S.M. Alfimov, V.A. Bykov, E.P. Grebennikov // Nano- I mikrosistemnaya tekhnika [Nano - and microsystem technology]. - 2004. - №8. - P.2-8. [in Russian]
4. Solodova N.L. Nanomaterialy i nanotekhnologii v neftepererabotke [Nanomaterials and nanotechnology in oil refining] / N.L. Solodova, N.A. Terentyeva // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo yuniversiteta [Vestnik Kazan technological University] - 2013 – V. 16. - №3 - P.209-216. [in Russian]
5. Khavkin A.Y. Nanoyavleniya I nanotekhnologii v dobyche nefiti I gasa [Nanoalloy and nanotechnology in the oil and gas production] / A. Y. Khavkin - M.: Oil and gas. -V.2. -2008. – P.171. [in Russian]
6. Ratkin L.S. Nanotekhnologii i nanomaterialy, rasrabotanniy uchrezhdeniamy Rossiyskoy Akademii Nayk, dlya obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti v neftegasovoi otrasli [Nanotechnology and nanomaterials developed by the institutions of the Russian Academy of Sciences, to ensure environmental safety in the oil and gas industry]/Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanii [The world of petroleum products. Herald of the oil companies] 2015. № 10. P.7-12. [in Russian]
7. Khavkin A.Y. Energeticheskaya effektivnost neftegasovyh nanotekhnologii [The energy efficiency of oil and gas nanotechnology] // Nanoyavleniya pri razraadotke mestorozhdenii yglevodorodnogo syrja: ot nanomineralogii i nanokhimii k nanotekhnologiyam [Nanoalloy in the development of hydrocarbon deposits: from nanomineralogy and nanochemistry to nanotechnologies] // Materialy IV Mezhdunarodnoi Konferencii v g.Moskva 11-12 noyabrya 2014 g. [Proceedings of the IV International Conference in Moscow on 11-12 November 2014]- M.: Oil and Gas, 2014. - P.173-176. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.085>Перьков Е.В.¹, Шаталов Н.А.²¹Аспирант, Северо-Кавказский федеральный университет в г. Ставрополе²Преподаватель, Ставропольский колледж связи имени Героя Советского Союза В.А. Петрова**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ****Аннотация**

В настоящее время своевременная диагностика является необходимым условием надежной работы различных электроустановок. Так, для силовых трансформаторов большой мощности используемых, например, на трансформаторных подстанциях необходим контроль таких величин как сопротивление короткого замыкания (КЗ) и индуктивность рассеяния. Их контроль на протяжении всего срока службы позволяет выявлять возможные повреждения трансформатора после аварийных ситуаций, поскольку в момент КЗ защитное устройство отключает трансформатор не мгновенно и через его обмотки кратковременно протекают ударные токи, подвергаящие большим механическим перегрузкам элементы трансформатора, что может повлечь за собой смещение или деформацию обмоток и сердечника.

Ключевые слова: силовой трансформатор, сопротивление короткого замыкания, диагностика и мониторинг, приборы учета

Perkov E.V.¹, Shatalov N.A.²¹Post-graduate student, North-Caucasian Federal University in Stavropol²Teacher, Stavropol College of Communications of the Hero of the Soviet Union Vladimir Petrov**DEVICE FOR DIAGNOSTICS AND MONITORING OF POWER TRANSFORMERS IN THE WORKING
MODE****Abstract**

At present, timely diagnostics is a necessary condition for reliable operation of various electrical devices. Thus, it is necessary to control such quantities as short-circuit resistance (SCR) and leakage inductance for power transformers of high power, for example, in transformer substations. Their control over the whole lifetime allows detecting possible damage to the transformer after emergency situations, because at the time of short circuit protective devices do not instantaneously disconnect the transformer and its shock windings briefly flow shock currents subjecting the transformer elements to large mechanical overloads, which can lead to the displacement or deformation of windings and core.

Keywords: power transformer, short-circuit resistance, diagnostics and monitoring, metering device.

При возникновении КЗ на вторичной стороне силового трансформатора воздействующие на обмотку силы могут достигать 3,6 МПа и более. [2, С. 202] Их последствия отражается на токе ХХ, сопротивлении КЗ и индуктивности рассеяния, по которым можно судить о состоянии трансформатора без его разборки. Параметры сопротивления КЗ и индуктивности рассеяния не сложно измерить в отключенном от сети трансформаторе, что на практике и делают: измеряют на заводе изготовителе. Но для их замера требуется отключение трансформатора на длительное время от питающей сети и потребителей, что экономически не выгодно, а в ряде случаев недопустимо.

Предлагаемое устройство реализует аналитический алгоритм с использованием Г-образной схемы замещения трансформатора [3, С. 49], на основе которой производятся расчеты сопротивления КЗ и индуктивности рассеяния.

Для определения параметров Г-образной схемы замещения трансформатора (рис.1) в рабочем режиме необходимо производить измерения мгновенных значений первичного напряжения $u_{ex}(t)$, вторичного напряжения $u_n(t)$, вторичного тока $i_2(t)$ в течении одного периода, а также температуру θ обмоток трансформатора (рис. 2) с помощью предлагаемого устройства.

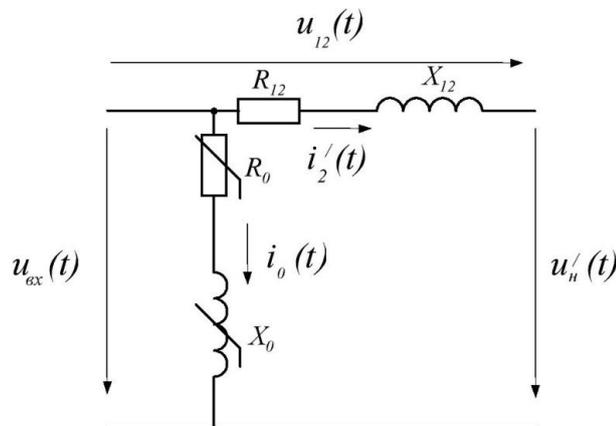


Рис. 1 – Г-образная схема замещения трансформатора

Для измерений мы предлагаем устройство (рис. 2) и методику диагностики указанных выше параметров.

$$|L_{12}(t_j)| = \frac{|u_L(t_j)|}{\left| \frac{di_2'(t_j)}{dt} \right|}$$

Исключая случайные погрешности рассчитываем среднее значение индуктивности за период

$$L_{cp} = \sum_{j=1}^N \frac{L_{12}(t_j)}{N}$$

По изменению активного сопротивления обмоток можно судить о целостности электрических цепей и состоянии контактных соединений, а по изменению индуктивного сопротивления обмоток – о деформации обмоток силового трансформатора. Так, например, смещение или деформации обмоток вносит изменения в магнитную систему обмотка-сердечник, что непременно отражается на индуктивности, также как и смещение или частичная расшпихтовка магнитопровода. Растяжение или обжим обмотки во время воздействия ударного тока скажется на ее активном сопротивлении, а следовательно и на сопротивлении КЗ. Ослабшие зажимы и болтовые соединения, находящиеся в контуре мониторинга прибора также увеличивают сопротивление.

Возможен и более точный метод диагностики на основе двух совмещенных устройств на основе проборов учета электроэнергии подключаемых к первичной и вторичной обмоткам (рис. 3). Так P'_{12} выражается в разницу активных энергий с обоих приборов.

$$P_{12} = \frac{E_1 - E_2}{\Delta t}$$

где E_1 и E_2 – накопленная активная энергия, Вт·с за период времени Δt , с.

Индуктивность рассеивания рассчитывают по времени задержки перехода напряжения через «ноль» первичной обмотки относительно вторичной

$$\varphi = \frac{\Delta t \cdot 360}{0,02}$$

где, φ - электрический угол сдвига напряжений

Затем вычисляем действующее напряжение на индуктивной составляющей

$$U_L = (U_n + I_2 R_{12}) \sin(\varphi)$$

где, U_n и I_2 - действующие значения напряжения и тока нагрузки

Далее вычисляется индуктивность на основе ее реактивного сопротивления и частоты сети.

$$L = \frac{U_L}{2\pi f I_2}$$

Где, f – частота тока питающей сети

Основа предлагаемого устройства – микросхема Atmel ATM90E36 которая представляет собой шесть независимых 24 разрядных АЦП совмещенных с цифровым сигнальным процессором. Последний обрабатывает 8000 отчетов/сек от каждого из АЦП [4, С. 73].

На рисунке 3 представлена блок схема устройства:

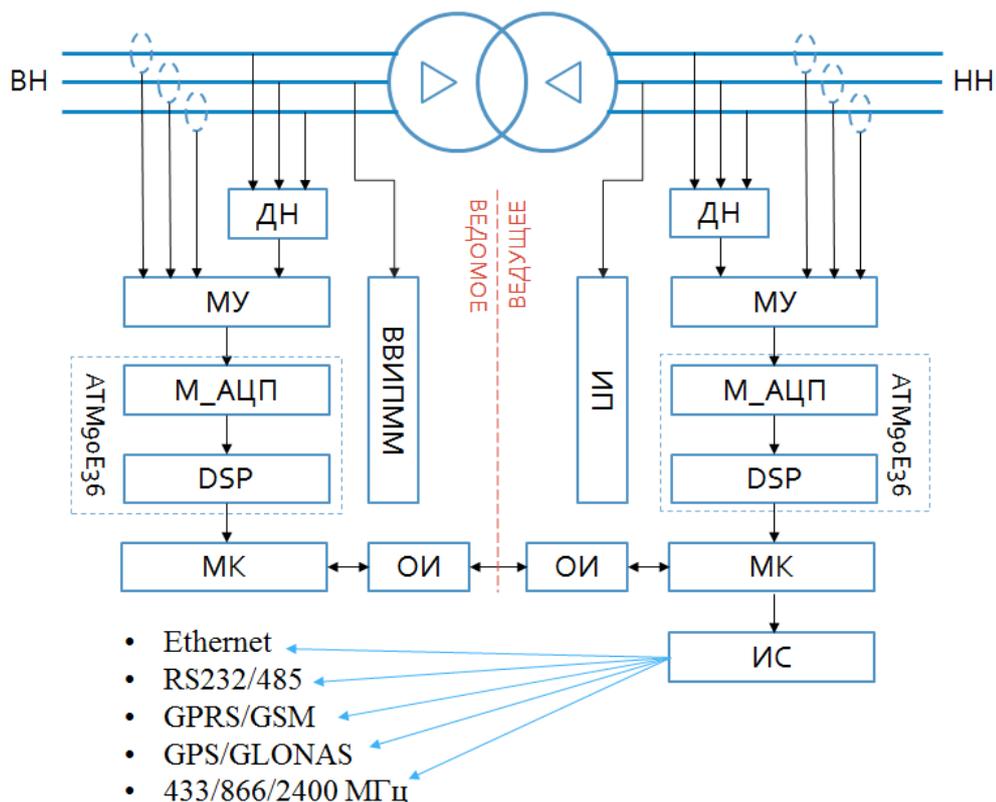


Рис.3 – Блок схема устройства

На схеме имеются следующие узлы:

- ДН – резистивные или емкостные делители напряжения. Используются взамен измерительных трансформаторов напряжения, что позволяет резко сократить расходы на их приобретение, обслуживание и поверку.
- МУ – масштабирующие усилители. Предназначены для приведения уровня сигнала к входным уровням измерительной микросхемы (АТМ90Е36) и выделением интересующей полосы с помощью ФНЧ.
- М_АЦП и DSP – мультисканальный АЦП и цифровой сигнальный процессор (Digital Signal Processor), являющиеся частями специализированной трехфазной микросхемы-измерителя.
- МК – микроконтроллер, обрабатывающий сигналы с микросхемы-измерителя, а также обеспечивающий обработку многочисленных интерфейсов связи.
- ОИ – оптический интерфейс. Обеспечивает коммуникацию обоих блоков устройства и гальваническую развязку.
- ВВИПММ – высоковольтный источник питания маломощный. Преобразует высокое напряжение (10-35 кВ) первичной цепи силового трансформатора для питания компонентов схемы без необходимости применения дорогого трансформатора собственных нужд.
- ИП – источник питания. То-же, для второго блока устройства.
- ИС – интерфейсы связи. Включают в себя различные опции в виде беспроводных интерфейсов (433 МГц, 866 МГц, 2400 МГц), GSM/GPRS, Ethernet, RS232/485 и другие.

В качестве датчиков тока наиболее удобно использование разъемных конструкций, например, разъемный трансформатор тока. Это обеспечит быстрый монтаж устройства, также в случае если силовой трансформатор уже находится в эксплуатации, исключит необходимость в разрыве проводников, как по высокой, так и по низкой сторонам. Но наиболее выгодным решением является использование пояса Роговского, который аналогично трансформатору тока может быть выполнен разъемным. Помимо вышеперечисленного он имеет существенные преимущества перед трансформаторами тока – отсутствие резонансных явлений, малые габариты и вес, устойчивость к токам КЗ и простая масштабируемость.

Для устройства предполагается беспроводное подключение и онлайн мониторинг параметров включающих в себя помимо состояния обмоток еще и мощность, КПД, потребленную энергию (реактивную, активную, полную), напряжения первичной и вторичной линий, ток, частоту сети, а так же упрощенные данные по качеству электроэнергии. Дополнительно возможна запись переходных процессов.

Предложенные устройство и методика позволят значительно сократить издержки на обслуживание силового трансформатора, и возможно, на часть сопутствующего оборудования мониторинга, так как устройство совмещает в себе их функционал, пускай частично и упрощенно.

Список литературы / References

1. Ryder S. Frequency Response Analysis for Diagnostic Testing of Power Transformers // Electricity Today Mag. Article, Issue 0601, 2006
2. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004 – 616 с.
3. Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сборник научных трудов. – Ставрополь : АГРУС СтГАУ, 2014. – 248 с.
4. Atmel M90E36A: Enhanced Poly-Phase High-Performance Wide-Span Energy Metering IC - Atmel Corporation, 2015 – 87 с.
5. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – Введ. 01.07.86. - Министерство электротехнической промышленности, 1985. – 48 с.
6. ГОСТ 30830-2002. Трансформаторы силовые. Общие положения. – Введ. 01.01.2004. - Центр стандартизации и сертификации высоковольтного электрооборудования и силовых полупроводниковых приборов (ЦСВЭП), 2004. – 28 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ryder S. Frequency Response Analysis for Diagnostic Testing of Power Transformers // Electricity Today Mag. Article, Issue 0601, 2006
2. Silovye transformatory. Spravochnaja kniga [Power transformers. Reference book] / Pod red. S.D. Lizunova, A.K. Lohanina. M.: Jenergoizdat, 2004 – 616 P.[in Russian]
3. Metody i tehniczeskie sredstva povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija jelektrooborudovanija v promyshlennosti i sel'skom hozjajstve: sbornik nauchnyh trudov. [Methods and technical means of increase in efficiency of use of electric equipment in the industry and agriculture: collection of scientific works] – Stavropol' : AGRUS StGAU, 2014. – 248 P. [in Russian]
4. Atmel M90E36A: Enhanced Poly-Phase High-Performance Wide-Span Energy Metering IC - Atmel Corporation, 2015 – 87 P.
5. GOST 11677-85. Transformatory silovye. Obshhie tehniczeskie uslovija [Power transformers. General specifications] – Vved. 01.07.86. - Ministerstvo jelektrotehniczeskoj promyshlennosti, 1985. – 48 P. [in Russian]
6. GOST 30830-2002. Transformatory silovye. Obshhie polozhenija [Power transformers. Part 1. General] – Vved. 01.01.2004. - Centr standartizacii i sertifikacii vysokovol'tnogo jelektrooborudovanija i silovyh poluprovodnikovyh priborov (CSVJeP), 2004. – 28 P. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.046>Попов В.Г.¹, Сухов Ф.И.², Чурюкина С.В.³, Дусеев Д.И.⁴¹Профессор, доктор технических наук,

Московского Государственного Университета Путей Сообщения Императора Николая II, (МГУПС МИИТ),

²Доцент, кандидат технических наук,

Московского Государственного Университета Путей Сообщения Императора Николая II (МГУПС МИИТ),

³Старший преподаватель, Московского Государственного Университета Путей Сообщения Императора Николая II (МГУПС МИИТ),⁴Студент магистратуры 2-го года, Московского Государственного Университета Путей Сообщения, Императора Николая II (МГУПС МИИТ)**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ХЛОРИДНЫХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА КОНТАКТНУЮ СЕТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА***Аннотация*

В статье рассмотрен механизм трансформации хлоридных противогололедных реагентов. Экспериментальным путем доказано, что хлоридные противогололедные реагенты могут попадать в атмосферу, а также на элементы контактной сети воздушных линий электрификации (изоляторы, провода). Было также доказано, что основным механизмом поступления хлоридов в атмосферу является массоперенос. Интенсивность массопереноса, а, следовательно, и количество вещества в атмосфере, зависит от скорости ветра. Исходя из полученных данных, следует, что необходимо изучить все пути попадания противогололедных реагентов в атмосферу.

Ключевые слова: антигололедные реагенты, хлоридные аэрозоли, массоперенос.

Popov V.G.¹, Sukhov F.I.², Churiukina S.V.³, Duseev D.I.⁴¹Professor, PhD in Engineering,

Emperor Nicholas II Moscow State University of Railway Engineering (MIIT),

²Associate Professor, PhD in Engineering,

Emperor Nicholas II Moscow State University of Railway Engineering (MIIT),

³Senior Professor, Emperor Nicholas II Moscow State University of Railway Engineering (MIIT),⁴Graduate Student of the Second Year of the Master's Degree program,

Emperor Nicholas II Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)

IDENTIFICATION OF INFLUENCE OF CHLORIDE DEICING AGENTS ON CONTACT NETWORK OF AIRLINE ELECTRIFICATION LINES OF GROUND TRANSPORT*Abstract*

The article considers the mechanism of transformation of chloride deicing agents. It has been experimentally proven that chloride deicing agents can enter the atmosphere, as well as the elements of the contact network of electrification air lines (insulators, wires.) It was also proven that the main mechanism for the introduction of chlorides into the atmosphere is mass transfer. The intensity of mass transfer, and, consequently, the amount of matter in the atmosphere, depends on the speed of the wind. Based on the data obtained, it follows that it is necessary to study all the ways of getting deicing agents into the atmosphere.

Keywords: deicing agent, chloride aerosols, mass transfer.

В последнее время в СМИ стала появляться информация о том, что при применении антигололедных реагентов на дорогах из строя выходят элементы контактной сети воздушных линий электропередачи наземного транспорта. В 1997 году, например, прекращалось движение троллейбусов на многих их московских маршрутов из-за выхода из строя изоляторов на контактных сетях электропроводки [1]. В Санкт-Петербурге вследствие чрезмерного использования реагентов произошло отключение электроснабжения, т.е. на проводах оседали хлориды, которые попадали на них из атмосферного воздуха. В связи с этим, очень важным является вопрос о том, каким образом хлоридные противогололедные реагенты попадают в атмосферный воздух, а затем и на элементы контактной сети воздушных линий.

Путей попадания сыпучих противогололедных реагентов в атмосферу несколько. Так, например, при переходе порошкообразных тел во взвешенное состояние образуются дисперсионные аэрозоли. Авторы данной статьи провели исследование по идентификации механизма попадания противогололедных хлоридных реагентов в атмосферу и пришли к выводу, что сыпучие реагенты попадают в воздух вследствие массопереноса. Предположили, что хлориды поступают в атмосферу в результате массопереноса, происходящего за счет движения воздушных масс (в частности – ветров). Хлоридные сыпучие антигололедные реагенты находятся на открытой местности и образуют аэрозоли, которые способны перемещаться на различные расстояния с определенной интенсивностью. Самым распространенным механизмом переноса будет конвективный перенос. Интенсивность переноса при данном механизме будет зависеть от скорости ветра и количества вещества, хранящегося на открытой местности. Для подтверждения этого предположения провели исследования [2].

Для эксперимента взяли навеску модели противогололедного реагента, равную 50 г. Собрали установку (см. рис. 1).



Рис. 1 – Установка для определения массопереноса (Аэродинамическая труба Вентури)

Между трубками Вентури расположили подложку с известной площадью, на подложке ровным слоем распределили взвешенный реагент. Провели несколько опытов с разной скоростью движения воздуха. Затем задавали определенную скорость движения воздуха и в течение часа наблюдали за ходом эксперимента. Все данные фиксировали. Рассчитали интенсивность массопереноса (j) по формуле 1:

$$j = cu \quad (1)$$

где c (доли единицы) — концентрация вещества в воздушном потоке мг/м^3 , u — скорость воздушного потока, м/с .

Данные: площадь подложки $S = 0,01575 \text{ м}^2$; время проведения эксперимента $\tau = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ сек}$; разность массы определяем по формуле 2:

$$\Delta m = m_n - m_k \quad (2)$$

$$\Delta m_1 = 0 \text{ г}$$

Массовая доля вещества, унесенного с подложки, %, определяется по формуле 3:

$$X = (\Delta m/m) \cdot 100\% \quad (3)$$

$$X_1 = 0 \%$$

Т.к. скорость – это заданная нами величина, необходимо найти концентрацию реагента, которая определяется по формуле (4):

$$c = m/V_0 \quad (4)$$

где m – масса реагента, мг ; V_0 – объем воздуха, прошедшего через аэродинамическую трубу, приведенный к н. у., м^3 .

Объем находим, преобразовав формулу Бернулли (5) и получив следующее выражение (6):

$$u = \sqrt{2(P_0 - P)/\rho} \quad (5)$$

где u – скорость воздушного потока, м/с ; P_0 – давление воздуха при н.у., мм рт. ст. ; P – атмосферное давление воздуха, мм рт. ст. ; ρ – плотность воздуха, мг/м^3 .

$$V = (mu^2)/2 ((P_0 - P)) \quad (6)$$

Подставив значения, получим:

$$V_{11} = (5,66210^2 \cdot 1,3^2)/2(760 - 3,7910^2) = 0,63 \text{ м}^3.$$

Поскольку воздух – это газовая среда, необходимо привести объем к нормальным условиям:

$$V_{01} = (0,63273760)/298760 = 0,577 \text{ м}^3.$$

$$c_1 = 0/(5,66210^2) = 0 \text{ мг/м}^3$$

$$j_1 = 0 \cdot 1,0 = 0$$

Провели несколько экспериментов с разной модельной скоростью ветра.

Полученные данные занесли в таблицу (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Зависимость значений массопереноса модели хлоридного противогололедного реагента от скорости движения воздуха

U, м/с	1,0	1,3	2,1	5,0
$c \cdot 10^{-3}$, мг/м ³	0	1,02	2,65	15,07
$j \cdot 10^{-3}$	0	1,325	5,58	75,35

График зависимости значений концентрации от скорости движения воздуха представлен на рисунке 2.

Массоперенос

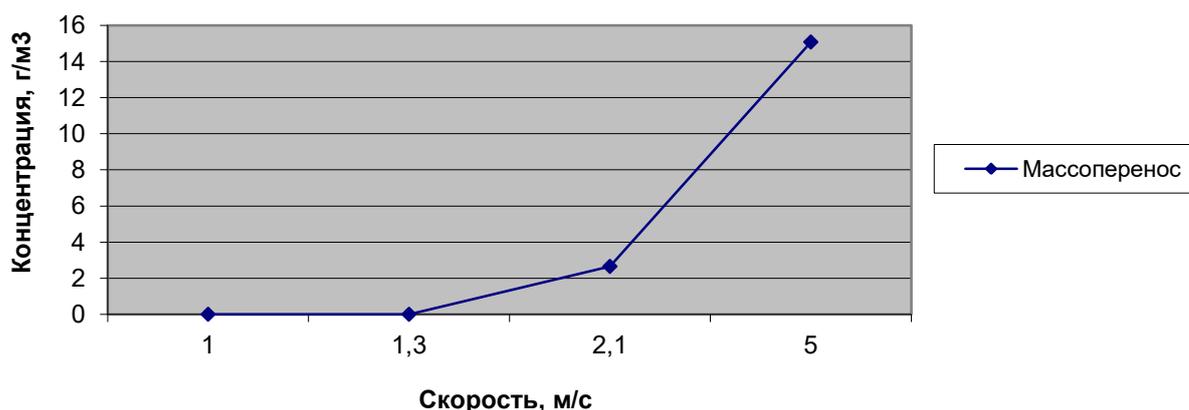


Рис. 2 – Зависимость значений концентрации хлоридных сыпучих реагентов от скорости движения воздуха

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением скорости ветра возрастает и количество вещества им переносимое.

Путем возгонки или транспирации при нормальных условиях, а также и при низких температурах, хлориды попасть в атмосферный воздух не смогут. Это обуславливается очень высокой температурой возгонки хлоридов. Так, по данным Ермоленко Е.П. [4] температура плавления (тпл) хлорида натрия (NaCl) 800,8 °С (1073 К), а температура возгонки или кипения (ткип) - 1465 °С, а температура плавления хлорида калия KCl (тпл) составляет 1049 °С.

К сожалению, до настоящего времени не проводилось серьезных исследований по определению испарения многокомпонентных смесей. В этом направлении также необходимо работать, для подтверждения или исключения еще и такого способа поступления хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов в атмосферу, а затем и на элементы воздушных линий электрификации.

Интересны данные по летучести. Были проведены расчеты летучести паров поваренной соли. Летучесть рассчитывали по формуле 1.7:

$$L = (16 \cdot P \cdot M \cdot 1000) / (273 + t) \quad (1.7)$$

где P – давление насыщенного пара вещества, мм. рт. ст.; M – молекулярная масса вещества; t – температура. Летучесть веществ определяется силами притяжения между молекулами, выражается в $\text{мг}/\text{м}^3$. Данные по летучести обычно сравнивают с ацетоном. Расчетная летучесть ацетона составляет $L_{(\text{CH}_3)_2\text{O}} = 6,1 \cdot 10^7 \text{ мг}/\text{м}^3$; для сравнения рассчитали еще и летучесть аммиака, запах которого остро ощущается уже при открывании склянки: $L_{\text{NH}_3} = 8,0679 \cdot 10^9 \text{ мг}/\text{м}^3$, а расчетная летучесть поваренной соли (NaCl) составляет $L_{\text{NaCl}} = 3,2673 \cdot 10^5 \text{ мг}/\text{м}^3$. Становится понятно, что летучесть поваренной соли невысока. Чаще всего вещество попадает в атмосферу при испарении или сублимации для твердых веществ. Летучесть зависит от температуры и давления. Обычно испарение происходит при температуре, чуть более низкой, чем температура кипения. Но для солей, из которых состоят исследуемые реагенты, испарение, скорее всего, начнется при температуре плавления или при температуре, несколько отличной от последней. Значит при нормальных условиях (и при условиях эксплуатации антигололедных реагентов и их пребывания в окружающей среде) процесс испарения хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов протекать не будет. Температура кипения и испарения хлорида натрия очень высока, поэтому и летучесть его при нормальных условиях, и уж тем более при низких температурах, будет низкой. В работе [4] были проведены масс-спектрометрические исследования, в результате которых было установлено, что NaCl возгоняется без разложения. Необходимо проводить серьезные исследования данного процесса. Объектами исследований могут стать различные физико-химические характеристики этого процесса, такие как состав жидкой фазы, изменения ее объема, наличие градиентов температур и концентраций, взаимное влияние процессов теплообмена и массообмена и пр.

Скорее всего, наиболее вероятным способом попадания хлоридных антигололедных реагентов в атмосферу будет именно массоперенос. Следовательно, на элементы воздушной контактной сети, такие как изоляторы, провода и пр., хлориды, попадающие в атмосферу в результате массопереноса, будут оказывать негативное воздействие. Необходимо разработать меры по предотвращению такого воздействия во избежание износа оборудования и аварийных ситуаций.

Список литературы / References

1. Чудакова С. Б. Токсиколого-гигиеническая оценка степени опасности антигололедных реагентов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Москва, 2007 г.
2. Попов В.Г., Сухов Ф.И., Чурюкина С.В., Дусеев Д.И. Идентификация механизма трансформации хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов, входящих в состав антигололедных реагентов, в окружающей среде. Материалы III - IV международной научно-практической конференции. Ежемесячный Российско-китайский научный журнал «Содружество» № 4 (3) / 2016. Часть 1.
3. Физический энциклопедический словарь. / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. Кол. Д. М. Алексеев, А. М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик- Романов и др. - М.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с., ил., 2 л. цв. ил.

4. Ермоленко Е.П. «Особенности воздействия хлоридов щелочных металлов на процессы клинкерообразования». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород. 2012 г.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chudakova S. B. Toksikologo-gigienicheskaja ocenka stepeni opasnosti antigolodnyh reagentov. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata medicinskih nauk [Toxicological-hygienic assessment of the hazard of de-icing product. The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of medical Sciences] Moskva, 2007 g. [in Russian]

2. Popov V.G., Suhov F.I., Churjukina S.V., Duseev D.I. Identifikacija mehanizma transformacii hloridov shhelochnyh i shhelochno-zemel'nyh metallov, vhodjashhih v sostav antigolodnyh reagentov, v okruzhajushhej srede. Materialy III - IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ezhemesjachnyj Rossijsko-kitajskij nauchnyj zhurnal «Sodruzhestvo» [Identification of the mechanism of transformation of chlorides of alkaline and alkaline-earth metals included in the composition of anti-icing reagents in the environment. Materials of the III - IV international scientific-practical conference. A monthly Russian-Chinese scientific journal "Commonwealth"] № 4 (3) / 2016. Chast' 1. [in Russian]

3. Fizicheskij jenciklopedicheskij slovar' [Physical encyclopedic dictionary] / Gl. red. A.M. Prohorov. Red. Kol. D. M. Alekseev, A. M. Bonch-Bruevich, A.S. Borovik- Romanov i dr. - M.: Sovetskaja jenciklopedija, 1984. – 944 s., il., 2 l. cv. il. [in Russian]

4. Ermolenko E.P. «Osobennosti vozdejstvija hloridov shhelochnyh metallov na processy klinkeroobrazovaniya». Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk ["Impact of alkaline metals chlorides on the process of klinkerobrazovaniya". The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences] Belgorod. 2012 g. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.007>

Проснеков С.А.

Аспирант кафедры вычислительных систем и программирования,
Санкт-Петербургский государственный экономический университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ВЫБОР МЕТРИК ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ERP СИСТЕМ

Аннотация

В данной статье рассмотрены стандарты регламентирующий выбор метрик информационной безопасности системы. Приведены примеры метрик информационной безопасности для критических бизнес-систем. Рассмотрены базовые свойства метрик и приведен алгоритм выбор метрик, целостность данных системы безопасности для ERP-систем. Проведен анализ данных метрик и сделаны выводы, о том, что выбор данных метрик позволяет подходить к вложениям в безопасность ERP систем более осознано, анализируя свои «плюсы и минусы».

Ключевые слова: метрики безопасности, ERP-системы, информационная безопасность.

Prosnekov S.A.

Postgraduate Student of Computer Systems and Programming Chair,
St. Petersburg State Economic University

CHOICE OF METRICS FOR SECURITY ASSESSMENT OF ERP SYSTEMS

Abstract

This article discusses standards which regulate the choice of metrics of information security systems. Examples of information security metrics for critical business systems are given. Basic properties of metrics are considered and the algorithm for choosing metrics and the integrity of security system data for ERP-systems are provided. The analysis of these metrics is carried out. It was concluded that the choice of these metrics allows treating investment in the security of ERP systems with greater awareness by analyzing all "pros and cons."

Keywords: security metrics, ERP-systems, information security.

Масштабный рост количества внедренных ERP систем, а также общее усложнение их структуры и полный охват всех бизнес-процессов в организации привело к ситуации, когда безопасность ERP системы – вопрос не столько стабильности работы, сколько в целом выживания организации. В связи с этим вопрос информационной безопасности ERP систем встал как никогда остро. Но менеджмент организаций столкнулся с проблемой выбора средств и методов защиты. Т.к. каждая из ERP систем – строго индивидуальна (фактически ERP система — это только каркас, на основе которого каждая организация выстраивает свою бизнес-логику) то применения каких-либо стандартизированных средств и методов защиты – крайне малоэффективно. Второй момент, который необходимо отметить это специфика инвестиций в безопасность, т.к. такие инвестиции не приносят прямой прибыли – возникает ситуация при которой очень сложно оценить и обосновать их перед вышестоящим руководством.

Постановка задачи

Для оценки эффективности инвестиций в информационную безопасность ERP систем необходимо определить набор метрик, которые будут отражать изменения в состоянии информационной безопасности системы.

Метрики являются инструментами, которые предназначены для облегчения процесса принятия решений и повышения эффективности и подотчетности путем сбора, анализа и представления соответствующих данных – из определения NIST [1].

Метрики безопасности можно рассматривать как стандарт (или систему) используемую для количественного измерения уровня безопасности организации.

Правильно определенные метрики могут помочь ответить на следующие вопросы:

1. Есть ли уязвимости в системе? Уровень их критичности.
2. Какой компонент был или будет скомпрометирован
3. Как можно измерить потенциальный риск?
4. Как предотвратить атаку?
5. Прервется ли выполнения бизнес-задачи?

Рассмотрим архитектуру наиболее распространенных ERP систем (рис.1, рис.2).

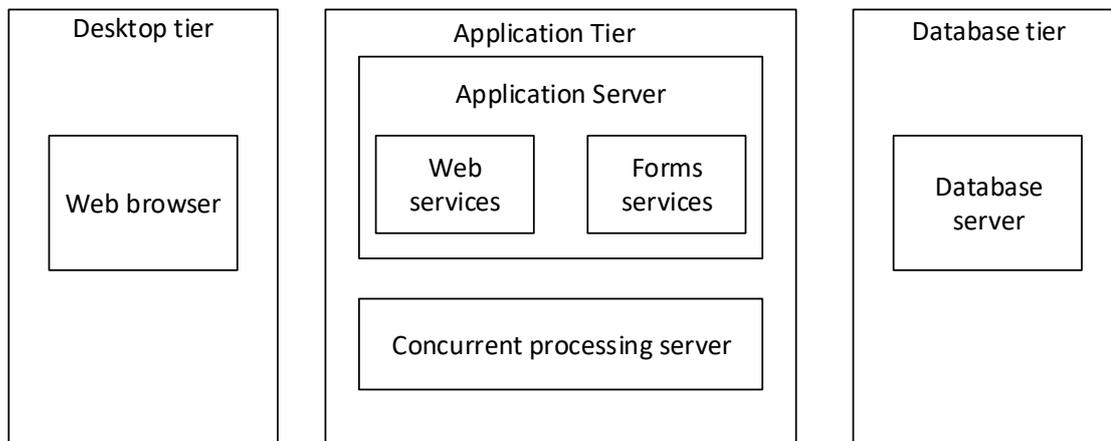


Рис. 1 – Архитектура Oracle E-Business Suite [2]

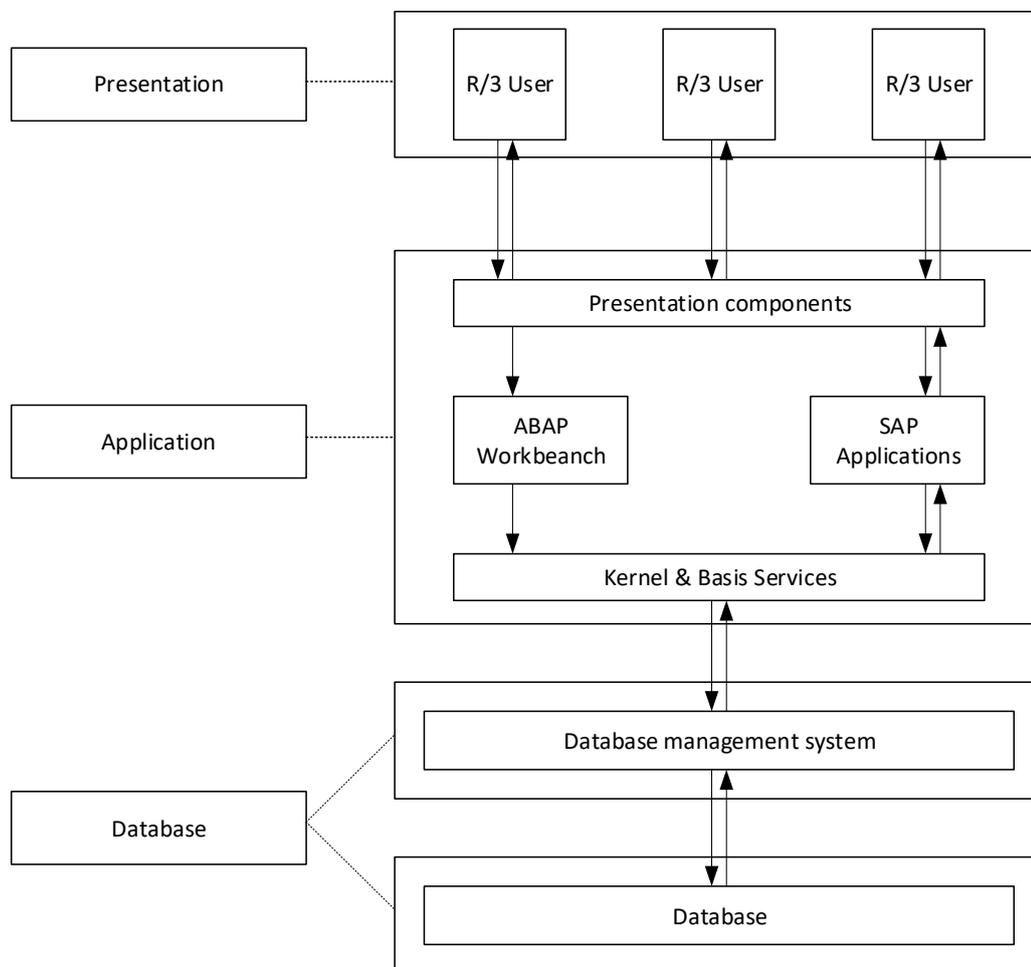


Рис. 2 – Архитектура SAP R3 [3]

На приведенных выше логических структурах, четко прослеживается модульная система построения ERP систем, это значит, что можно провести декомпозицию ERP системы исходя из требований ситуации (можно рассматривать как ERP систему в целом, так и отдельные ее составные части, любого необходимого размера). Важно определить минимально необходимый и при этом полный набор метрик, который будет применим на всех уровнях декомпозиции.

В настоящее время основным документом, описывающим использование и выбор метрик информационной безопасности, является ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент информационной безопасности. Измерения» [8]. В стандарте описаны рекомендации по разработке и использованию измерений и мер измерений для оценки эффективности реализованной

системы управления информационной безопасностью, но при этом не приводятся никаких практических образцов, которые можно было бы использовать для контроля.

Также правилом хорошего тона считается использование методики «S.M.A.R.T.» [9]. Суть методики заключается в том, что каждая метрика должна соответствовать определенным параметрам, чтобы в конечном итоге измерения были доступны пониманию руководителей и эффективны с точки зрения бизнеса. Т.е. метрики должны быть конкретными (Specific), измеримыми (Measurable), применимыми на практике (Actionable), уместными (Relevant) и своевременными (Timely).

Различные авторы, в своих исследованиях приводят совершенно различные набор метрик, исходя из конкретных задач оценки [4]. Например,

Топологические метрики:

Метрики, характеризующие элементы и их связность:

- Незащищенность (доступность элемента, простота эксплуатации уязвимостей)
- Критичность элемента (ценность для бизнеса)
- Риск

Нисходящий риск (риск компрометации других элементов системы, в случае компрометации рассматриваемого элемента)

Метрики, с точки зрения приложений

- Количество приложений
- Процент критичных приложений

Метрики, учитывающие информацию об уязвимостях

- Процент элементов без известных критических уязвимостей
- Среднее время на устранения уязвимости
- Количество известных уязвимостей

Метрики, учитывающие информацию об атаках

- Критичность уязвимости и сложность доступа к уязвимости, позволяющие вычислить вероятность атаки

Метрики нарушителя

Уровень навыков нарушителя, определяемы на основе вероятностей и исторических данных (статический подход) и (или) на основе событий, происходящих в системе (динамический подход)

Метрики атак и контрмер

- Потенциал атаки, показывает, как близко находится нарушитель к своей цели

Влияние (ущерб от) атаки – может быть определен для каждого узла на графе атак статистически или динамически на основе зависимостей

Метрики, связанные с контрмерами

- Эффективность реагирования или выигрыш при реагировании. Побочные процессы при реагировании

Интегральные метрики (метрики уровня системы)

- Поверхность атаки – определяется на основе отношения потенциала разрушений к затратам
- Уровень риска

Анализ стоимости выигрыша

- Общий выигрыш и ожидаемы годовые потери, возврат инвестиций от реагирования на атаку (ROI)

Анализ уязвимостей нулевого дня

Вероятностная мера уязвимости, показывающая насколько вероятно возникновение уязвимости нулевого дня за определенный период времени

- К-безопасность нулевого дня, показатель определяющий устойчивость сети к уязвимостям нулевого дня

Из представленных в других работах метрик видно, что в зависимости от задачи оценки можно варьировать как глубину декомпозиции системы, так и выбор метрик, изменение, которых будет говорить о состоянии защищенности системы. Следует понимать, что ERP система, как комплексный объект, может иметь несколько наборов метрик, отражающих как состояние системы в целом, так и состояние отдельных ее элементов и чем более простыми и привязанными к реальным измеримым показателям они будут – тем лучше.

Также при выборе метрик, необходимо быть уверенным в том, что все метрики соответствуют базовым свойствам:

1. Метрики должны быть измеримы (значения метрик должны иметь объективное числовое выражение)

2. Метрики должны быть значимы (любые изменения в подсистеме безопасности ERP должны вызывать изменение значения тех или иных метрик)

Это позволит создать минимальный и при этом достаточный набор метрик. Что крайне важно при построении системы мониторинга безопасности, т.к. слишком большое количество метрик, приведет к излишним временным и денежным затратам на сбор и обработку информации, а слишком малое не отразит всех изменений в системе.

Обобщенный алгоритм выбора метрик безопасности ERP системы, можно описать в несколько шагов:

1. Определить цели и средства их достижения. Цели должны быть зафиксированы и реализовываться на всех уровнях управления

2. Определить, базовые свойства необходимых для оценки метрик. Метрики должны быть простыми, измеримыми. Их не должно быть слишком много, они должны отражать объективную и востребованную информацию. Например, для руководства организации, 2 метрики, отражающие количество известных уязвимостей и вероятность их реализации, может иметь меньший вес, чем одна метрика отражающая математическое ожидание потерь, выраженное в реальных денежных единицах, в то же время для специалиста по безопасности может быть наоборот. Важно понимать, что для разных уровней управления, нужны разные метрики

3. Описать стратегии получения данных, назначить ответственных и описать, процесс, метод, частоту получения данных.
4. Описать, как полученные метрики отражают достижение установленных целей
5. Разработать план внедрения, отражающий все необходимые изменения в системе, сроки, конкретные задачи и ответственных лиц
6. Приступить к реализации

Вопрос стандартизации и регламентирования подходов к обеспечению безопасности ERP систем, долгое время оставался только в ведении производителей ERP систем и не рассматривался отдельно в рамках стандартов. На данный момент вопрос разработки стандартизированных решений стоит достаточно остро. Выделенные метрики безопасности ERP систем, позволяют определить состояние защищенности системы в конкретный момент времени, а, следовательно, опираясь на эти метрики, появляется возможность оценивать все изменения в ERP системе с точки зрения их влияния на безопасность. Это в свою очередь, открывает возможность, подходить к вложениям в безопасность ERP систем осознано, правильно оценивая все риски и эффективность таких вложений в целом.

Список литературы / References

1. NIST Security Measurement NIST SP 800-55 Revision 1 [Электронный ресурс] / National Institute of Standards and Technology. – 2008. – С.9-19. – URL: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-55r1.pdf> (дата обращения: 23.04.2017)
2. Oracle E-Business Suite Concepts, Release 12.1, Part Number E12841-04 [Электронный ресурс] / Oracle. – 2010. – С. 3-32. –URL: https://docs.oracle.com/cd/E18727_01/doc.121/e12841.pdf (дата обращения: 23.04.2017)
3. Sap R3 architecture introduction [Электронный ресурс] / SAP Brains Online. - 2008. - URL: <http://sapbrainsonline.com/help/sap-r3-architecture-introduction.html> (дата обращения: 28.04.2017)
4. Котенко И.В. Вычисление, визуализация и анализ метрик защищенности мониторинга безопасности [Электронный ресурс] / И.В. Котенко / - Материал конференции PHD 2015 (СПИИРАН): - 2015. -URL: <https://www.slideshare.net/phdays/siem-49114720> (дата обращения: 30.04.2017)
5. Приказ Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации (Минэкономразвития России) от 20 июля 2007 г. N 256 г. Москва "Об утверждении федерального стандарта оценки "Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО N 1)"
6. Патушинский С.Г. Влияние ERP систем на эффективность управления строительной компании / Патушинский С.Г. - Российское предпринимательство, 2010, №3(1)
7. Миславский Ф.Б. Роль и место erp-систем в современном бизнесе [Электронный ресурс] / Миславский Ф.Б. / - 2013. -URL: <https://sjes.esrae.ru/pdf/2013/2/32.pdf> (дата обращения: 01.05.2017)
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент информационной безопасности. Измерения».
9. James R. Haustein Successful Metrics [Электронный ресурс] / James R. Haustein/ Cornell University - 2012. -URL: <https://confluence.cornell.edu/display/metrics/Successful+Metrics> (дата обращения: 01.05.2017)

Список литературы на английском языке / References in English

1. NIST Security Measurement NIST SP 800-55 Revision 1 [Electronic resource] / National Institute of Standards and Technology. - 2008. - P. 9-19. - URL: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-55r1.pdf> (accessed: 23.04.2017) [in German]
2. Oracle E-Business Suite Concepts, Release 12.1, [Electronic resource] / Oracle. - 2010. - P. 3-32. -URL: https://docs.oracle.com/cd/E18727_01/doc.121/e12841.pdf (accessed: 23.04.2017) [in German]
3. Sap R3 architecture introduction [Electronic resource] / SAP Brains Online. - 2008. -URL: <http://sapbrainsonline.com/help/sap-r3-architecture-introduction.html> (accessed: 28.04.2017)
4. Kotenko I.V. Vychislenie, vizualizacija i analiz metrik zashhishhennosti monitoringa bezopasnosti [Calculation, visualization and analysis of metrics security monitoring security] [Electronic resource] / I.V. Kotenko / - Materials of conference PHD 2015 (SPIIRAN) [Material PHD conference 2015 (SPIIRAS)]: - 2015. -URL: <https://www.slideshare.net/phdays/siem-49114720> (accessed: 30.04.2017) [in Russian]
5. Prikaz Ministerstva jekonomicheskogo razvitija i trgovli Rossijskoj Federacii (Minjekonomrazvitija Rossii) ot 20 ijulja 2007 g. N 256 g. Moskva "Ob utverzhenii federal'nogo standarta ocenki "Obshhie ponjatija ocenki, podhody k ocenke i trebovanija k provedeniju ocenki (FSO N 1)" [Order of the Ministry of economic development and trade of the Russian Federation (Mineconomrazvitiya of Russia) from July 20, 2007 N 256 Moscow "About the statement of the Federal valuation standard "General concepts of evaluation, approaches to evaluation and requirements evaluation (FSO N 1)"] [in Russian]
6. Patushinskij S.G. Vlijanie ERP sistem na jeffektivnost' upravlenija stroitel'noj kompanii [The impact of ERP systems on management effectiveness of construction company] / Patushinskij S.G. - Rossijskoe predprinimatel'stvo [Journal of Russian entrepreneurship], 2010, №3(1) [in Russian]
7. Mislavskij F.B. Rol' i mesto erp-sistem v sovremennom biznese [The place and role of erp systems in modern business] [Electronic resource] / Mislavskij F.B. / -2013.- URL: <https://sjes.esrae.ru/pdf/2013/2/32.pdf> (accessed: 01.05.2017) [in Russian]
8. GOST R ISO/MeK 27004-2011 «Informacionnaja tehnologija. Metody i sredstva obespechenija bezopasnosti. Menedzhment informacionnoj bezopasnosti. Izmerenija» ["Information technology. Methods and means of security. Management of information security. Measurement"]. [in Russian]
9. James R. Haustein Successful Metrics [Electronic resource] / James R. Haustein / Cornell University - 2012. - URL: <https://confluence.cornell.edu/display/metrics/Successful+Metrics> (accessed: 01.05.2017)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.091>Руднев С.Д.¹, Марков А.С.², Иванов В.В.³, Мещанинов А.В.⁴, Прилипко А.В.⁵¹ORCID: 0000-0003-2506-6121, Доктор технических наук, «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»² Кандидат технических наук, «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»³заместитель генерального директора по техническому развитию, ООО "ИМПЕРИЯМОКС", Кемерово⁴аспирант, «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»⁵ магистрант, «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ С ЖИДКОЙ ФАЗОЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА****Аннотация**

Статья посвящена изучению влияния механоактивации воды и ее слабых растворов с крахмалом и клейковиной на процесс смешивания с мукой, формирования структуры и реологических характеристик теста и выпеченного хлеба. Проведен анализ экспериментальных данных и сделаны предположения об использовании механоактивации жидких компонентов в технологических процессах производства хлебобулочных изделий. По результатам проведенных экспериментов видно, что удельная работа и время замеса теста с использованием механоактивированных жидких компонентов можно сократить не менее чем в два раза. Таким образом, предварительно затратив энергию на механоактивацию воды и растворов, получаем двойную экономию при замесе теста. Использование механоактивации вносит значительные изменения в качество готовой продукции. Так, применение активной воды целесообразно в производстве таких изделий, как «Батон нарезной», главным качеством которых является высокая упругость и мелкопористость. Применение такого способа подготовки жидких компонентов к производству позволит сократить количество технологических процессов структурообразования и, соответственно – оборудования. Это позволит получить сокращение производственных площадей, себестоимости, но сохранить качество готовых изделий. Применение слабых механоактивированных растворов клейковины и крахмала позволит улучшить качество хлеба.

Ключевые слова: смешивание, вода, слабые растворы, крахмал, клейковина, тесто, хлеб.**Rudnev S.D.¹, Markov A.S.², Ivanov V.V.³, Meshchaninov A.V.⁴, Prilipko A.V.⁵**¹ORCID: 0000-0003-2506-6121, PhD in Engineering, “Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University)”,²PhD in Engineering, “Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University)”,³Deputy Director General for Technical Development, ООО “ИМПЕРИЯМОКС,” Kemerovo,⁴Postgraduate Student, “National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg”,⁵Graduate Student, “Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University)”**INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF OBTAINING HOMOGENEOUS HIGH-CONCENTRATED MIXTURES WITH THE LIQUID PHASE IN THE TECHNOLOGY OF BREAD PRODUCTION****Abstract**

The following article is devoted to the study of the water mechanical activation effect and its diluted solutions with starch and gluten on the process of mixing with flour, the formation of the structure and rheological characteristics of dough and baked bread. We conducted the analysis of the experimental data and assumptions related to the use of mechanical activation of liquid components in the technological processes of the bakery production. Based on the results of the experiments, it was determined that specific work and kneading time can be reduced by at least two times with the help of mechanically activated liquid components. Thus, having previously expended energy for mechanical activation of water and solutions, we obtain a double economy when kneading dough. The use of mechanic activation makes significant changes in the quality of finished products. So, the use of active water is advisable in the production of such products as “Cut Long Loaf,” the main quality of which is its high elasticity and fine-porosity. The use of such a method of preparing liquid components for production will reduce the number of technological processes of structure formation and, accordingly, of equipment. This will enable the reduction of the production space and cost while keeping the quality of finished products. The use of diluted mechanically activated solutions of gluten and starch will improve the quality of bread.

Keywords: mixing, water, diluted solutions, starch, gluten, dough, bread.

Однородными считаются смеси, в каждом единичном объеме которых соотношение и взаимное расположение компонентов одинаково. Получение высококонцентрированных однородных смесей механическим соединением воды (или ее растворов) с сухими тонкодиспергированными компонентами всегда представляет сложную технологическую задачу. Проблема возникает немедленно при возникновении контакта частиц размером менее 100 мкм с жидкостью.

На первом этапе – это энергетический барьер, связанный с преодолением сил поверхностного натяжения жидкости при взаимодействии с сыпучей средой, обладающей высокоразвитой удельной поверхностью, которая может достигать от нескольких десятков до нескольких тысяч м²/м³. По некоторым сведениям, объем смеси на начальном этапе может превышать получаемый впоследствии на 20% за счет менисков, образующихся вокруг частиц.

На втором этапе развивающиеся коллоидные процессы, диффузия влаги внутрь частиц, физико-химические превращения, возникающие при взаимодействии молекул воды и некоторых компонентов вещества сыпучей среды, резко увеличивают сопротивляемость смеси сдвиговым деформациям, что создает трудности для достижения однородности смеси и увеличивает энергозатраты.

На третьем этапе, как правило, в полученной смеси формируется структура нового материала, резко отличающегося от исходных компонентов, что обусловлено сначала высокоразвитой когезией, а затем в гомогенизированном интенсивной сдвиговой деформацией материале возникает макроструктура в виде каркасных образований, проявляется упругость. Если однородная смесь не получена, продолжают механическое воздействие на дисперсную систему, что приводит к разрушению образовавшейся структуры.

Проанализируем процесс с позиций одного из фундаментальных законов термодинамики – выражения Гельмгольца [1] для свободной энергии системы с постоянным числом частиц с позиции вышеописанных трансформаций в дисперсной системе с фазовым превращением:

$$\Delta F = \sigma \Delta S = \Delta U - T \Delta S, \text{ Дж} \quad (1)$$

где ΔF – свободная энергия, Дж; σ – удельная поверхностная энергия вещества, Дж/м²; ΔS – приращение поверхности взаимодействия фаз, м²; ΔU – изменение полной энергии системы, Дж; T – абсолютная температура, К; S – энтропия системы, Дж/К.

На первом этапе поверхность взаимодействия двух фаз весьма высока, что обусловлено большой удельной поверхностью взаимодействия фаз. Энтропия дисперсной системы на первом этапе максимальна. В то же время, с позиции механики система обладает большой подвижностью, частицы еще способны перемещаться относительно друг друга благодаря прослойкам жидкой фазы между ними [2]. Затем, когда преодолеваются силы поверхностного натяжения в контактах частиц и жидкости, энтропия уменьшается и поверхностное когезионное взаимодействие частиц трансформируется во внутреннюю энергию вязкоупругой деформации:

$$U_0 = \tau^2 / (2G), \quad (2)$$

где τ – напряжения сдвига, зависящие от скорости деформации и мгновенного состояния среды, Па; G – модуль упругости при сдвиге, изменяющийся во времени.

Причем параметры такого сдвигового течения постоянно меняются.

Отсюда проясняется суть проблемы: достижение однородной смеси необходимо осуществлять на первой стадии взаимодействия фаз в системе, когда сопротивляемость смеси обусловлена вязкостью сдвигового течения жидкости в прослойках между частицами. Для этого необходимо максимально ускорить процесс преодоления сил поверхностного натяжения жидкости.

Проблема интенсификации смешивания высококонцентрированных систем с жидкой фазой решалась разными путями. На дисперсную систему воздействовали вибрацией [1]. Как правило, вибросмешивание снижает энергозатраты на втором этапе процесса, когда формируется когезионная структура в материале. Но на первом этапе вибровоздействие малоэффективно, так как среда еще не обладает упругостью. Другим способом является внесение в жидкость поверхностно активных веществ в малых количествах. Этот способ эффективен на первом этапе, однако есть ограничения в допустимости применения ПАВ или доступности применения, в первую очередь – ценовой.

Авторами статьи предпринята попытка интенсификации процесса получения однородной смеси предварительным механоактивированием компонентов.

Механоактивированное состояние твердой фазы – сыпучего материала – наблюдается сразу же после его получения в результате измельчения, когда в частицах велики еще остаточные напряжения, поверхность насыщена некомпенсированными межмолекулярными связями [3]. Либо же сыпучую среду подвергают внешнему силовому воздействию, опять же – в дробилках или измельчителях. Первый способ требует немедленного применения сыпучего материала в массообменном процессе соединением с жидкими компонентами, что не всегда удобно технологически. Второй способ энергозатратен и требует капиталовложений.

Механоактивация воды или ее растворов, поступающих на смешивание, представляется более перспективной. И здесь нельзя не напомнить об уникальности воды как вещества. Известны аномальные свойства воды. В воде существуют стабильные кластеры (жидкие кристаллы), которые несут в себе очень большую энергию, обусловленную межмолекулярными водородными связями. Кластеры по модели Зенина [4] состоят из 912 молекул воды, которые практически не способны к взаимодействию за счет образования водородных связей. Таким образом, водная среда представляет собой как бы иерархически организованный жидкий кристалл. Такая структура энергетически выгодна и разрушается с освобождением свободных молекул воды лишь при высоких концентрациях спиртов и подобных им растворителей. Однако же, использование растворителей, как правило, нежелательно, когда необходимо сохранить состав продукта. Значит, жидкие кристаллы воды нужно разрушать механически, высвобождая водородные связи. Исследователями [5] проводилась обработка дистиллированной воды в механоактиваторе при частоте вращения ротора в пределах от 2400 до 3600 об/мин. Сразу после обработки проводился контрольный химический анализ воды в аккредитированной центральной химической лаборатории, где определялась рН. Контрольные пробы брали при активации в течение 1 и 5 минут, при разных скоростях вращения ротора. Эксперименты показали, что при механической активации дистиллированной воды повышается её рН. Следовательно, энтропия воды как системы повышается, возникают некомпенсированные водородные связи, которые могут проявлять себя в процессах поверхностного взаимодействия, а именно – смачивания частиц тонкодисперсных материалов, например, муки хлебопекарной.

Целью исследования было поставлено изучение влияния механоактивации сырья на процесс замеса теста и качество хлеба. Была поставлена задача исследовать влияние предварительной обработки сырья на процесс производства и качество хлеба.

В экспериментах готовили хлеб из пшеничной муки однофазным способом, соответствующий ГОСТ 27842-88 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия».

При проведении экспериментов использовали хлебопекарную пшеничную муку высшего сорта с содержанием клейковины 30,3%, удовлетворительно слабую по качеству (82,5 ус. ед. приб. ИДК), крахмал картофельный, сухую пшеничную клейковину.

Предварительную механоактивацию воды и ее слабых растворов осуществляли в экспериментальном роторно-пульсационном аппарате (РПА).

Механическую обработку растворов проводили следующим образом: в РПА подавали воду, которую активировали в течение 2 минут, затем дозированно вносили сыпучие компоненты и обрабатывали еще 4 минуты в замкнутом контуре.

Удельную мощность на замес теста определяли на бытовом тестомесе с емкостью чаши до 5 литров и установленной мощностью 1,8 кВт.

Предельное напряжение сдвига теста определялось коническим пластометром Ребиндера.

Брожение проводилось при температуре 30-32⁰ С в течении 120 минут. Расстойка осуществлялась в шкафу для окончательной расстойки при температуре 30 - 32⁰ С и относительной влажности воздуха 70 - 80 %.

Хлеб выпекали в форме №12 по ГОСТ 17327-95 «Формы хлебопекарные. Технические условия».

Исследование хлеба проводили по ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба» (с Изменениями N 1, 2).

Объем хлеба определялся в ёмкости, которую заполняли зерном пшеницы, избыток ссыпали, сгребая ребром линейки в сосуд, и удаляли, ёмкость опрокидывали. Небольшое количество зерна высыпали в ёмкость. На него кладут пробу и засыпают. Избыток ссыпался в ёмкость, открывалась задвижка течи в мерный цилиндр. Объем зерна в цилиндре равен испытываемой пробе хлеба [6].

Удельный объем X , см³/100г, находили по формуле:

$$X = \frac{V}{m} \times 100, \quad (3)$$

где V – объём хлеба, см³; m – масса остывшего изделия, г.

Деформацию мякиша хлеба определяли следующим образом: из мякиша изделия делается выемка цилиндрической формы диаметром 35 мм и высотой 55 мм, в цилиндр с хлебной выемкой помещается поршень, на который воздействовали гирькой массой 0,5 кг). Сжимаемость хлебного мякиша определяли по его высоте до и после воздействия нагрузки.

Сжимаемость мякиша X , мм, находили по формуле:

$$X = \frac{h_0}{h_1}, \quad (4)$$

где h_0 - высота образца до воздействия нагрузки, мм;

h_1 -высота образца после воздействия нагрузки, мм.

Исследование процесса замеса теста подтвердил теоретические предположения о влиянии механоактивации воды на ее взаимодействие с частицами сыпучей тонкодисперсной среды при смачивании. Результаты экспериментов в виде графиков представлены на рисунке 1. Анализ графиков затрат удельной мощности при замесе теста показывает, что имеются существенные отличия при замесе. Если удельная мощность для контрольного образца за первые 10 секунд достигла 10 Вт/кг, то для смеси муки с активированной водой она составила величину в 5 раз меньшую, а для слабых растворов клейковины и крахмала была ниже на 40 и 60 %. Структурообразование в тесте интенсивнее протекало в смеси муки и слабого раствора клейковины и при замесе была получена структура более чем в 2,5 раза прочная, чем для контрольного образца.

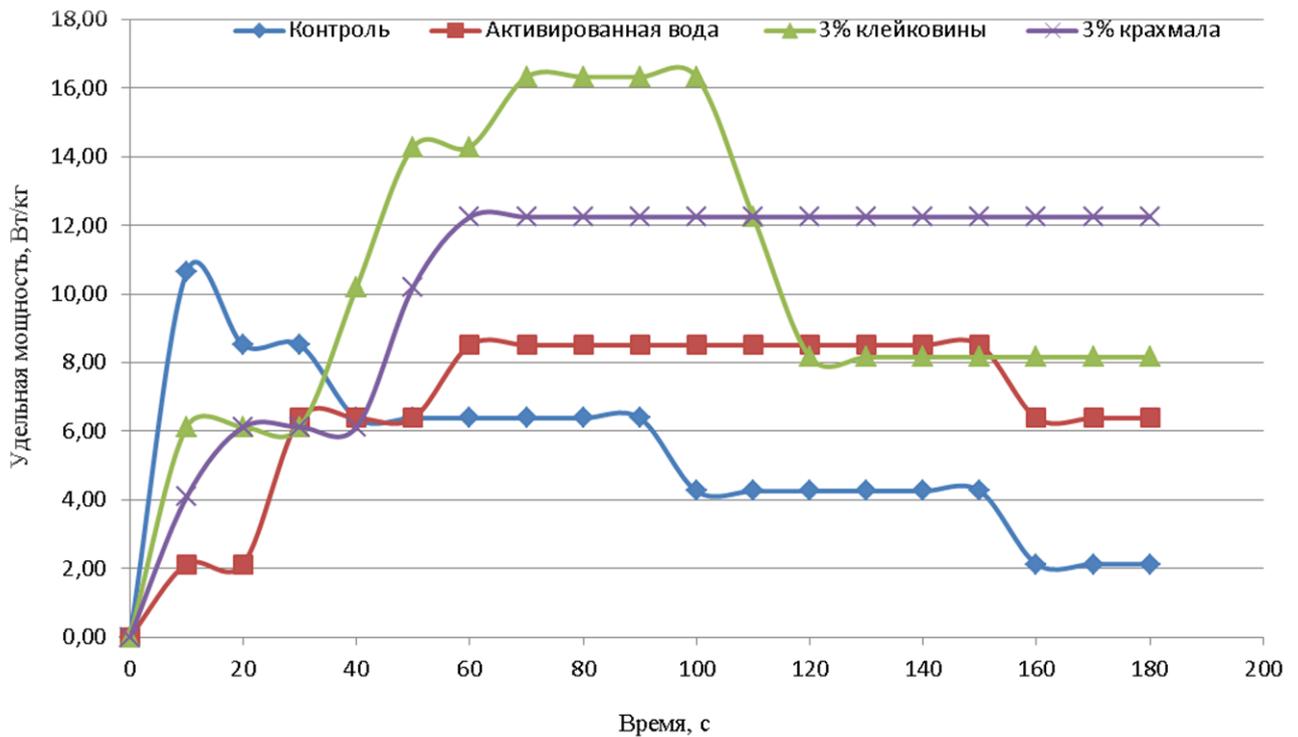


Рис. 1 – Зависимости удельной мощности на замес теста при использовании активированной воды, 3% раствора клейковины и 3% раствора крахмала

В целом для всех смесей с механоактивированными жидкостями прочность структуры получаемого теста превысила контрольный в 1,5 – 2,5 раза. При этом из анализа графиков можно сделать вывод о том, что время замеса такого теста можно сократить не менее чем в два раза. Таким образом, предварительно затратив энергию на механоактивацию воды и растворов, получаем двойную экономию при замесе теста. При этом исследования по механоактивации в РПА еще не окончательны и требуют уточнения по времени протекания процесса и энергозатратам. Но явно прослеживается тенденция к возможности их сокращения.

Следующим этапом исследований было выявление отличий полученного различными способами теста. Объективную информацию о физико-механических свойствах упруго-вязко-пластичного тела можно получить с помощью реологических приборов. Результаты испытаний на коническом пластометре Ребиндера представлены в таблице 1. При расчете предельных напряжений сдвига использовали коэффициент, зависящий от угла конуса, полученный В.А. Аретом [7].

Таблица 1 – Анализ теста пшеничного из муки высшего сорта

Образец	Контроль №1	Контроль №2	Активированная вода №1	Активированная вода №2	Раствор 3% клейковины №1	Раствор 3% клейковины №2	Раствор 3% крахмал №1	Раствор 3% крахмал №2
Предельное напряжение сдвига, Па								
Угол конуса 60°	1544	1614	1268	1614	1775	1614	3552	2368
среднее	1579		1442		1695		2960	
Угол конуса 90°	485	749	749	690	549	749	358	1177
среднее	617		718		649		768	

Анализ результатов показывают, что при угле конуса 60° предельные напряжения сдвига (ПНС) для контрольных образцов несколько выше, чем для теста, полученного на смеси с активированной водой. Но при испытаниях конусом 90° ПНС контрольных ниже. Значительно превышают ПНС теста с добавкой клейковины.

Далее проводили выпечку хлеба по стандартной технологии, представленной в [6]. Результаты представлены в обобщенной таблице 2.

Рассмотрим, как изменяется качество хлеба в зависимости от качества проведенного процесса месеприготовления по отдельным показателям.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов хлеба

Образец	Контроль №1	Контроль №2	Активированная вода №1	Активированная вода №2	Раствор 3% клейковины №1	Раствор 3% клейковины №2	Раствор 3% крахмал №1	Раствор 3% Крахмал №2
Масса остывшего хлеба, г	400	493	403	422	427	430	434	436
СРЕДНЕЕ	446,5		412,5		428,5		435	
Пористость, %	66,08	71,38	66,60	64,48	64,27	69,26	68,72	66,6
СРЕДНЕЕ	69		66		67		68	
Объем хлеба, см ³ /100г	820	1175	830	843	1080	990	857	957
Удельный объем, см ³ /100г	205	238	205,96	199,76	252,93	230,23	197,47	219,50
СРЕДНЕЕ	222		203		242		208	

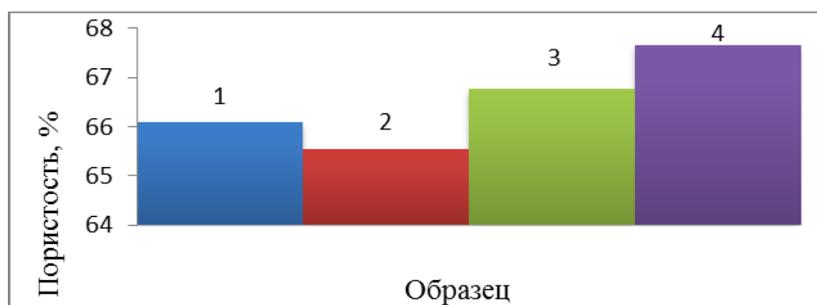


Рис. 2 – Пористость хлеба пшеничного:

1 – контрольный образец; 2 – пористость хлеба, приготовленного с активированной водой; 3 – пористость хлеба, приготовленного на растворе 3 % клейковины пшеничной; 4 – пористость хлеба, приготовленного на растворе 3 % крахмала картофельного

Важнейшим показателем качества хлеба является его пористость. На диаграмме (рисунок 2) представлены результаты определения пористости образцов. Из диаграммы видно, что добавление клейковины и крахмала пористость увеличивает, что является положительным эффектом для формовых сортов хлеба. Хлеб, приготовленный на механоактивированной воде, обладает меньшей пористостью, такое качество мякиша характерно для батончиков. Определение удельного объема образцов показало адекватный пористости результат. Наименьшим удельным объемом обладает хлеб, выпеченный из смеси муки с механоактивированной водой.

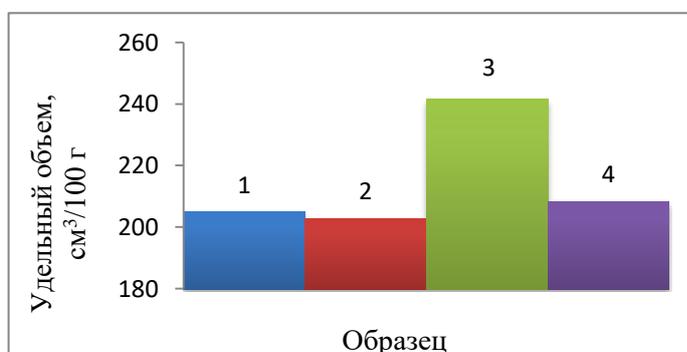


Рис. 3 – Удельный объем хлеба пшеничного, %

1 – Удельный объем контрольного образца; 2 – удельный объем хлеба, приготовленного с активированной водой; 3 – удельный объем хлеба, приготовленного на растворе 3 % клейковины; 4 – удельный объем хлеба, приготовленного на растворе 3 % крахмала

Испытания пластической и упругой деформацией хлеба пшеничного проводили пенетрационным методом на структуромере СТ-1М по стандартной для испытания хлебных образцов методике, которая относится к общепринятым (нестандартным). Методика основана на определении общей, пластической и упругой деформаций изделия при воздействии на него тела пенетрации. В качестве тела пенетрации использовалась насадка «Поршень Ø34,8». Задавалось максимальное усилие, до которого будет происходить нагружение образца при движении столика вверх, которое составляло 4 Н и 8 Н. После того, как воздействие на тело погружения достигало заданного значения, фиксировалась величина глубины перемещения, столик начинал возвращаться в свое исходное положение. На экран выводилось значение перемещения, соответствующее заданному усилию воздействия, а также перемещение до момента снятия воздействия на тело погружения. Результаты определения пластической и упругой деформации хлеба пшеничного представлены в таблице 3.

Для анализа таблицы 3 ее содержание отражено на диаграмме (рисунок 4). Явно проявляется высокая упругость мякиша образцов с механоактивированными растворами, их величина деформации заданной нагрузкой примерно в два раза меньше, чем у контрольных образцов.

Таблица 3 – Результаты определения структурно-механических свойств хлеба пшеничного

№ образца	Показания структуромера			
	Упругие и пластические деформации (максимальное усилие F=4 Н), мм		Упругие и пластические деформации (максимальное усилие F=8 Н), мм	
	Общая деформация H ₁	Остаточная деформация H ₂	Общая деформация H ₁	Остаточная деформация H ₂
Контроль	3,37	0,78	10,08	2,73
Хлеб, выпеченный с применением активированной воды	2,24	0,46	5,71	0,96
Хлеб, выпеченный с применением 3%раствора клейковины	2,33	0,50	4,88	0,93
Хлеб, выпеченный с применением 3%раствора крахмала	2,16	0,53	4,39	0,90

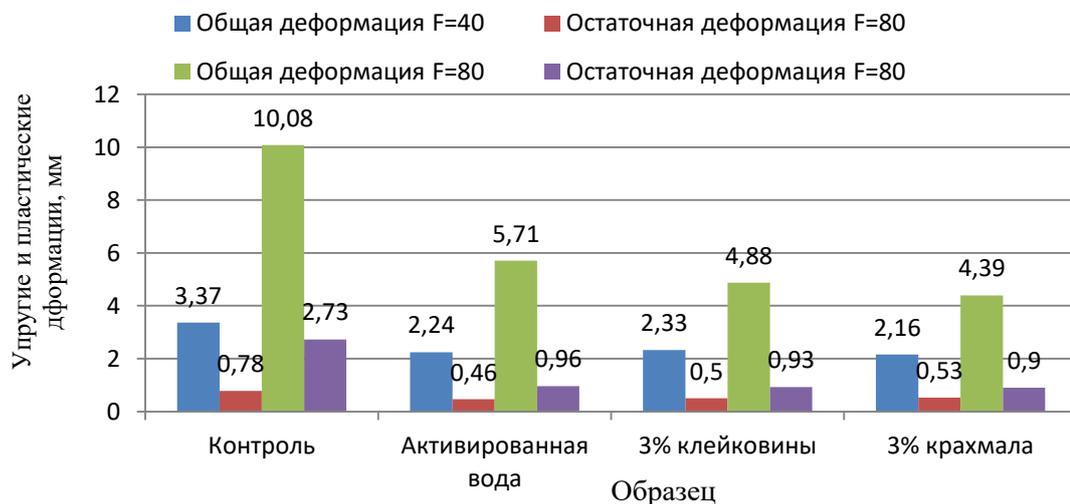


Рис. 4 – Структурно-механические характеристики хлеба пшеничного, %

Выводы

По результатам проведенных экспериментов видно, что удельная работа и время замеса теста с использованием механоактивированных жидких компонентов можно сократить не менее чем в два раза. Таким образом, предварительно затратив энергию на механоактивацию воды и растворов, получаем двойную экономию при замесе теста. Использование механоактивации вносит значительные изменения в качество готовой продукции. Так, применение активной воды целесообразно в производстве таких изделий, как «Батон нарезной», главным качеством которых является высокая упругость и мелкопористость. Применение такого способа подготовки жидких компонентов к производству позволит сократить количество технологических процессов структурообразования и, соответственно – оборудования. Это позволит получить сокращение производственных площадей, себестоимости, но сохранить качество готовых изделий. Применение слабых механоактивированных растворов клейковины и крахмала позволит улучшить качество хлеба.

Список литературы / References

1. Федоренко И. Я. Оптимизация параметров процесса вибростривания в смесителе с гибким рабочим органом / И. Я. Федоренко, Р. А. Котов // Вестник АГАУ. – 2015. – №4 (126). – С. 106-109.
2. Попов А. М. Физико-химические основы технологий полидисперсных гранулированных продуктов питания / А.М. Попов. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. – 324 с.
3. Каченюк М.Н., Сметкин А.А. Эволюция структуры композиционных частиц при механоактивации порошковых смесей на основе титана, карбида кремния и углерода / М.Н. Каченюк, А.А. Сметкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15969> (дата обращения: 12.04.2017).
4. Зенин С.В. Исследование структуры воды методом протонного магнитного резонанса // Докл. РАН. – 1993. – т. 332 – № 3. – с. 328.
5. Ерофеев В.Т. Исследование свойств цементных композитов на активированной воде затворения / В.Т. Ерофеев, Фомичев В.Т., Емельянов Д.В/ и др. / Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-6. – С. 1175-1181.
6. ГОСТ 27669-88 Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба (с Изменениями N 1, 2) – Введ. 1989-07-01. – М.: Стандартинформ, 2007.
7. Арет В.А. Физико – механические свойства сырья и готовой продукции: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 260100 (552400) «Технология продуктов питания» / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2009. 448 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fedorenko I. Ya., Kotov, R. A. Optimizatsiya parametrov processa vibromeshivaniya v smesitele s gibkim rabochim organom [Optimization of process parameters vibromassage in mixer with flexible working body / Ivan Y. Fedorenko, Roman Kotov // Bulletin of Altai state agrarian University.] 2015. No. 4 (126) Pp. 106-109. . [in Russian]
2. Popov A. M. Fiziko – himicheskie osnovy tehnologii polidispersnyh granulirovannyh produktov pitaniya [Physico-chemical bases of technology of polydisperse granular food // A. M. Popov. – Novosibirsk: Sib. Univ. publishing house] – 2002. – 324с. [in Russian]
3. Kachenyuk, M. N., Smetkin A. A. Evolyutsiya struktury kompozitsionnyh chastits pri mekhanoaktivatsii poroshkovykh smesei na osnove titana, karbida kremniya i ugleroda [Evolution of structures of composite particles by mechanical activation of powder mixtures based on titanium, silicon carbide and carbon // Modern problems of science and education.] – 2014. No. 6; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15969> (date accessed: 12.04.2017) . [in Russian]
4. Zenin S.V. Issledovanie struktury vody metodom protonnogo magnitnogo rezonansa [Study of the structure of the water proton magnetic resonance method//Rep. RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES. -1993. -t. 332-No. 3. -p. 328.] [in Russian]
5. Yerofeyev V.T. Issledovanie svoystv tsementnyh kompozitov na aktivirovannoi vode zatvoreniya [Investigation of properties of cement composites on activated water mixing/V. Erofeev, Fomichev, Emelyanov V. d./etc. /Fundamental research.]– 2015. – № 2-6. – С. 1175-1181. [in Russian]
6. GOST 27669-88 Muka pshenichnaya hlebopekarnaya. Metod probnoj laboratornoj vypechki hleba (s Izmeneniyami) [Wheat Flour. Method of test laboratory baking bread (with Amendments No. 1, 2) . [in Russian]
7. Aret V. A., Nikolayev B. L., Nikolayev L. K. Fiziko – mehanicheskie svoystva syrya i gotovoy produktsii: uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnykh zavedenij, obuchayushchihya po napravleniyu 260100 (552400) «Tehnologiya produktov pitaniya» [Physical and mechanical properties of raw materials and finished products: a manual] / V. A. aret, Nikolaev B. L., Nikolaev L. K. // SPb.: GIORD, 2009. 448 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.090>Савина Я.А.¹, Кузнецов В.О.², Вовко В.В.³, Лукьяница С.В.⁴¹Магистрант, ²Магистрант, ³Кандидат технических наук, Доцент,⁴Кандидат технических наук, Доцент,

Волгоградский государственный технический университет

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ***Аннотация*

В статье предлагается новый пенобетон на основе цемента и электросталеплавильных шлаков, который получен и разработан на кафедре строительных материалов и специальных технологий ИАиС ВолгГТУ. Цель изысканий заключалась в получении эффективного теплоизоляционного материала для стеновых ограждающих конструкций, как в высотном домостроении, так и материала для применения в малоэтажном строительстве, при изготовлении, которого были бы максимально использованы местные сырьевые и производственные ресурсы.

Ключевые слова: пенобетон, электросталеплавильные шлаки, теплоизоляционный материал.

Savina Ya.A.¹, Kuznetsov V.O.², Vovko V.V.³, Lukianitsa S.V.⁴¹Graduate Student, ²Graduate Student, ³PhD in Engineering, Associate Professor,⁴PhD in Engineering, Associate Professor,

Volgograd State Technical University

**TECHNOLOGY OF FOAMED CONCRETE PRODUCTION USING INDUSTRIAL WASTES
OF VOLGOGRAD REGION***Abstract*

The article proposes a new kind of foam concrete based on cement and electric steel smelting ash which was obtained and developed at the Department of Building Materials and Special Technologies of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. The objective of the research was to obtain an effective heat-insulating material for wall constructions, both in high-rise house-buildings and for use in low-rise constructions with efficient use of the local raw materials and production resources during the manufacturing process.

Keywords: foam concrete, electric steel smelting ash, heat-insulating material.

Требования по повышению тепловой защиты зданий и сооружений, для основных потребителей энергии, являются важным предметом госрегулирования в абсолютном большинстве развитых стран. Данные требования анализируются как с точки зрения охраны окружающей среды, уменьшения влияния «парникового» эффекта так и сокращения выделений двуоксида углерода и прочих опасных веществ в атмосферу. Особое внимание уделяется рациональному использованию не возобновляемых природных ресурсов.

Принятый в 2009 г. федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» разъясняет требования по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Цель этого закона - формирование правовых, экономических и организационных основ направленных на стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности [7].

Согласно требований энергетической эффективности зданий, строений и сооружений, показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов должны соответствовать требованиям установленным постановлением правительства РФ от 25.01.2011 N 18 (ред. от 26.03.2014, с изм. от 07.03.2017) «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» [7].

На наш взгляд, основной возможностью, позволяющей соблюдать вышеприведенные требования, является эффективная теплоизоляционная ограждающая конструкция. Сегодня вопрос эффективной теплоизоляции решается достаточно просто, существует огромный спектр теплоизоляционных материалов и конструктивных решений типа вентилируемого фасада. Наряду с этим, первоначальная эффективность, теплоизоляции вполне может оказаться кажущейся, в первую очередь из-за стоимости и часто сложности её устройства. Другими вопросами применения и эффективности теплоизоляции является долговечность, сложность ремонта, слабая защищённость от вандализма и не в последнюю очередь компетентность рабочих её устанавливающих. Возможным решением подобных вопросов может стать применение традиционных теплоизоляционных материалов – ячеистых бетонов или точнее одного из его видов, а точнее пенобетона.

На кафедре, строительных материалов и специальных технологий ИАиС ВолгГТУ разработан и получен пенобетон на основе цемента и электросталеплавильных шлаков.

Цель изысканий заключалась в получении эффективного теплоизоляционного композита для перегородок и ограждающих конструкций, как в высотном домостроении, так и материала для применения в малоэтажном строительстве, при изготовлении, которого были бы максимально использованы местные сырьевые и производственные ресурсы. Материал должен был сочетать в себе как теплоизоляционные, так и конструкционные свойства, производство не должно быть энергоёмким. Работа носила как теоретический, так и экспериментальный характер.

При подборе компонентов особое внимание было уделено сырьевой базе существующих производств г. Волгограда, проводился анализ продукции местных производителей. Испытания проводились в лабораторных условиях и на производственной линии.

Известно, что применяется шлак в производстве строительных материалов редко, обычно просто вывозится в отвалы грузовым транспортом. На заводах, из мартеновских цехов, шлак с помощью шлаковозных ковшей вывозят и

выливают как расплав в шлаковые ямы. Применяют орошение водой для измельчения шлака, за счет термоудара при перепаде температур.

Агрегатные образования, составляющие шлак, представлены первичными и конечными шлаками, образующимися при смешивании расплавленного первичного и остывшего порошкообразного конечного шлака, содержание которых колеблется от 10% до 15% от массы всего шлака.

По гранулометрическому составу в шлак представлен частицами размером до 5 мм, в количестве до 60% и частицами размером более 5мм в количественном соотношении до 40-45%. При этом, более крупные частицы, свыше 5мм представлены первичными и промежуточными (агрегированными) шлаками. И наоборот, частицы менее 5мм - это в основном, конечные шлаки серо-белого и белого цвета. Химический состав электросталеплавильных шлаков, как правило, не стабилен и представлен Fe_2O_3 , FeO_2 , SiO_2 , CaO , S и пр.

Основные физико-механические характеристики и гранулометрический состав электросталеплавильных шлаков представлены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1 – Основные физико-механические характеристики электросталеплавильных шлаков

№ п/п	Наименование показателя	Един. измер.	Показатели
1	2	3	4
1	Прочность при сжатии до (частицы более 5 мм)	МПа	400
2	Прочность при расколе до (частицы более 5 мм)	МПа	20
3	Дробимость шлака (частицы более 5 мм)	%	13,8
4	Износ в полочном барабане	%	16,6
5	Водопоглощение по массе в куске, (W_m)	%	7,6
6	Потери по массе (частицы 5-10; 10-20мм) после 25 циклов замораживания и оттаивания	%	3,3
7	Потери при силикатном распаде (частицы более 5 мм)	%	1,78
8	Устойчивость структуры	%	4,69

Таблица 2 – Гранулометрический состав электросталеплавильных шлаков

Наименование показателя	Размер частиц, мм							
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	>0,071
Частные остатки, %	5	24,1	30,9	6,3	11,3	10,3	4,4	7,7

Получение пенобетонной смеси основано на получении однородной массы газ-жидкость-твердое тело. Известны следующие методы получения пенобетона:

1. Классическая схема - специально приготовленную технологическую пену смешивают с цементной массой или цементно-песчаным раствором, вслед за этим, при интенсивном перемешивании массы, получают ячеистобетонную смесь, в которой последующее схватывание и твердение вяжущего фиксирует структуру материала [1, С. 17], [2, С. 44].

2. Метод «сухой минерализации» - приготовление смеси производят посредством совмещения сухих составляющих с низкократной пеной, непрерывно подаваемой пеногенератором. При этом, по точке зрения А. П. Меркина, происходит «бронирование единичного воздушного пузырька частицами твердой фазы и отсасывание воды из пены». Так образуется высокоустойчивая пенобетонная масса с наименьшим количеством свободной воды [3, С. 23].

На поверхности пенных пузырьков сорбируются (втягиваются в пленку ПАВ) мелкие и гидрофильные частицы твердой фазы. Высокая концентрация ПАВ поверхности раздела «воздушная пора – дисперсионная среда» предохраняет образование гладкой глянцевой поверхности стенок пор. Формируется плотный припорный слой толщиной 12-30 мкм – слой, называемый зоной подкрепления [4, С.49].

В условиях эксплуатационных нагрузок на пенобетон объем единичной поры работает как арка и плотный припорный слой пенобетона «сухой минерализации» может рассматриваться как армированный нижний пояс конструкции [6, С. 61].

3. Баротехнология производства ячеистобетонной смеси, предусматривает концентрирование массы в герметичном смесителе сжатым воздухом и последующую выгрузку смеси в формы, где в результате перепада давлений происходит вспучивание. По этому способу в смесь вводят воздухововлекающие добавки ПАВ и применяют особенный герметичный смеситель [5, С. 105].

Смесь приготавливалась тщательным смешиванием всех компонентов (гипс, цемент, опока) до однородной массы. В качестве способа получения пенобетона был выбран двустадийный способ. Он известен, так же, как метод сухой минерализации. Пенообразователем был выбран «Сульфонат» Т.У. 6484 – 64, производства ЗАО «Химпром» г. Волгограда.

В результате был получен пенобетон со средней плотностью 600, 800, 1000 кг/м³ и низкой теплопроводностью. Полученные образцы показали удовлетворительную морозостойкость.

Оптимизированный расход пенообразователя был подобран с учетом технологического процесса, кратности пены, а также его поведением со всеми компонентами формовочной смеси. Он составил 3% от водного раствора, идущего на приготовление пенообразователя. В данной работе количество воды для получения пенобетона во всех случаях было 0,6 л на 1кг вяжущего.

Полученный материал может использоваться при производстве различных строительных изделий: блоки стеновые, плиты перегородочные (пазовые или пазо-ребневые), панели стеновые перегородочные, плиты теплоизоляционные.

В некоторых случаях может понадобиться дальнейшая модификация материала, в зависимости от назначения изделия.

Учитывая имеющуюся нормативно-техническую документацию, а также основываясь на полученных характеристиках материала, предлагаемая схема получения вспененной компонентной смеси на основе цемента и предлагаемых шлаков, на наш взгляд применима для производства различных изделий применяемых в качестве перегородок и ограждающих конструкций с использованием оборудования Волгоградского гипсового завода.

Список литературы / References

1. Рябинин А.В. Пенобетон в современном строительстве / А.В. Рябинин // Наука ЮУрГУ Секции технических наук Материалы 67-й научной конференции. – 2015. – С. 1781-1784.
2. Бартењева Е.А. Неавтоклавный пенобетон с минеральными добавками / Е.А. Бартењева, Н.А. Машкин // Современное строительство и архитектура. – 2017. - №1. – С. 24-29.
3. Джалалов Ш.Г. Способы повышения эффективности пенбетона / Ш.Г. Джалалов, К.А. Оцоков // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2016. – Т. 42. - №3. – С. 167-174.
4. Дажанов Н.Т. Повышение конкурентоспособности пенбетона и перспективы его применения в строительстве / Н.Т. Дажанов, Б.А. Крылов, Л.Б. Аруова // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. - №1. – С. 19-23.
5. Вовко В.В. Пенобетон на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего / В. В. // Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. – 2005. - №10.
6. Портник А.А. Всё о пенобетоне / А.А. Портник, А.В. Савиных // СПб – 2003. - 224 С.
7. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности: федер. закон: [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г. : одоб. Советом Федерации 18 ноября 2009г.] № 261-ФЗ

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rjabinin A.V. Penobeton v sovremennoy stroitelstve [Foam concrete in modern construction] / A. V. Ryabinin // Nauka YUUrGU Sektsii tekhnicheskikh nauk Materialy 67th nauchnoy konferentsii [Section of technical Sciences Materials of the 67th scientific conference]. – 2015. – P. 1781-1784. [in Russian]
2. Barteneva E.A. Neavtoklavnyy penobeton s mineralnymi dobavkami [Non-autoclaved foam concrete with mineral additives] / E.A. Barteneva // Sovremennoye stroitelstvo u arkhitektura [Modern construction and architecture]. – 2017. - №1. – P. 24-29. [in Russian]
3. Dzhalalov Sh. G. Sposoby povysheniya effektivnosti penobetona [The ways of increase of efficiency of penobetona] / Sh. G. Dzhalalov // Vestnik Dagestanskogo universitetav [Bulletin of the Dagestan University]. – 2016. – V. 1 - №3. – P. 167-174. [in Russian]
4. Dazhanov N. T. Povysheniye konkurentosposobnosti penobetona i perspektivy ego primeneniya v stroitelstve [Improving the competitiveness of foam and prospects of its application in construction] / N. T. Dazhanov, B. A. Krylov, L. B. Aruova // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo [Industrial and civil construction]. – 2015. - №1. – P. 19-23. [in Russian]
5. Vovko V. V. Penobeton na osnove gipsotsementno-puttsolanovogo vjazhushchego [Foam concrete based on gypsum cement gypsum-pozzolanic binder] / V. V. Vovko // Tekhnologiya silikatnykh i tugoplavkiykh nemetallicheskiykh materialov [Technology of silicate and refractory nonmetallic materials]. – 2005. - №10. P. 18-23. [in Russian]
6. Portik A. A. Vsyo o penobetone [All about foam] / A. A. Portik, A. V. Savinyh. - Saint Petersburg. – 2003. – 224p. [in Russian]
7. Rossijskaya Federaciya. Zakony. Ob energosnabzhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti [Russian Federation. Laws. About a conscription and military service]: federal law: [accepted by State Duma on November 11, 2009: approved by the Federation Council on November 18, 2009]. - №261 – FZ. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.087>Субаев М.И.¹, Борисов И.В.², Сухов Е.С.³, Хохлов А.Л.⁴, Салахутдинов И.Р.⁵, Глущенко А.А.⁶¹Магистрант, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА, ²Магистрант, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА,³Магистрант, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА⁴ORCID: 0000-0001-5420-0487, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА⁵ORCID: 0000-0002-4273-5043, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА⁶ORCID: 0000-0001-5749-4337, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА**ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ПРОЧНОСТЬ****Аннотация**

Одним из способов повышения физико-механических и эксплуатационных показателей гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания является металлизация, реализуемая нарезанием на внутренней части рабочей поверхности трения встречных винтовых канавок с последующей наплавкой меди. Для определения влияния технологического процесса металлизации гильзы на ее прочность, проведены экспериментальные исследования на радиальные и осевые деформации гильзы, а так же гидравлические исследования показавшие, что параметры гильз остаются в допустимых пределах.

Ключевые слова: гильза цилиндров, металлизация, рабочая поверхность, винтовые канавки, деформация, геометрические размеры.

Subaev M.I.¹, Borisov I.V.², Sukhov E.S.³, Khokhlov A.L.⁴, Salakhutdinov I.R.⁵, Glushchenko A.A.⁶

Graduate Student, FSBEI of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural Academy

Graduate Student, FSBEI of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural Academy

Graduate Student, FSBEI of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural Academy

⁴ORCID: 0000-0001-5420-0487, PhD in Engineering, Associate Professor,

FSBEI of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural Academy

⁵ORCID: 0000-0002-4273-5043, PhD in Engineering, Associate Professor,

FSBEI of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural Academy

⁶ORCID: 0000-0001-5749-4337, PhD in Engineering, Associate Professor,

FSBEI of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural Academy

STUDY OF CHANGING GEOMETRIC DIMENSIONS OF METALLIZED CYLINDER MUFFS DURING STRENGTH TESTING**Abstract**

One of the ways to improve physical, mechanical and operational characteristics of cylinder muffs of internal combustion engines is metallization implemented with the help of cutting on the inner part of the working surface of counter-helical grooves friction with the subsequent surfacing of copper. We conducted experimental research on axial deformations of the muff, as well as hydraulic tests showing that the parameters of the muffs remain within limits to determine the effect of the technological process of the muff metallization on its strength.

Keywords: cylinder muff, metallization, working surface, helical grooves, deformation, geometric dimensions.

Одним из элементов, оказывающим наиболее лимитирующее влияние на показатели надежности работы двигателей внутреннего сгорания, является гильза цилиндров. В процессе эксплуатации двигателя гильза цилиндра работает в условиях резко переменных давлений в надпоршневой полости. Стенки ее соприкасаются с пламенем и горячими газами, раскаленными до температуры 1500...2500°C, а средняя скорость скольжения поршня по рабочей поверхности меняется в пределах 11...17 м/с. Кроме того, в этой зоне происходит перекладка поршня, сопровождаемая ударными нагрузками на стенки цилиндра. Под действием высокого радиального давления колец происходит разрыв масляной пленки на стенках цилиндра сопровождаемое значительным повышением трения, что приводит к интенсивному изнашиванию цилиндра и поршневых колец [1].

В настоящее время для снижения износа гильз цилиндров используются различные методы. Одним из перспективных и эффективных методов снижения износа в сопряжении «гильза-кольцо-поршень» является нанесение на рабочую поверхность гильзы материала имеющего меньшее сопротивление сдвигу, чем основной материал гильзы, например меди. Такие гильзы принято называть металлизированными [2], [3], [4].

Технологический процесс металлизации гильзы цилиндров заключается в нарезании на ее внутренней рабочей поверхности встречных винтовых канавок (рис. 1) и наплавки в них меди, зачистки внутренней поверхности после наплавки, шлифование внутренней поверхности, её хонингования, контроля, консервации и упаковки [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Нанесение медных вставок позволяет, в процессе эксплуатации гильзы в двигателе, формировать на ее внутренней рабочей поверхности трения слой антифрикционного материала, обеспечивающий снижение коэффициента трения в контакте и износ сопряжения «гильза-кольцо-поршень».

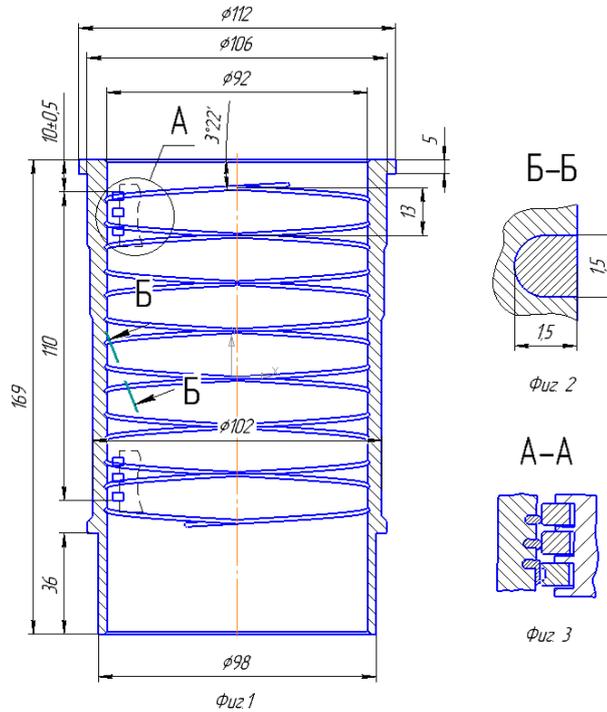


Рис. 1 – Гильза цилиндров совстречными винтовыми канавками

При технологическом процессе металлизации гильзы цилиндров изменяются физико-механические свойства рабочей поверхности трения и в частности прочностные свойства. Поэтому, для оценки влияния технологического процесса металлизации на прочностные свойства гильз цилиндров и принятия решения о возможности использования металлизированных гильз в двигателях автомобилей необходимо установить предельные значения геометрических и прочностных параметров.

Поскольку для гильзы цилиндров справедливо соотношение $\frac{\delta}{2\tau_B} < \frac{1}{16}$, то расчёт гильзы цилиндров на прочность проведём по безмоментной теории оболочек, как тонкостенный цилиндр находящийся под внутренним давлением.

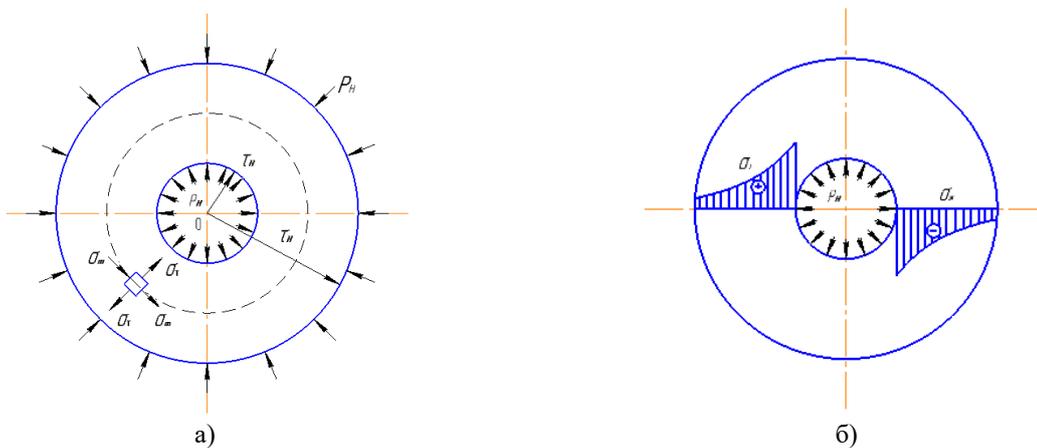


Рис. 2– Схема гильзы цилиндров а) расчётная схема; б) эпюра напряжений

Согласно уравнению Лапласа:

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{P_B}{\delta} \quad (1)$$

где σ_m - меридиональное напряжение, МПа; σ_t - окружное напряжение, МПа; $\rho_t = r_e$ - внутренний радиус гильзы цилиндров, мм; $\rho_m = \infty$ - радиус кривизны для цилиндрической поверхности, мм; $\delta = r_n - r_e$ - толщина стенки гильзы цилиндров, мм; P_B - давление внутри гильзы цилиндров, МПа.

Тогда

$$\sigma_t = \frac{P_B \cdot r_6}{\delta} \quad (2)$$

Согласно теории наибольших касательных напряжений эквивалентное напряжение:

$$\sigma_{эkv} = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (3)$$

В данном случае $\sigma_1 = \sigma_t$ и $\sigma_3 = \sigma_m = 0$, следовательно:

$$\sigma_{эkv} = \sigma_t = \frac{P_B \cdot r_6}{\delta} \leq [\sigma_\rho] \quad (4)$$

$$[\sigma_\rho] = \frac{\sigma_6}{n} \quad (5)$$

$$[\sigma_\rho] = \frac{240}{2} = 120 \frac{СЧ24-44ГОСТ1412-85}{\sigma_6 = 240МПа}$$

Тогда напряжение, выдерживаемое элементарным участком металлизированной гильзы цилиндров, составит:

$$\sigma_{эkv1} = \sigma_{t1} = \frac{5 \cdot 0,046}{0,005} = 46МПа < 120 МПа$$

$$\sigma_{эkv2} = \sigma_{t2} = \frac{5 \cdot 0,0475}{0,0035} = 68МПа < 120 МПа$$

Как видно, металлизация гильзы цилиндров не приводит к снижению прочностных свойств гильзы. Для подтверждения полученных теоретических результатов проведены экспериментальные исследования на возможность возникновения её радиальных и осевых деформаций при воздействии нагрузки, соответствующей рабочим значениям в двигателе.

Перед исследованиями проводили микрометраж внутренних размеров металлизированных гильз согласно ГОСТ 14846-81. Влияние металлизации на деформацию определялось исследованиями на разрывной машине марки Р-5 ГОСТ 28840-90 по изменению деформации стенок гильзы при её осевом сжатии (рис. 3) [12]. Исследования на прочность гильзы цилиндров проводились при гидравлических исследованиях на специализированном стенде НП – 150 ТУ 3632-00502566510 – 2006 по изменению геометрических размеров гильзы цилиндров (рис. 4).



а)



б)

Рис. 3 – а) общий вид разрывной машины Р-5; б) исследуемая металлизированная гильза цилиндров со встречными винтовыми канавками наплавленными медью

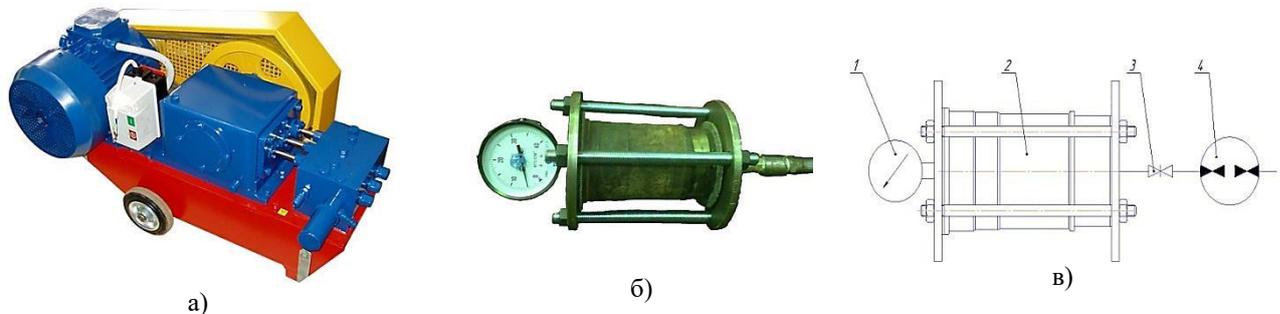


Рис. 4 - Гидравлические исследования: а) стенд НП-150; б) гильза цилиндров под минимальной нагрузкой в) схема приспособления для гидравлических исследований гильзы цилиндров: 1 – манометр; 2 – металлизированная гильза; 3 – шаровой кран; 4 – насос НП-150.

Исследованиям подвергались три гильзы цилиндров с нанесенными на их внутренних рабочих поверхностях трения двух встречных винтовых канавок глубиной 1,5 мм, с последующей наплавкой в них меди марки М-1 ГОСТ 859-78.

При проведении испытаний на деформационные изменения стенок, гильзу цилиндра сжимали осевой нагрузкой 2000 Н. Измерение деформации стенок гильзы осуществлялось в поясах гильзы по ее высоте в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, через каждые 30 мм, начиная с верхнего торца. Измерения проводили с использованием индикатора часового типа ИЧП 100 ГОСТ 577-68, установленного на индикаторной магнитной стойке нормально к стенке гильзы цилиндров. Величина деформации стенок гильзы цилиндров оценивалась по среднему значению деформаций всех гильз в исследуемой партии.

Испытания металлизированных гильз цилиндров на прочность проводились в двух режимах - гидростатическом и гидродинамическом. В гидростатическом режиме в металлизированную гильзу цилиндров нагнетали воду, создавая давление 5 МПа, с последующей выдержкой при этом давлении в течение 10 мин. Температура воды 20 °С.

Для имитации рабочего цикла работы ЦПГ во время гидродинамических исследований давление нагнетания составляло до 5,5 МПа, с последующим снижением давления до 0,5 МПа. Выдержка при максимальном и минимальном давлениях 3 с. Число циклов (нагнетаний и снижения давления) – 100 раз.

Результаты исследования деформации стенок металлизированных гильз цилиндров показали (рис. 5), что геометрические размеры внутреннего диаметра гильз у всех исследуемых гильз остались в допустимых пределах изменения геометрических параметров - 0,06 мм и равняются 0,01 мм.

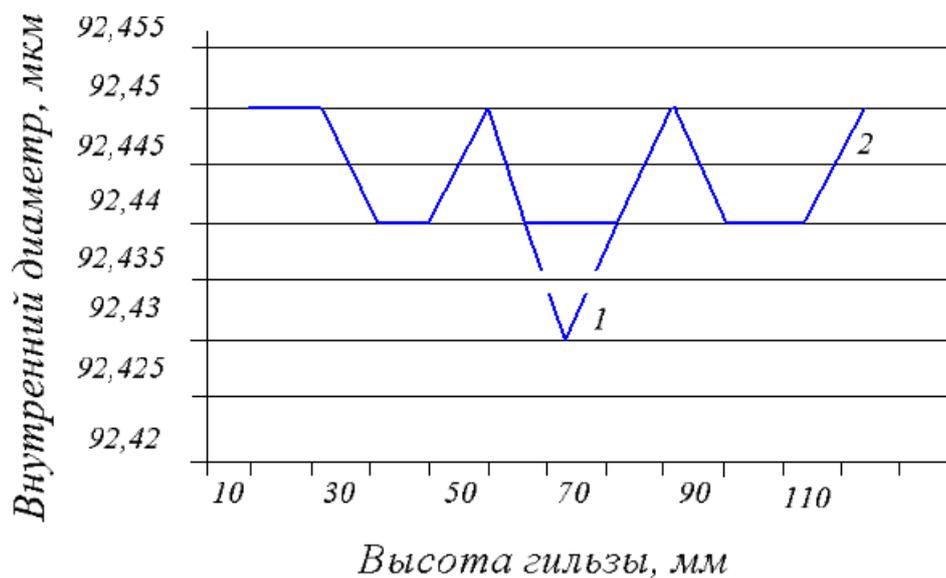


Рис. 5 – Геометрические размеры металлизированной гильзы цилиндров до (1) и после (2) осевого сжатия

Исследованиями на прочность гильз в процессе гидравлических испытаний установлено (рис. 6), что геометрические размеры внутреннего диаметра исследуемых металлизированных гильз также остались в допустимых пределах – 0,06 мм [13].

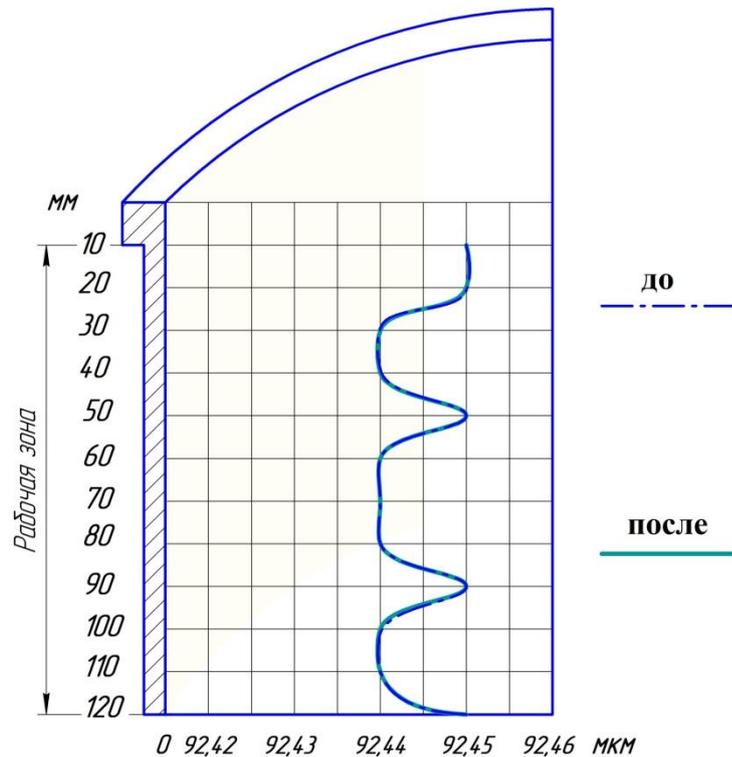


Рис.6 – Геометрические размеры металлized гильзы цилиндра до и после гидравлических исследований

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что металлization гильзы цилиндра методом нарезания встречных винтовых канавок на внутренней рабочей поверхности гильзы цилиндра с последующей наплавкой в них меди, не приводит к снижению прочностных свойств гильзы цилиндра и не вызывают изменения ее геометрических параметров, что позволяет использовать их в двигателях внутреннего сгорания наравне со штатными гильзами цилиндра.

Список литературы / References

1. Официальный сайт производителя поршневых групп «МОТОРДЕТАЛЬ-КОСТРОМА» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.motordetal.ru/> (дата обращения 23.05.2017)
2. Баринов С.В. Повышение износостойкости цилиндро-поршневой группы автотракторных дизелей путем биметаллизации внутренней поверхности гильзы цилиндра: дисс. канд. техн. наук: 05.20.03 / Баринова Сергей Вячеславович. – Саратов, 2003. - 148 с.
3. Салахутдинов И.Р. Повышение износостойкости гильз цилиндра бензиновых двигателей биметаллизацией рабочей поверхности трения: дисс. канд. техн. наук: 05.20.03 / Салахутдинов Ильмас Рифкатович. – Пенза, 2011. - 208 с.
4. Салахутдинов И.Р. Повышение износостойкости гильз цилиндра бензиновых двигателей металлization рабочей поверхности трения / И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. - №2 (18). – С. 101-106.
5. Патент на изобретение 2508463 Россия, МПК F02F 1/20, F16J 10/04. Цилиндропоршневая группа / Д.А. Уханов, А.Ш. Нурутдинов, А.Л. Хохлов, И.Р. Салахутдинов, А.А. Хохлов. - №2012115019/06; Заяв. 16.04.2012; Опубл. 27.02.2014, Бюл. №6.
6. Патент на изобретение 2534327 Россия, МПК F002F1/20, F16J10/04, F02F3/10. Цилиндропоршневая группа / А.Л. Хохлов, И.Р. Салахутдинов, А.А. Глущенко, А.А. Хохлов, А.Ш. Нурутдинов, Д.М. Марьин. - №2013110185/06; Заяв. 06.03.2013; Опубл. 27.11.2014, Бюл. №33.
7. Патент на полезную модель № 93465 РФ Цилиндропоршневая группа / И.Р. Салахутдинов; А.Л. Хохлов; Е.С. Зыкин; К.У. Сафаров. - №2010100259; Заяв. 11.01.2013; Опубл. 27.04.2010; Бюл. № 12.
8. Патент на изобретение № 2440503 РФ Цилиндро-поршневая группа / И.Р. Салахутдинов; А.Л. Хохлов; Е.С. Зыкин; К.У. Сафаров. - № 2010100006/06; Заяв. 11.01.2010; Опубл. 20.01.12; Бюл. № 2
9. Патент на изобретение № 2451810 РФ Цилиндропоршневая группа двигателя внутреннего сгорания / И.Р. Салахутдинов; Д.А. Уханов, А.Л. Хохлов, А.А. Хохлов. - № 2011100391/06; Заяв. 11.01.2011; Опубл. 27.05.12; Бюл. № 15.
10. Субаев М.И. Гильза цилиндра повышенной износостойкости / М.И. Субаев, И.Р. Салахутдинов // IV Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ учащихся, студентов, аспирантов (соискателей) и научных сотрудников «Развитие агропромышленного комплекса юга России». – Краснодар: Издательство «Новация», 2015. - С. 363-367.
11. Субаев М.И. Ускоренные лабораторные исследования противоизносных свойств металлized гильз цилиндра / М.И. Субаев, И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов и др. // VII Международная научно - практическая конференция «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». - Ульяновск: УГСХА, 2016. - С. 231-237
12. ГОСТ 25.503-80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие. – Введен. 1981-07-01. - М.: Госстандарт СССР, 1980. - 57 с.

13. Нурутдинов А.Ш. Исследования металлизированной гильзы цилиндров на прочность / А.Ш. Нурутдинов, А.Л. Хохлов, И.Р. Салахутдинов и др. // Научно-производственный журнал «Сельский механизатор». - 2013. - №6. - С. 33-35
14. ГОСТ 53809-2010. Двигатели автомобильные. Гильзы цилиндров. Технические требования и методы испытаний. – Введ. 2010-09-15. - М.: Национальный стандарт РФ: Изд-во стандартов, 2010 – 137 с.
15. ГОСТ 3845-75. Трубы металлические. Метод испытания гидравлическим давлением. – Введ. 1977-01-01.- М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Oficial'nyj sajt proizvoditel'ya porshnevnyh grupp «MOTORDETAL'-KOSTROMA» [Official site of the producer of the piston groups «MOTORDETAL'-KOSTROMA»] [Electronic resource]. - URL:<http://www.motordetal.ru/> (accessed: 23.05.2017) [in Russian]
2. Barinov S.V. Povyshenie iznosostojkosti cilindro-porshnevoj grupy avtotraktornyh dizelej putem bimetalizacii vnutrennej poverhnosti gil'zy cilindrov [Increase of wear resistance of the cylinder-piston group of tractor diesel engines by bimetalization of the inner surface of the cylinder liner]: diss. Of Cand. Tech. Sciences: 05.20.03 / Barinova Sergej Vyacheslavovich. - Saratov, 2003. 148 p. [in Russian]
3. Salakhutdinov I.R. Povyshenie iznosostojkosti gil'z cilindrov benzinovyh dvigatelej bimetalizaciej rabochej poverhnosti treniya [Increase of wear resistance of liners of cylinders of petrol engines by bimetalization of a working surface of a friction]: diss. Of Cand. Tech. Sciences: 05.20.03/Salahutdinov Il'mas Rifkatovich. - Penza, 2011. - 208 p. [in Russian]
4. Salakhutdinov I.R. Povyshenie iznosostojkosti gil'z cilindrov benzinovyh dvigatelej metallizaciej rabochej poverhnosti trenija [Increase of wear resistance of cylinder liners of petrol engines by metallization of working surface of friction] / I.R. Salakhutdinov, A.L. Khokhlov // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohoz'jajstvennoj akademii [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]. - 2012. - №2 (18). - P. 101-106 [in Russian]
5. Patent for invention 2508463 the Russian Federation, MPK F02F 1/20, F16J 10/04. Cilindroporshnevaja grupa [Cylinder piston group] / D.A. Ukhanov, A.Sh.Nurutdinov, A.L. Khokhlov, I.R. Salakhutdinov, A.A. Khokhlov. - №2012115019/06; Appl. 16.04.2012; Publ. 27, 2014, Bull. № 6 [in Russian]
6. Patent for invention 2534327 the Russian Federation, MPK F002F1/20, F16J10/04, F02F3 /10. Cilindroporshnevayagruppa [Cylinder piston group]/A.L. Khokhlov, I.R. Salakhutdinov, A.A. Glushchenko, A.A. Khokhlov, A.Sh.Nurutdinov, D.M. Mariin. - №2013110185/06; Appl. 03.06.2013; Publ. 11.27.2014, Bull. № 33. [in Russian]
7. Patent for utility model No. 93465 the Russian Federation, Cilindroporshnevayagruppa [Cylinder piston group] / I.R. Salakhutdinov; A.L. Khokhlov; E.S. Zykin; K.U. Safarov. №2010100259; Appl. 11.01.2013; Publ. 04.27.2010 Bull. № 12. [in Russian]
8. Patent for invention № 2440503 the Russian Federation, Cilindro-porshnevayagruppa [Cylinder-piston group] / I.R. Salakhutdinov; A.L. Khokhlov; E.S. Zykin; K.U. Safarov. - № 2010100006/06; Appl. 11.01.2010; Publ. 20.01.12; Bull. № 2 [in Russian]
9. Patent for invention № 2451810 the Russian Federation, Cilindroporshnevayagruppa [Cylinder piston group of internal combustion engine] / I.R. Salakhutdinov; D.A. Ukhanov, A.L. Khokhlov, A.A. Khokhlov. - № 2011100391/06; Appl. 11.01.2011;; Publ. 05.27.12; Buil. №. 15. [in Russian]
10. Subaev M.I. Gil'za cilindrov povyshennoj iznosostojkosti [Cylinder liner for increased wear resistance] / M.I. Subaev, I.R. Salakhutdinov // IV Vserossijskij konkurs nauchno-issledovatel'skih rabot uchashhihsja, studentov, aspirantov (soiskatelej) i nauchnyh sotrudnikov «Razvitie agropromyshlennogo kompleksa juga Rossii» [Collection of theses of research projects of the IV-th All-Russian competition of research works of students, students, graduate students (competitors) and research workers "Development of the agro-industrial complex of the south of Russia"]. – Krasnodar: Izdatel'stvo «Novaciya», 2015. - P. 363-367. [in Russian]
11. Subaev M.I. Uskorennyye laboratornye issledovaniya protivoznosnyh svojstv metallizirovannyh gil'z cilindrov [Accelerated laboratory studies of anti-wear properties of metallized cylinder liners] / M.I. Subaev, I.R. Salakhutdinov, A.L. Khokhlov and others // VII Mezhdunarodnaja nauchno - praktičeskaja konferencija «Agrarnaja nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitija: opyt, problemy i puti ih reshenija» [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Agrarian Science and Education at the Present Stage of Development: Experience, Problems and Ways of Solving them"]. - Ul'janovsk: UGSKHA, 2016. - P. 231-237 [in Russian]
12. GOST 25.503-80. Rasčety i ispytaniya na prochnost'. Metody mehaničeskij ispytanij metallov. Metod ispytaniya na szhatie [Calculations and tests on durability. Methods of mechanical testing of metals. Compression test method]. - Vved. 1981-07-01. - M.: Gosstandart SSSR, 1980. - 57 p. [in Russian]
13. Nurutdinov A.Sh. Issledovaniya metallizirovannoj gil'zy cilindrov na prochnost' [Studies of metallized cylinder liners for strength] / A.Sh.Nurutdinov, A.L. Khokhlov, I.R. Salakhutdinov and others // Nauchno-proizvodstvennyj zhurnal «Sel'skij mehanizator» [Scientific-production magazine "The Rural Mechanizer"]. - 2013. - №. 6. - P. 33-35 [in Russian]
14. GOST 53809-2010. Dvigateli avtomobil'nye. Gil'zy cilindrov. Tehničeskije trebovanija i metody ispytanij [Engines are automobile. Sleeves of cylinders. Technical requirements and test methods.]. - Vved. 2010-09-15. - M.: Nacional'nyj standart RF: Izd-vostandartov, 2010. -137 p. [in Russian]
15. GOST 3845-75. Truby metallicheskie. Metod ispytaniya gidravličeskim davleniem [Pipes made of metal. Hydraulic Pressure Test Method]. - Vved. 1977-01-01. - M.: Standartinform, 2010. - 4 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.080>Тимофеев А.М.¹, Кравцова О.Н.², Протодьяконова Н.А.³¹ORCID: 0000-0001-6021-5423, Доктор технических наук,²ORCID: 0000-0001-9345-421X, Кандидат технических наук,³ORCID: 0000-0002-5948-579X, кандидат физико-математических наук

Институт физико-технических проблем Севера СО РАН

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОЛИ ПРИ ПРОМЕРЗАНИИ
ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ****Аннотация**

Для выявления основных механизмов перераспределения соли при промерзании были проведены эксперименты по замораживанию растворов солей $NaCl$ и $CaCl_2$ с различными концентрациями образцов засоленных песчаных и глинистых грунтов. Были рассчитаны коэффициенты захвата солей при промерзании водных растворов.

Замораживание засоленных песчаных и глинистых грунтов было проведено в условиях «закрытой» и «открытой» систем. Солеперенос происходит в основном с переносом грунтовой влаги, в условиях «закрытой» системы в глинистом грунте образуется зона иссушения. В этой зоне наблюдается повышение концентрации порового раствора, поскольку из нее происходит испарение влаги и подсос в зону испарения незамерзшей воды с высокой концентрацией соли. При промерзании песчаного образца в открытой системе происходит отжатие влаги из мерзлой зоны, о чем свидетельствует уменьшение влагосодержания в мерзлой зоне.

Ключевые слова: промерзание, песчаные грунты, глинистые грунты, солевые растворы.

Timofeev A.M.¹, Kravtsova O.N.², Protodyakonova N.A.³¹ORCID: 0000-0001-6021-5423, PhD in Engineering,²ORCID: 0000-0001-9345-421X, PhD in Engineering,³ORCID: 0000-0002-5948-579X, PhD in Physics and Mathematics

Institute of Physicotechnical Problems of the North SB RAS

**EXPERIMENTAL STUDY OF SALT REDISTRIBUTION DURING THE FREEZING OF SALTY SOILS
AND WATER SOLUTIONS****Abstract**

In order to identify the main mechanisms of salt redistribution on frost penetration, we conducted experiments aimed at the freezing of salt solutions $NaCl$ and $CaCl_2$ with different concentrations of salty sandy soils and clay soils samples. Salt capture coefficients were calculated during the freezing of water solutions.

Freezing of salty sandy soils and clay soils was carried out under the conditions of “closed” and “open” systems. Salt transfer occurs mainly with the transfer of telluric moisture, a drying out zone is formed under the conditions of a “closed” system in clay soil. In this zone, there is an increase in the concentration of pore solution, as the evaporation of the moisture takes place as well as the suction into the zone of the evaporation of unfrozen water with the high concentration of salt. When a sand sample freezes in an open system, there is moisture removal from the frozen zone, as evidenced by a moisture content decrease in the frozen zone.

Keywords: freezing, sandy soils, clay soils, saline solutions.

Для выявления основных механизмов перераспределения соли при промерзании грунтов были проведены эксперименты по замораживанию образцов засоленных песчаных и глинистых грунтов. Кроме того, была проведена серия экспериментов по замораживанию растворов солей $NaCl$ и $CaCl_2$ с концентрациями 0,44; 0,88; 1,75; 3,5%. Исследуемыми растворами заполняли одинаковые полиэтиленовые стаканы диаметром 6 см и высотой 10 см. Стаканы ставили в теплоизоляционные кассеты из пенопласта и помещали в холодильную камеру. Промерзание образцов происходило сверху вниз, температуру в камере поддерживали минус (5-10)⁰С. Полностью промерзшие образцы вынимали из холодильной камеры. Незамерзший раствор сливали в бюксы для дальнейших исследований химического состава. Затем мерзлые образцы делили по высоте на несколько частей. После оттаивания по стандартным методикам определяли концентрацию растворов. Лед, образующийся при промерзании растворов, непрозрачный, белого матового цвета, что можно объяснить плохой спайностью пластин в кристаллах льда из-за наличия между ними незамерзшего раствора. В процессе промерзания образца следили за формой поверхности раздела льда и раствора. При слабых концентрациях раствора поверхность была более менее гладкая, хотя и не плоская. При высоких концентрациях (3,5%) на нижней поверхности намерзающего льда образовывалась ажурная система тонких ледяных пластин, пересекающихся друг с другом. Преимущественное направление роста этих пластин было вниз с углом отклонения от вертикали не более 45⁰. Такая же ажурная ледяная структура выстраивалась при замерзании слабых растворов, в нижней части промерзающего образца, когда концентрация оставшегося незамерзшего раствора повышалась.

При промерзании водных растворов за счет отжатия соли из мерзлой зоны перед фронтом промерзания образуется зона концентрационного уплотнения. Поскольку плотность водных растворов и солей зависит от концентрации в талой зоне, подо льдом, под действием градиента плотности возникает конвективное перемешивание раствора [1, С.]. Это приводит к выравниванию концентрации раствора. Только в узкой зоне перед фронтом промерзания в ламинарном подслое существует градиент концентраций. За пределами ламинарного слоя коэффициент диффузии соли значительно превосходит значения, характерные для молекулярной диффузии [1, С. 462].

Хорошее перемешивание раствора в талой зоне позволяет применить для оценки коэффициентов захвата соли фронтом промерзания формулу [2, С. 156]:

$$C_s = C_0 K_3 (1 - q)^{K_3 - 1}$$

где K_3 - постоянный коэффициент захвата соли мерзлой зоной; C_0 - начальная концентрация раствора; q - координата.

Для раствора $CaCl_2$: $K_3 = 0,2$ при $C = 0,44\%$ $K_3 = 0,25$ при $C = 0,88\%$ и $K_3 = 0,3$ при $C = 1,75\%$.

Для раствора $NaCl$: $K_3 = 0,3$ при $C = 0,75\%$ $K_3 = 0,35$ при $C = 1,5\%$ и $K_3 = 0,4$ при $C = 3\%$.

Эксперимент показал, что коэффициент захвата зависит от вида соли и увеличивается при возрастании концентрации раствора. Соль захватывалась в виде прослоек концентрированного раствора между пластинами ледяных кристаллов.

Далее исследования проводились на образцах мелкозернистого песка и суглинка, которыми заполнялись наборные цилиндры, состоящие из соединяющихся друг с другом колец из плексигласа. Высота наборных цилиндров 10,5 см, высота кольца 1,5 см, внутренний диаметр 5 см. Полиэтиленовые цилиндры заполняли просушенным грунтом послойно, утрамбовывали и увлажняли его подачей раствора снизу. Затем цилиндры с грунтом, устанавливали в теплоизоляционную пенопластовую кассету и помещали в холодильную камеру. Образцы промораживались с верхнего открытого торца в течение суток при температуре минус (5-10⁰)С.

Снизу цилиндр закрывался специальной крышкой, снабженной штуцером, через который подавался раствор на нижнюю часть образца. Опыты проводились как с открытой системой (т.е. возможен подсос влаги в промерзающий образец через штуцер), так и с закрытой системой, когда подачи раствора в образец извне не было. При замораживании образцов грунта с открытой системой к штуцеру нижней крышки цилиндра прикрепляли резиновый шланг диаметром 6 мм и выводили его наружу. Другой конец шланга соединяли со стеклянной трубкой, чтобы наблюдать за уровнем раствора в системе. До начала промерзания в системе устанавливалось гидравлическое равновесие.

При промерзании образцов влагонасыщенного песка в открытой системе уровень раствора в трубке практически не менялся, что свидетельствует о том, что гидравлическое давление в системе осталось первоначальным. Глубина промерзания в описываемом эксперименте равнялась 6 см, результаты экспериментов приведены в таблице 1. При промерзании песчаного образца в открытой системе происходит отжатие влаги из мерзлой зоны, о чем свидетельствует уменьшение влагосодержания в мерзлой зоне. Отжимается концентрированный незамерзший раствор. Непосредственно перед фронтом промерзания концентрация соли также более высокая.

Таблица 1 – Распределение влажности, концентрации порового раствора и засоленности песчаного грунта по длине образца

Система открытая, $C_0=3\%$				Система закрытая, $C_0=0,75\%$			
l, см	W, %	C_p , %	Z, %	l, см	W, %	C_p , %	Z, %
10,0	28,99	3,35	0,97	8	19,33	0,76	0,146
9,0	22,65	3,10	0,702	6	20,26	0,676	0,137
7,5	22,17	3,41	0,756	4	19,14	0,96	0,183
6,0	22,98	3,14	0,722	2	22,32	0,740	0,166
4,5	22,54	4,66	1,051				
3,0	23,11	7,00	1,617				

В полностью промерзших образцах в закрытой системе на поверхности образцов почти всегда можно было наблюдать жидкий незамерзший раствор и кристаллы льда. Концентрация этого раствора в несколько раз более высокая по сравнению с начальной, ее можно рассчитать из формулы [2, С. 189]:

$$T = 273(1 - \mu C)$$

для соли $CaCl_2$ $\mu = 1,7 \cdot 10^{-3}$; для соли $NaCl$ $\mu = 2,2 \cdot 10^{-3}$.

В нижней части образца концентрация соли была также более высокая по сравнению с начальной. В средней части образца концентрация соли ниже начальной.

При благоприятных условиях, когда отжатие концентрированного раствора на поверхность образца было затруднено, (более слабая начальная концентрация раствора, а потому более низкие значения коэффициента фильтрации в мерзлой зоне и возможность оттока влаги в нижний конец образца), концентрация соли в мерзлом образце увеличивалась сверху вниз. В этом случае есть возможность оценить значение коэффициента захвата соли мерзлой зоной. Коэффициент захвата соли при этом равен 0,85.

Таблица 2 – Распределение влажности, концентрации порового раствора и засоленности глинистого грунта по длине образца

Система открытая, $C_0=1,5\%$				Система закрытая, $C_0=1,5\%$			
l, см	W, %	C_p , %	Z, %	l, см	W, %	C_p , %	Z, %
10,7	31,48	1,23	0,386	Иссушенный слой	12,38	4,83	0,598
9,2	29,39	1,17	0,343	10,3	26,23	1,2	0,316
7,5	26,38	1,04	0,274	9,0	26,87	1,23	0,329
6,0	24,91	1,24	0,31	7,5	27,56	1,12	0,308
4,5	26,94	1,55	0,417	6,0	26,7	1,21	0,322
3,0	27,71	1,13	0,312	4,5	26,35	1,17	0,311
1,5	27,71	1,2	0,333	3,0	24,42	1,06	0,260

При промерзании песчаных полностью влагонасыщенных грунтов происходит отжатие из мерзлой зоны части незамерзшего порового раствора. Уменьшается влагосодержание мерзлой зоны и вместе с влагой уменьшается содержание соли. При этом происходит опреснение почвенного раствора в мерзлой зоне.

Воздушно-сухой порошок просеянного суглинка увлажнялся раствором $CaCl_2$ с концентрацией 3,0 % и 1,5 %. Полученные результаты приведены в таблице 2. Видно, что влагосодержание в мерзлой зоне увеличивается по сравнению с начальным. Наиболее высокое значение в верхней части образца и затем уменьшается к низу.

Когда образцы не влагоизолировались сверху, то максимальное значение влагосодержания в полностью промерзших образцах было на несколько сантиметров ниже, понижение происходило за счет испарения влаги с верхнего торца.

В полностью промерзших образцах суглинка концентрация соли наибольшая в верхней части образца. В иссушенном слое она достигала 6%, что связано с подсосом незамерзшего концентрированного раствора в зону иссушения. Средняя концентрация порового раствора, (определенная как отношение концентрации соли в глинистом грунте к его влагосодержанию), исключая иссушенный слой, остается по длине образца одинаковой. При замерзании глинистых грунтов отжатия соли из мерзлой зоны в талую в экспериментах не наблюдалось.

Как видно из проведенных лабораторных экспериментов по замораживанию засоленных песчаных и глинистых грунтов солеперенос происходит в основном с переносом грунтовой влаги. В глинистых грунтах миграция влаги направлена к холодному концу образца, в мерзлую зону. В мерзлой зоне происходит повышение влагосодержания и увеличение содержания соли в единице веса или объема сухого грунта. При этом общая концентрация почвенного раствора (отношение содержания соли в единице веса грунта к содержанию суммарной влаги: лед+вода) изменяется незначительно. Исключение составляет поверхностная зона образца, в этой зоне наблюдается повышение концентрации порового раствора, поскольку из нее происходит испарение влаги и подсос в зону испарения незамерзшей воды с высокой концентрацией соли.

Список литературы / References

1. Асхабов А.М., Маркова Н.Н. Влияние гидродинамики на кинетические параметры роста кристаллов из раствора/ А.М. Асхабов, Н.Н. Маркова// - Москва: ДАН.- 1997. -Т.353.- №4.- С.462-464.
2. Киргинцев А.Н., Исаенко Л.И., Исаенко В.А., Распределение примесей при направленной кристаллизации/А.Н. Киргинцев, Л.И. Исаенко, В.А. Исаенко// – Новосибирск: Наука. – 1977.-256 с.

Список литературы на английском языке / References bi English

1. Ashabov A.M., Markova N.N. Vlijanie gidrodinamiki na kineticheskie parametry rosta kristallov iz rastvora [Effect of hydrodynamics on the kinetic parameters of crystal growth from solution] /A.M. Askhabov, N.N. Markova// – M.: DAN. – 1997.-Т.353. -№4.-P.462-464. [in Russian]
2. Kirgincev A.N., Isaenko L.I., Isaenko V.A., Raspredelenie primesej pri napravlennoj kristallizacii [Distribution of impurities in directional crystallization]/A.N. Kirgincev, L.I. Isaenko, V.A. Isaenko// – Novosibirsk: Nauka. – 1977.-p.256. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.053>Троценко А.А.¹, Коновалова И.И.², Курляндская И.П.³¹Кандидат биологических наук, Мурманский филиал Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы Министерства по чрезвычайным ситуациям;²Исследователь, Петрозаводский Государственный Университет, Медицинский институт. Кафедра Лучевой Диагностики и Лучевой Терапии с курсом Критической и Респираторной медицины;³Кандидат педагогических наук, Мурманский филиал Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы Министерства по чрезвычайным ситуациям**АНАЛИЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗРЫВА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ***Аннотация*

В статье рассмотрены основные характеристики пожаровзрывоопасных веществ, приведены примеры расчётов максимального и избыточного давления взрыва с учётом рационализаторских предложений по определению зоны разрушения и радиуса поражения. Предложены дополнительные меры по безопасной транспортировке и хранению пожаровзрывоопасных веществ: расчёт взрывоопасной зоны и радиуса зоны разрушения взрыва с учётом геометрии помещения; расчёт концентрационных пределов распространения пламени с учётом разбавления и добавления флегматизаторов.

Ключевые слова: пожаровзрывоопасные вещества, взрывы, радиус разрушения, прогнозирование чрезвычайных ситуаций.

Trotsenko A.A.¹, Konovalova I.I.², Kurlyandskaya I.P.³¹PhD in Biology, Murmansk Branch of Saint-Petersburg University of State Fire Service of Russian Ministry of Emergency Situations;²Researcher, Petrozavodsk State University, Medical Institute, Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy with the Course of Critical and Respiratory Medicine;³PhD in Pedagogy, Murmansk Branch of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations**ANALYSIS OF ADDITIONAL PARAMETERS ON ESTIMATION OF THE LEVEL OF HAZARDOUS FLAMMABILITY AND CONSEQUENCES OF EXPLOSION IN FORCASTING OF EMERGENCY SITUATIONS***Abstract*

The article considers the main characteristics of fire and explosion substances, gives examples of calculations of maximum and excess pressure of the explosion, taking into account rationalization proposals for determining the zone of destruction and the radius of damage. Additional measures are proposed for safe transportation and storage of fire and explosion substances such as the calculation of the explosive zone and the radius of the explosion destruction zone with regard to the geometry of the room and calculation of concentration limits of flame propagation taking into account the dilution and addition of phlegmatizers.

Keywords: fire and explosion substances, explosions, radius of destruction, forecasting of emergency situations.

Систематически специалисты сталкиваются с проверкой использования, условий хранения и транспортировки взрывоопасных веществ, что является важным моментом при прогнозировании последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Общезвестно, что взрыв представляет собой быстрый, интенсивный экзотермический процесс мгновенного физико-химического изменения вещества и образованием сжатых газов или паров, способных производить работу [2, С 284]. Для быстрого и эффективного расследования произошедшей чрезвычайной ситуации ввиду взрыва к методикам по теоретическим и приближенным к реальности расчётам требуется системный подход. Основными теоретическими расчётами потенциального взрыва, как правило, являются: определение избыточного давления взрыва вещества или смеси горючих веществ, размера взрывоопасной зоны и радиуса поражения, концентрационные пределы распространения пламени. В данной статье будет предложен максимально рациональный путь по расчётам указанных параметров опасности горючих веществ и последствий взрыва.

Избыточное давление взрыва является основным критерием дифференциации взрывоопасных и пожароопасных категорий помещений при прогнозировании последствий взрыва / детонации опасных веществ указанной массы или объёма. В результате взрыва происходит разрушение или повреждение зданий, сооружений, технологического оборудования, транспортных средств, элементов коммуникаций и других объектов, что может приводить к гибели людей.

Избыточное давление взрыва рекомендуется рассчитывать с учётом таких параметров, как максимальное давление взрыва и начальное давление (как правило, стандартное или нормальное атмосферное давление) [1, С. 407]:

$$\Delta P = (P_{MAX} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_{Г(П)}} \cdot \frac{100}{C_{СТЕХ}} \cdot \frac{1}{K_H}, \text{ кПа} \quad (1)$$

Следует учесть, что практически максимальное давление взрыва (P_{max}) не осуществимо, поэтому параметр не может быть основным критерием, описывающим последствия взрыва, хотя в большинстве учебных пособий предлагается ориентироваться только на этот параметр при выяснении степени потенциального разрушения. Практическая несостоятельность максимального давления взрыва объясняется, в первую очередь, началами термодинамики и основными законами химии, ограничивающими возможность одномоментного нагрева до температуры самовоспламенения абсолютного количества частиц (молекул) паровоздушной смеси и вступления их в

химическую реакцию горения. Даже при детонации, т.е. физико-химическом процессе, протекающем со сверхзвуковой скоростью, химическая реакция происходит не с мгновенным участием абсолютного количества частиц (молекул), а поэтапно.

При отсутствии справочных данных допускается принимать $P_{MAX} = 900$ кПа; P_0 – нормальное или стандартное 101 кПа; m – предложенная масса горючего газа, или паров легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ), или смеси горючих веществ (ГЖ), высвободившихся из ёмкости в помещении при разгерметизации в результате аварии; Z – коэффициент участия горючего вещества во взрыве с учётом агрегатного состояния (табличные данные); K_n – степень разгерметизации ёмкости с горючим веществом.

Решающую роль в определении результата по расчётам размера взрывоопасной зоны и радиуса поражения будет играть информация об объёме помещения и количестве испарившегося горючего вещества. Если же пары горючего вещества достигли минимальной взрывоопасной концентрации в помещении, равной нижнему концентрационному пределу распространения пламени (НКПРП) для данного вещества, и заняли всю площадь пола, стен или потолка (в зависимости от плотности горючего газа относительно воздуха), то в этой ситуации нужно принять всё помещение в качестве модели сосуда с данным пожаровзрывоопасным веществом. Иными словами, не ёмкость с горючим веществом, а всё помещение является целостной химической системой и принимается за точку отсчёта.

После определения избыточного давления взрыва необходимо рассчитать размер взрывоопасной зоны. Авторы учебных пособий при рассмотрении размера взрывоопасной зоны предлагают принять за ноль в системе координат центр помещения. Однако в таком случае не учитывается то, что пары вещества распространяются сначала вдоль пола или потолка, а затем по высоте, что определяет границу последствий взрыва. Представив всё помещение в качестве целостной химической системы с взрывоопасным веществом, при расчёте размера взрывоопасной зоны каждый из параметров представленной зоны помещения нужно принять за ноль в системе координат (где Z – высота, Y и X – ширина и длина). Полученные в ходе расчётов результаты проецируются на известные параметры помещения, что позволяет добиться максимально приближенной к реальности картины разрушений от взрыва.

Например, имеем в качестве исходных данных некоторое помещение размером 5 м * 2 м * 5 м, где пары заполнили всю площадь пола и поднялись на расстояние 0,5 м от пола. После проведённых вычислений имеем, что длина взрывоопасной зоны равна 2 м, ширина 1,5 м, а высота составила - 1 м. Прибавив полученные результаты к параметрам заполнения паров, мы получаем размер зоны, превышающей длину и ширину комнаты соответственно на 2 и 1,5 м (рис. 1). На представленной иллюстрации синими линиями указаны границы заполнения помещения парами взрывоопасного вещества, а красными - размер взрывоопасной зоны, который необходимо добавить к имеющимся параметрам заполнения парами. Следовательно, сила ударной волны при взрыве опасного вещества в основном будет направлена на стены помещения, а не в потолок и пол; можно предположить, что несущие конструкции помещения будут разрушены. Нужно отметить, что по существующим методикам расчётов и по данному рисунку (рис. 1) по умолчанию предполагается, что аппарат (ёмкость) с горючим взрывоопасным веществом стоит в углу помещения. При изменении дислокации аппарата (ёмкости) с опасным веществом необходимо соответственно сместить центр трёхмерной системы координат на модели. В любом случае по предложенной модели уязвимыми в результате взрыва будут именно стены.

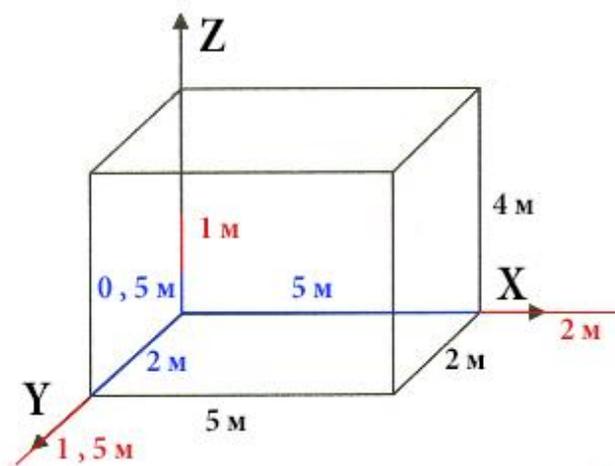


Рис. 1 – Первичные параметры взрывоопасной зоны

Данной методикой определения размеров взрывоопасной зоны можно также пользоваться при наличии различных вариантов заполнения парами горючих газов помещений с любыми параметрами.

Следующим этапом оценки уровня опасности горючих веществ и последствий взрыва является определение радиуса зоны разрушения. Зоной разрушения считается площадь с границами, определяемыми радиусами R , центром которой является рассматриваемая технологическая система или наиболее вероятное место разгерметизации этой системы. Предложенные в учебных пособиях методики по определению локализации центра взрыва при утечке различных опасных веществ не всегда являются актуальными ввиду многогранности и определенной специфики существующих технологий. Используя методику, предложенную выше при определении зон разрушения, можно получить приближенные к реальности результаты радиуса зоны разрушения.

Радиус зоны разрушения (м) в общем виде определяется выражением:

$$R = \frac{K \cdot \sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{1/6}}, \quad (2)$$

где K – безразмерный коэффициент (таблица 1), характеризующий степень разрушения объекта при взрыве; W_T – тротиловый эквивалент мощности взрыва [1, С. 319].

Таблица 1 – Классификация зон разрушения

Класс зоны разрушения	K	ΔP , кПа
1	3,8	≥ 100
2	5,6	70
3	9,6	28
4	28,0	14
5	56,0	$\leq 2,0$

С методологических позиций полученный результат, аналогично расчёта размеров взрывоопасной зоны, накладывается далее на объёмные параметры помещения занятого парами взрывоопасного вещества. При этом значение R следует прибавить к *большой* стороне, поскольку ударная волна будет набирать силу за время цепной реакции, проходящей по всему объёму вещества, и начнёт угасать с момента окончания реакции, т.е. на границе вещества (рис. 2). Здесь синими линиями указаны границы заполнения помещения парами взрывоопасного вещества, а красными - радиус зоны разрушения.

Для наглядности применения описанной выше методики в настоящей статье предложены расчёты по прогнозированию последствий чрезвычайной ситуации в результате взрыва опасного горючего вещества. Необходимо определить избыточное давление взрыва в помещении, где обращается толуол:

1. Характеристика горючего вещества (справочные данные): толуол $C_6H_5CH_3$; $t_{BCП} = -5$ °С; НКПР = 1,21%; константы уравнения Антуана: $A = 6,0507$; $B = 1328,17$; $C = 217,713$; $\rho_{ж} = 867$ кг/м³; $P_{МАХ} = 634$ кПа.

2. Характеристика помещения (произвольные данные): длина $l = 6$ м; ширина $b = 6$ м; высота $h = 4$ м; начальная температура воздуха в помещении 25 °С; скорость воздушного потока в помещении 0,1 м/с.

3. Характеристика оборудования и параметры технологического процесса (произвольные данные): объём аппарата $V_{АП} = 0,05$ м³; степень заполнения аппарата жидкостью $\epsilon = 0,85$; начальная температура жидкости в аппарате 40°С. В результате аварийной ситуации аппарат полностью разрушен, вся жидкость поступила в помещение. Испарение жидкости в помещении происходило в течение 1 часа. Масса поступившей жидкости из аппарата в помещение $m = 37$ кг; площадь испарения жидкости 37 м². Так как площадь испарения ограничена площадью помещения, то принимаем площадь испарения за площадь пола, равной $6 \cdot 6 = 36$ м²; интенсивность испарения - $W_{исп} = 111,4 \cdot 10^{-6}$ кг/м²*с; масса испарившейся жидкости - *тисп.жидк.* = 14,4 кг; $Z = 0,3$; $K_n = 3$; свободный объём помещения - $V_{своб} = 115,2$ м³; плотность паров - $\rho_g = 3,76$ кг/м³; стехиометрическая концентрация - $C_{смex} = 1,86\%$; объём паров горючего вещества - $V_n = 3,8$ м³; НКПРП толуола - 1,25%; процентное содержание паров от общего объёма помещения - 2,6%.

Определяем избыточное давление (1) по имеющимся данным, чтобы определить в дальнейшем по таблице 1 коэффициент K : $\Delta P = (634 - 101) \cdot \frac{14,4 \cdot 0,3}{115,2 \cdot 3,76} \cdot \frac{100}{1,86} \cdot \frac{1}{3} = 85,97$ кПа, что соответствует 2-му классу разрушений.

Значит, описанное помещение при взрыве данной паровоздушной смеси полностью будет разрушено.

Находим тротиловый эквивалент по формуле [1, С. 405]

$$W_T = \frac{0,4}{0,9} \cdot \frac{Q_H}{Q_T} \cdot Z \cdot m \quad (3)$$

где 0,4 – фиксированный коэффициент, отражающий долю энергии взрыва парогорючей смеси, затрачиваемой непосредственно на формирование ударной волны; 0,9 – фиксированный коэффициент, отражающий долю энергии взрыва тринитротолуола, затрачиваемой непосредственно на формирование ударной волны; Q_H – удельная (низшая) теплота сгорания парогорючей среды, кДж/кг; Q_T – удельная теплота сгорания тринитротолуола (справочные данные по тротилу $Q_T = 4240$ кДж/кг); Z – доля массы паров, участвующей во взрыве (зависит от природы горючего вещества; в данном случае $Z=0,3$).

Параметр Q_n можно либо рассчитать самостоятельно, либо указать справочные данные - $Q_n = 40660$ кДж/кг. Итак, рассчитаем тротиловый эквивалент:

$$W_T = \frac{0,4}{0,9} \cdot \frac{40660}{4240} \cdot 0,3 \cdot 37 = 46,79 \text{ кг}$$

Рассчитываем радиус зоны поражения по формуле (2)

$$R = 5,6 \cdot \frac{\sqrt[3]{46,8}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{46,8}\right)^2\right]^{1/6}} = 4,39 \text{ м.}$$

И наконец, учитывая все вышеперечисленные параметры, окончательно получаем, что толуол заполнил всю площадь пола помещения (так как его молярная масса больше молярной массы воздуха) и возвышается на 0,1 м вверх. Поэтому получившееся значение радиуса (4,39 м) необходимо прибавить или к ширине, или к длине (рис. 2).

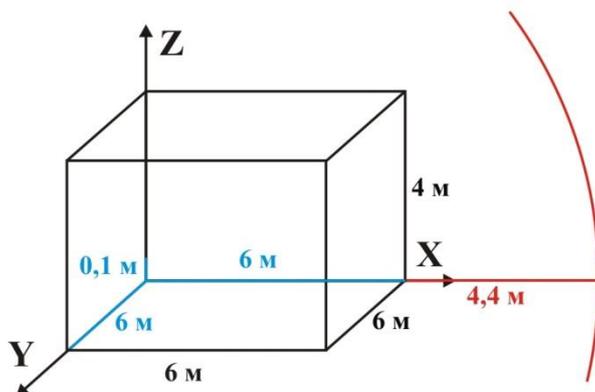
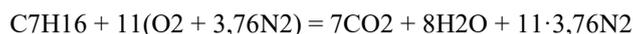


Рис. 2 – Параметры определения радиуса разрушения, приближенного к реальности

При прогнозировании последствий взрыва, в частности при определении радиуса разрушения, необходимо учитывать результаты расчётов с максимальной потенциальной опасностью. Поэтому целесообразнее учесть не примерное 4,4 м, а завышенное значение – 5 м.

Горение пожароопасных веществ при внештатных ситуациях на различных технических объектах, могут, в свою очередь, спровоцировать взрыв других систем. При хранении и транспортировке горючих веществ главнейшим показателем их опасности является нижний и верхний концентрационный предел распространения пламени (воспламенения) – соответственно, минимальное и максимальное содержание горючего вещества в однородной паровоздушной смеси (с воздухом или чистым кислородом), при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Например, рассчитаем НКПР и ВКПР для гептана (C₇H₁₆) при стандартных условиях окружающей среды (25 °C), находящегося в герметичном баллоне вблизи вышеописанного взрывоопасного вещества - толуола. Для начала запишем уравнение реакции горения гептана по воздуху:



Далее используем формулу вида

$$\phi_{\text{H(В)}} = \frac{100}{a \cdot \beta + b}, \quad (4)$$

где $\phi_{\text{H(В)}}$ – нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени (НКПР и ВКПР), %; β – число молекул кислорода (коэффициент перед кислородом в уравнении реакции горения вещества); a и b – константы, приведенные в таблице 2 [1, с. 324].

Таблица 2 – Значение констант для определения концентрационных пределов распространения пламени

КПР	α	b
НКПР	8,684	4,679
ВКПР		
$\beta \leq 7,5$	1,550	0,560
$\beta > 7,5$	0,768	6,554

Получим, что НКПР гептана равен 0,99 %, а ВКПР равен 6,7 %. Отсюда следует, что 1 % гептана в воздухе будет достаточно, чтобы произошло самовоспламенение, что, в свою очередь, спровоцирует взрыв толуола.

Принимается тот факт, что выше ВКПР пожаровзрывоопасные вещества становятся менее опасными, так как паровоздушная смесь будет богата по горючему веществу, но бедна по окислителю, значит, не будет соблюдаться стехиометрическое соотношение горючего и окислителя (1 : 11). Следует заметить, что при недостатке (по массе или объёму) горючего вещества и одновременно при избытке окислителя, если, например, реакция происходит на открытом воздухе или в помещениях с хорошей вентиляцией, опасность горючего вещества не снижается.

При транспортировке гептана не нужно забывать, что помимо температуры окружающего воздуха, дополнительно следует учитывать температуру от нагретого двигателя, прямых солнечных лучей и от дорожного полотна. В учебных пособиях обычно этими дополнительными значениями температур пренебрегают:

$$\phi (H_t) = \phi_{H*} \left(1 - \frac{T-T_0}{1550-T_0} \right); \quad (5)$$

$$\phi (V_t) = \phi_{V*} \left(1 + \frac{T-T_0}{1100-T_0} \right), \quad (6)$$

где $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ($333 \text{ }^\circ\text{K}$), а $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ($298 \text{ }^\circ\text{K}$).

В результате расчётов при повышении температур на $60 \text{ }^\circ\text{C}$ нижний концентрационный предел достигает значения $0,97 \%$, а верхний - $6,7 \%$. Следовательно, транспортировка и хранение гептана на стратегически важных и потенциально опасных объектах недопустимы при его концентрации в пределах $1\% - 7\%$. Разбавление сжиженного газа примерно в 15-20 раз повысит его устойчивость к резко меняющейся температуре и позволит выиграть время при тушении возникшего пожара. Добавление флегматизаторов также снизит пожаровзрывоопасные свойства гептана в газовой или жидкой фазе за счёт снижения чувствительности самого горючего вещества к внешним воздействиям (искре, трению, нагреванию, удару и т.п.). В случае невозможности выполнения двух вышеописанных условий, требуется оснастить место дислокации горючего вещества холодильным оборудованием.

Следует отметить, что надёжным современным материалом ёмкости для горючего вещества являются сплавы титана, которые имеют упругие, прочные свойства, низкий коэффициент термического расширения (как фактора возможной разгерметизации ёмкости), высокие огнеупорные и огнестойкие свойства. Особенно эффективными оказались свойства сплавов на основе соединений титана с никелем, алюминием и ниобием (соответственно - TiNi, TiAl и TiNb). Температура плавления таких материалов выше $900 \text{ }^\circ\text{C}$, что позволит сохранить в относительной безопасности горючее вещество при потенциальных пожарах, которые по большей степени происходят при температуре, не превышающей $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Выводы:

1. При расчёте взрывоопасной зоны и радиуса зоны разрушения взрыва необходимо рассматривать всё помещение в качестве целостной химической системы и принимать его за ноль в трёхмерной системе координат.
2. Безопасная транспортировка пожаровзрывоопасных веществ должна осуществляться с учётом, в первую очередь, нижнего концентрационного предела распространения пламени.
3. Для безопасной транспортировки и хранения пожаровзрывоопасных веществ рекомендовано использовать ёмкости из сплавов с высокими огнеупорными и огнестойкими свойствами.

Список литературы / References

1. Андреев С. Г. Экспериментальные методы физики взрыва и удара / Андреев С. Г., Бойко М. М., Селиванов В. В. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.— 752 с.
2. Троценко А. А. Некоторые аспекты химизма самовосгорания и самовоспламенения / Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: в 2-х ч. Ч. 1 / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2016. – 523 с. (С. 284-288).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andreev S. G. Jeksperimental'nye metody fiziki vzryva i udara [Experimental methods of physics of explosion and shock] / Andreev S.G., Bojko M.M., Selivanov V.V.— M.: FIZMATLIT, 2013.— 752 с. [In Russian]
2. Trocenko A. A. Nekotorye aspekty himizma samovosgoranija i samovosplamenenija [Some aspects of the chemistry of fire and ignition] / Sovremennye tehnologii obespechenija grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij [Modern technologies ensure civil defence and elimination of consequences of emergency situations]: v 2-h ch. Ch. 1 / FGBOU VO Voronezhskij institut GPS MChS Rossii. – Voronezh, 2016. – 523 s. (S. 284-288). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.017>Шипицын С.П.¹, Кавалеров М.В.²¹ORCID: 0000-0001-7370-4074, магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет; ²доцент, кандидат технических наук,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

УСКОРЕНИЕ РАБОТЫ МЕТОДА ВИОЛЫ-ДЖОНСА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ**Аннотация**

Среди алгоритмов обнаружения объектов в изображениях наиболее популярным методом является метод Виолы-Джонса, реализованный в библиотеке OpenCV. Тем не менее, как и в других детекторах, основанных на принципе окна сканирования, количество требуемых вычислений увеличивается с размером обработанного изображения, что снижает эффективность системы распознавания в реальном времени, особенно в видеопоследовательности. В этой статье авторы предлагают простой подход - исключение некоторых областей кадра в зависимости от проработки предыдущих, чтобы увеличить скорость. Эффективность предлагаемого подхода была экспериментально подтверждена на методе Виолы-Джонса и увеличивается с увеличением общей точности системы.

Ключевые слова: распознавание образов, метод Виолы-Джонса, видеопоследовательность.

Shipitsin S.P.¹, Kavalеров M.V.²¹ORCID: 0000-0001-7370-4074, Graduate student, Perm National Research Polytechnic University,²Associate professor, PhD in Engineering, Perm National Research Polytechnic University**ACCELERATING THE OPERATION OF THE VIOLA-JONES METHOD FOR OBJECTS RECOGNITION IN VIDEO SEQUENCES****Abstract**

Among the algorithms for object detection in images, the most popular is the Viola-Jones method implemented in the OpenCV library. However, as in other detectors based on the principle of scanning window, the number of required calculations increases with the size of the processed image, which reduces the efficiency of the real-time recognition system, especially in case of a video sequence. In this paper, the authors propose a simple approach – to exclude the certain areas of the frame, depending on the previous one, in order to increase the speed of processing. The effectiveness of the proposed approach was experimentally confirmed by the Viola-Jones method and increases with increasing of overall system accuracy.

Keywords: pattern recognition, Viola-Jones method, video sequence.

В современном мире всё более широкое применение находят системы распознавания образов, в частности, визуальных. Чрезвычайно высокая востребованность подобных систем обусловила необходимость как повышения качества распознавания с позиции уменьшения процента ошибок, так и минимизации требуемых вычислительных ресурсов. Предложенный в 2001 году метод Виолы-Джонса [1] благодаря своей относительно высокой точности и быстродействию завоевал популярность среди исследователей и разработчиков. В течение последних лет был предложен ряд алгоритмов, расширяющих возможности данного метода, однако, по мнению авторов, потенциал улучшения ещё не исчерпан. В соответствии с этим предположением была поставлена задача - разработать алгоритм, увеличивающий быстродействие распознавания образов методом Виолы-Джонса на видеопоследовательностях.

Как известно, работа оригинального метода базируется на принципе сканирующего окна: изображение сканируется окном поиска переменного масштаба, и к каждому положению окна применяется классификатор. Окно поиска перемещается по изображению с определённым шагом, и, чем этот шаг меньше, тем выше точность распознавания. Соответственно, чем выше разрешение исходного изображения, тем больше вычислений требуется произвести. Вместе с тем, повышение разрешения изображения выгодно, поскольку позволяет распознавать мелкие объекты.

Исследователи в своих работах предлагают различные способы ускорить алгоритм [2, С. 481-482]. Было предложено несколько аппаратных реализаций [3], [4], в том числе на ПЛИС [5], [6], но за счёт своей специфики такие решения требуют высоких единовременных затрат и являются недостаточно гибкими для адаптации к другим условиям эксплуатации. Реализации на GPU [7], [8], хоть и достаточно эффективны, влекут за собой высокие накладные расходы и не могут быть применены во встраиваемых системах. Метод, предложенный в работе [9], предполагает сканирование сцены в поисках регионов-кандидатов и в связи с этим имеет существенный недостаток – необходимо точно знать, сколько объектов находится на изображении. Метод визуального поиска, представленный в работе [10], даёт довольно существенное ускорение, однако применялся только к одиночным объектам, и неясно, как он будет работать на множественных. Адаптивное изменение шага движения сканирующего окна даёт ускорение до двух раз, но предназначен для относительно однородных изображений и на зашумлённых данных неэффективен. Большинство этих способов работают как со статическими изображениями, так и с видеопоследовательностями.

В рамках настоящей статьи авторы предлагают использовать для уменьшения объёма вычислений характерную особенность видеопоследовательностей – незначительные отличия соседних кадров. Так, например, если на некотором кадре последовательности классификатор распознаёт требуемый объект, в следующих кадрах этот объект не нужно распознавать повторно, достаточно только отслеживать его перемещения. Значит, область кадра, которую занимает этот объект, можно с некоторыми допущениями полностью исключить из обработки классификатором. Подобный подход позволит, с одной стороны, уменьшить объём вычислений, необходимых для обработки одного кадра, а с другой, сохранить точность распознавания, оставляя сам кадр в неизменном виде.

В общем виде алгоритм достаточно прост и выглядит следующим образом:

1. Имеется исходное изображение, представленное в виде матрицы $M \times N$ (рис. 1);
2. В зависимости от требований конкретного приложения формируется бинарная маска в виде матрицы того же размера (рис. 2), которая показывает, какие области изображения требуется обрабатывать, а какие - нет;
3. В основном цикле классификатора проверяется условие нахождения ключевых точек сканирующего окна (рис. 3) внутри маски — если определённое их количество приходится на область, не подлежащую обработке, алгоритм сразу переходит к следующему шагу. В противном случае производится стандартная обработка классификатором.
4. Распознанные на данном кадре объекты в совокупности с распознанными ранее и исключёнными из обработки формируют общий выходной вектор.



Рис. 1 – Исходное изображение

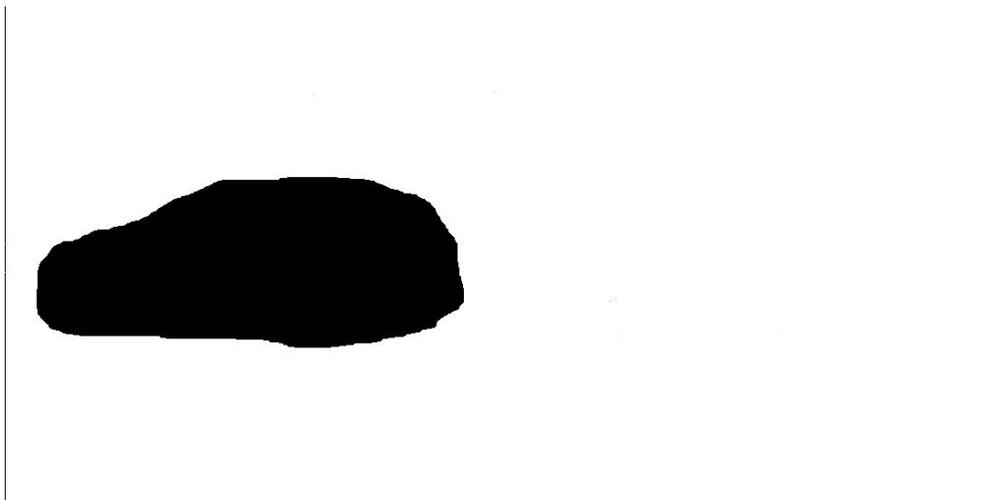


Рис. 2 – Условная маска после распознавания левого автомобиля

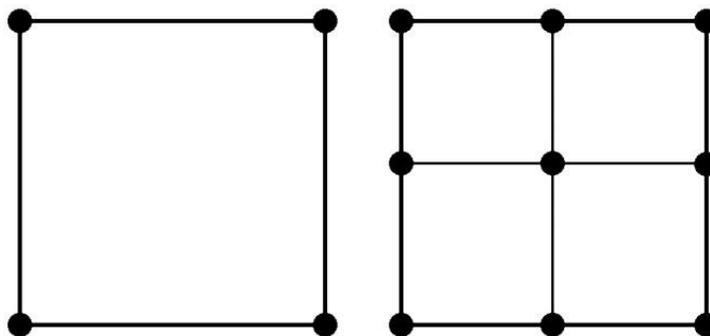


Рис. 3 – Варианты расположения ключевых точек сканирующего окна

В зависимости от величины и количества исключённых областей такой подход способен значительно снизить требуемое для полной обработки кадра количество вычислений. Следует, однако, учитывать, что при формировании маски неизбежно возникают накладные расходы, поэтому такой подход применим не во всех случаях, и для конкретного приложения может потребоваться дополнительное исследование эффективности. Так, например, представляется нецелесообразным формирование маски точно по контуру распознанного объекта в связи с большой

сложностью; вместо этого, пожертвовав незначительной частью точности, можно просто использовать параметры сканирующего окна, в котором был распознан этот объект.

На основе описанного алгоритма была разработана экспериментальная модификация стандартной функции библиотеки OpenCV, подразумевающая использование простой бинарной маски обработки областей. Использовалась база изображений автомобилей Иллинойского университета в Урбане-Шампейне.

В качестве основной использовалась следующая реализация: стандартный шаг сканирующего окна OpenCV, коэффициент масштабирования $s = 1,1$, минимальный размер сканирующего окна 10×10 пикселей, размеры исходных изображений - 300×150 , 600×300 , 900×450 пикселей. Исследовалось только изменение скорости распознавания на простых масках, так как адекватность формирования маски и, соответственно, изменения эффективности распознавания сильно зависит от конкретного приложения.

Зависимости времени обработки от размеров изображения и относительной величины отбрасываемой области показаны на рис. 4. Здесь представлены четыре зависимости: время обработки изображения без каких-либо преобразований; время обработки с применением маски, занимающей четверть изображения; время обработки с применением маски, занимающей половину изображения; время обработки с применением маски, занимающей всё изображение целиком. Последняя зависимость является контрольной и показывает, насколько увеличиваются накладные расходы на работу с маской при использовании тестового кода, позволяя оценить его эффективность.

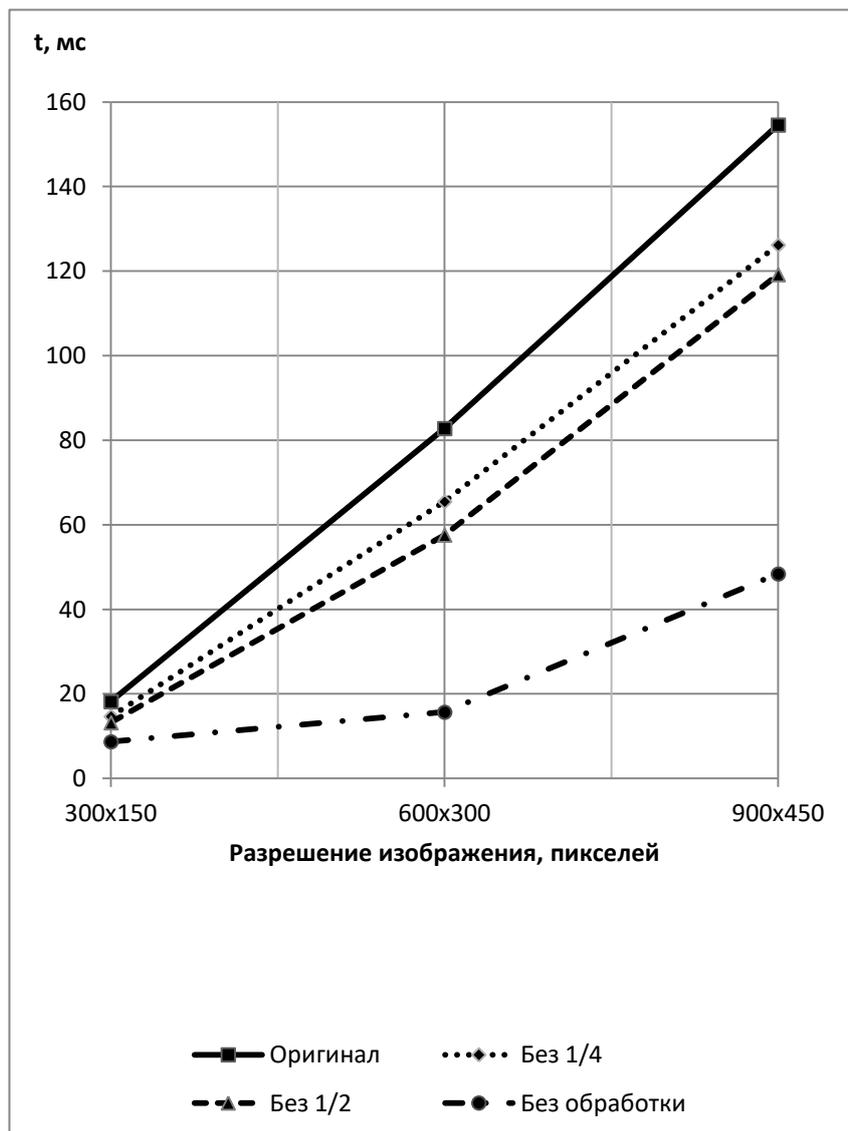


Рис. 4 – Зависимости времени обработки от размеров изображения и относительной величины отбрасываемой области

Как видно из представленного графика, время обработки действительно уменьшается при использовании предложенного подхода отбрасывания областей обработки. Между тем, уменьшение это достаточно незначительное; кроме того, различие времени обработки масок $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ минимально, а контрольное время «холостой» работы классификатора растёт быстрее, чем время полной обработки. Совокупность этих факторов позволяет судить о том, что тестовый код недостаточно эффективен на фоне стандартного кода OpenCV и требует доработки для практического применения. Так, дополнительный выигрыш времени на разрешении 900×450 может составить 20 мс и больше, если довести зависимость времени обработки маски от размера изображения до линейной, как это удалось сделать для времени стандартной обработки изображения. Между тем, тестирование показало, что сам принцип

вполне работоспособен, и чем больше размер исходного изображения, тем больший выигрыш в скорости можно получить.

Следует отметить, что использованные для эксперимента параметры (коэффициент масштабирования $s = 1,1$, минимальный размер сканирующего окна 10×10 пикселей) подходят для распознавания достаточно крупных объектов, и относительный объём вычислений здесь невелик. Для распознавания объектов небольшого размера целесообразно уменьшать коэффициент масштабирования и минимальный размер сканирующего окна, но при уменьшении этих параметров до 1,05 и 5×5 соответственно время работы классификатора увеличивается примерно в четыре раза. В таких условиях применение предложенного подхода может уже очень существенно снизить время вычислений, если не в относительной, то в абсолютной величине.

В рамках настоящей работы был предложен простой алгоритм-расширение метода Виолы-Джонса на видеопоследовательности, с помощью которого можно значительно снизить количество вычислений, требуемых для обработки одного кадра. Посредством эксперимента показано снижение времени работы классификатора при использовании предложенного подхода.

Тем не менее, несмотря на преимущества, ограничения такого подхода очевидны и не позволят применять его повсеместно, однако в ряде приложений он может серьёзно повысить эффективность функционирования системы.

Список литературы / References

1. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features //Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on. – IEEE, 2001. – V. 1. – P. I-I.
2. Castrillón M. et al. A comparison of face and facial feature detectors based on the Viola–Jones general object detection framework //Machine Vision and Applications. – 2011. – V. 22. – №. 3. – P. 481-494.
3. Cho J. et al. Parallelized architecture of multiple classifiers for face detection //Application-specific Systems, Architectures and Processors, 2009. ASAP 2009. 20th IEEE International Conference on. – IEEE, 2009. – P. 75-82.
4. Hiromoto M., Sugano H., Miyamoto R. Partially parallel architecture for adaboost-based detection with haar-like features //IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2009. – V. 19. – №. 1. – P. 41-52.
5. Brousseau B., Rose J. An energy-efficient, fast FPGA hardware architecture for OpenCV-compatible object detection //Field-Programmable Technology (FPT), 2012 International Conference on. – IEEE, 2012. – P. 166-173.
6. Acasandrei L., Barriga A. FPGA implementation of an embedded face detection system based on LEON3 //Proceedings of the International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition (ICCV). – The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2012. – P. 1.
7. Hefenbrock D. et al. Accelerating Viola-Jones face detection to FPGA-level using GPUs //Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM), 2010 18th IEEE Annual International Symposium on. – IEEE, 2010. – P. 11-18.
8. Oro D. et al. Real-time GPU-based face detection in HD video sequences //Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2011 IEEE International Conference on. – IEEE, 2011. – P. 530-537.
9. Lampert C. H., Blaschko M. B., Hofmann T. Beyond sliding windows: Object localization by efficient subwindow search //Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on. – IEEE, 2008. – P. 1-8.
10. Butko N. J., Movellan J. R. Optimal scanning for faster object detection //Computer vision and pattern recognition, 2009. cvpr 2009. ieee conference on. – IEEE, 2009. – P. 2751-2758.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.045>Янченко И.В.¹, Ивашина А.В.², Скуратенко Е.Н.³, Булгаков А.С.⁴¹ORCID: 0000-0002-2012-3740, кандидат педагогических наук, доцент кафедры прикладной информатики, математики и естественнонаучных дисциплин, ХТИ – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»²кандидат технических наук, директор, Государственное казенное учреждение здравоохранения Республики Хакасия «Республиканский медицинский информационно-аналитический центр»³кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, математики и естественнонаучных дисциплин, ХТИ – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»⁴студент, Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦИЙ****Аннотация**

Информационные технологии в медицине значительно расширили ее возможности. Ожидаемые результаты применения телемедицинских систем, включающих проведение видеоконсультаций, видеоконференций, телеобучения и телехирургии связываются как с повышением доступности и качества медицинского обслуживания так и с отсутствием необходимости значительных дополнительных вложений финансовых ресурсов. Анализ применяемых средств видеоконференцсвязи в сфере здравоохранения Республики Хакасия и её подсистемы позволил сделать вывод, что существует потребность в автоматизированной информационной системе, в виде календаря, предоставляющего удобный функционал для планирования и отчетности проводимых видеоконференций. В статье предлагается к рассмотрению разработанная автоматизированная информационная система «Календарь ВКС», позволяющая упростить процесс планирования видеоконференций и анализа прошедших.

Ключевые слова: медицина, видеоконференция, телемедицинская система, календарь, веб-приложение, разграничение доступа, пользователь, база данных, дерево программных модулей, защита соединения.

Yanchenko I.V.¹, Ivashyna A.V.², Skuratenko E.N.³, Bulgakov A.S.⁴¹ORCID: 0000-0002-2012-3740, PhD in Pedagogy Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Mathematics and Science, Khakassia Technical Institute – Branch of FSAEI “Siberian Federal University”²PhD in Engineering, Director, State Public Health Institution of the Republic of Khakassia “Republican Medical Information and Analytical Centre”³PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Applied Informatics, Mathematics and Science, Khakassia Technical Institute – Branch of FSAEI “Siberian Federal University”⁴Student, Khakassia Technical Institute – Branch of FSAEI “Siberian Federal University”**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF VIDEOCONFERENCE PLANNING****Abstract**

Information technology in medicine has significantly expanded its capabilities. The expected results of the use of telemedicine systems, including video conferencing, tele-education and tele-surgery, are linked both to the increase in accessibility and quality of medical care and to the lack of the necessity for significant additional investments of financial resources. The analysis of videoconferencing facilities in the healthcare system of the Republic of Khakassia and its subsystems enabled us to conclude that there is a need for an automated information system in the form of a calendar that provides convenient functionality for planning and reporting of videoconferences. The article proposes to consider the developed automated information system “VCS Calendar,” which allows simplifying the process of videoconferences planning and analysis of the previous ones.

Keywords: medicine, videoconference, telemedicine system, calendar, web application, access control, user, database, program module tree, connection protection.

В рамках приоритетного проекта «Электронное здравоохранение», исполняемого до 2025 года, реализована и функционирует Телемедицинская система Республики Хакасия, а также одна из её подсистем – система видеоконференцсвязи. Основными функциями данной системы являются проведение: видеоконсультаций; видеоконференций; телеобучения; телехирургии. Ожидаемые результаты применения телемедицинской системы: уменьшение дефицита врачей-диагностов необходимой квалификации; оперативная помощь и консультации в экстренных случаях; обслуживание пациентов, находящихся в отдалении; уменьшение вероятности врачебных ошибок при постановке диагнозов; оптимизация расходов на здравоохранение с одновременным улучшением его качества.

В статье "Обоснование разработки автоматизированной информационной системы планирования видеоконференцсвязи Минздрава Хакасии" проведен анализ процесса планирования видеоконференций, по итогу которого сделан вывод, что существует потребность в автоматизированной информационной системе, в виде календаря, предоставляющего удобный функционал для планирования и отчетности проводимых видеоконференций.

Средства разработки: языки веб-программирования PHP и JavaScript, система управления базами данных MySQL, сервер Apache в составе пакета для веб-разработки OpenServer. Приоритетными принципами выбора средств являлись их соответствие современному развитию информационных технологий и отсутствие необходимости дополнительных вложений финансовых ресурсов (например, на закупку дополнительного оборудования).

Для разработки автоматизированной информационной системы (АИС) планирования видеоконференций создана диаграмма потоков данных DFD (Data Flow Diagrams). На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма, содержащая общее описание системы.



Рис. 1 – Контекстная диаграмма системы

На контекстной диаграмме отображен основной процесс – планирование видеоконференций, а также внешние сущности, которые взаимодействуют с системой:

- директор "РМИАЦ" получает отчеты о планируемых к проведению видеоконференциях по указанным им критериям;
- сотрудники "РМИАЦ" обслуживают систему, вносят в неё данные о медицинских организациях, а также прочую справочную информацию, подают заявки на проведение и получают информацию о уже запланированных видеоконференциях, сущность включает в себя администратора системы, имеющего полный доступ к ресурсам;
- организаторы подают в систему заявки на проведение видеоконференций и получают обратный ответ от администратора системы об утверждении или отклонении заявки;
- участники передают в систему контактные данные, получают оповещения и информацию о запланированных видеоконференциях.

Декомпозиция диаграммы системы представлена на рисунке 2.



Рис. 2 – Диаграмма декомпозиции АИС планирования видеоконференций

На диаграмме отражены следующие процессы: регистрация пользователей (сбор контактных данных пользователей системы); формирование справочников (внесение в систему сведений о медицинских организациях, типах и статусах ВКС); формирование заявок на ВКС (основная деятельность организаторов, формирование заявок с информацией о планируемых видеоконференциях); утверждение заявок на ВКС (одна из основных задач администратора системы – просмотр и утверждение или отклонение заявок на видеоконференции); оповещение участников (рассылка уведомлений о проведении утвержденной администратором видеоконференции на электронный адрес записанных в неё организаций-участников); формирование отчетов (отбор хранящихся в системе видеоконференций по выбранным критериям).

Все сведения записываются в следующие хранилища данных: пользователи (регистрационные данные пользователей системы, включая контактные); организации (сведения о медицинских организациях); типы ВКС (сведения о возможных типах видеоконференцсвязи); статусы ВКС (сведения о возможных статусах заявки на ВКС); конференции (данные о видеоконференциях).

В результате построения диаграммы потоков данных, представленной на рисунках 1 и 2, выявлены накопители, на основе которых создана база данных системы планирования видеоконференций средствами программного средства phpMyAdmin.

В АИС планирования видеоконференций предусмотрено разграничение прав доступа для пользователей системы. Выделяется три классических вида учетных записей: администратор, организатор и участник. Роль пользователя определяется специальной меткой в профиле, значения ролей хранятся в базе данных в таблице "status".

При входе пользователь видит форму авторизации, на которой необходимо ввести логин и пароль. После входа в систему, пользователю предоставляется календарь на текущий месяц с отображением уже запланированных видеоконференций (рисунок 3).

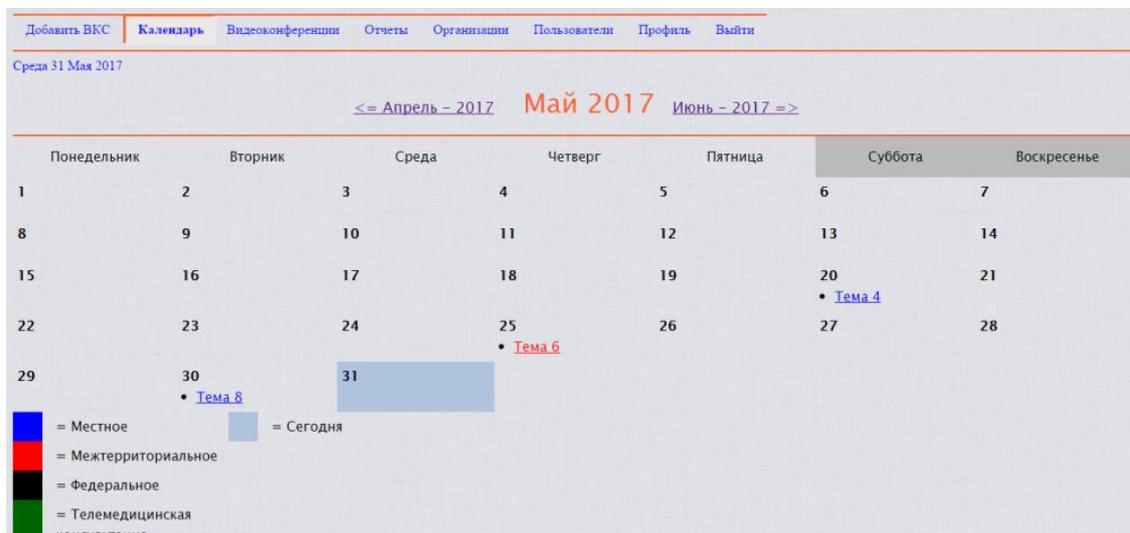


Рис. 3 – Скриншот фрагмента главной страницы АИС "Календарь"

Цвета указывают на тип конференции. Детализированную информацию о видеоконференции можно просмотреть, выбрав её непосредственно на календаре.

В верхней части страницы находится панель навигации по разделам системы. В учетной записи администратора доступны следующие разделы системы: Добавить ВКС (форма добавления заявок на видеоконференции), Календарь (главная страница системы), Видеоконференции (перечень хранящихся в системе конференций), Отчеты (страница формирования отчетности), Организации (справочник организаций), Пользователи (перечень пользователей системы), Профиль (сведения о вашем профиле), Выйти (выход из системы).

Особенностью заявки на федеральное селекторное совещание является отсутствие необходимости выбора абонентских пунктов и участников, а заявки на телемедицинскую консультацию – отсутствие поля для адреса электронной почты. Так, при выборе этого вида селекторного совещания в соответствующем поле, выбор участников и абонентских пунктов пропадает без перезагрузки страницы (рисунок 4).

Рис.4 – Страница "Добавление ВКС" системы

Раздел "Видеоконференции" содержит подразделы: "Планируемые", "Ожидающие подтверждения", "Прошедшие", "Отклоненные", которые ссылаются на соответствующие разделы со списками доступных видеоконференций.

Предусмотрены возможности скачать прикрепленный к заявке документ (на рис. 5 «Письмо-уведомление.pdf») и просмотреть профиль пользователя, добавившего заявку кликнув по имени пользователя на рис. 5 (admin).

Рис. 5 – Просмотр деталей видеоконференции системы

Раздел "Организации" содержит перечень всех медицинских организаций Республики Хакасия в табличной форме. Нажав на кнопку "Организации с терминалами ВКС", пользователь увидит перечень медицинских организаций, имеющих абонентский пункт видеоконференцсвязи. Есть возможность просмотреть более подробные сведения об организации или редактировать её, нажав на соответствующую кнопку напротив записи в справочнике. Администратор имеет возможность добавить новую организацию.

Страница "Пользователи" представляет собой перечень всех пользователей системы планирования видеоконференций в табличном виде. Для просмотра более подробной информации о пользователе, требуется выбрать его логин в списке. Администратор системы имеет возможность удалять пользователей кликом соответствующей кнопки напротив пользователя (рис. 6).

Пользователи		
Логин	Роль	Действия
org2	Организатор	Удалить
org	Организатор	Удалить
member	Участник	Удалить

Рис. 6 – Страница "Пользователи" системы

Страница "Профиль" содержит основные сведения о пользователе системы с возможностью редактирования. В учетной записи организатора вместо раздела "Видеоконференции" имеется раздел "Мои ВКС", в котором в табличной форме представлен перечень добавленных этим пользователем конференций, с указанием основных сведений: тема, дата, тип конференции, статус. Кликнув на "Просмотр", он также перейдет к просмотру более подробных сведений о видеоконференции. Вверху раздела есть переход к подтвержденным видеоконференциям.

На странице "Подтвержденные видеоконференции" аналогичным образом представлен список подтвержденных конференций, добавленных данным пользователем. В поле документ есть возможность прикрепить к видеоконференции письмо-уведомление. Данная функция возможна только после подтверждения заявки на ВКС администратором (рис. 7)

Назад			
Подтвержденные видеоконференции			
Тема	Дата	Тип	Документ
Тема 8	30 Мая 2017	Местное селекторное совещание	<input type="button" value="Выберите файл"/> <input type="button" value="Файл не выбран"/> <input type="button" value="Прикрепить"/>

Рис.7 – Страница "Подтвержденные видеоконференции" в системе

Результатная информация системы планирования видеоконференций представляет собой отчет с графическим отображением в виде таблицы. В системе предусмотрен один вид отчета – отчет о проводимых видеоконференциях за указанный пользователем период. На рисунке 8 представлены результаты контрольных примеров проводимых видеоконференций.

Добавить ВКС				Календарь	Видеоконференции	Отчеты	Организации	Пользователи	Профиль	Выйти
Вторник 30 Мая 2017										
Отчет о видеоконференциях										
Период с <input type="text" value="Январь"/> 2017 по <input type="text" value="Июнь"/> 2017 Тип конференции: <input type="text" value="Все"/> Статус: <input type="text" value="Все"/>										
<input type="button" value="Сформировать"/>										
Тема	Дата	Тип	Действия							
Тема 1	за 13 Апреля 2017	Федеральное селекторное совещание	<input type="button" value="Просмотр"/>							
Тема 2	за 14 Апреля 2017	Телемедицинская консультация	<input type="button" value="Просмотр"/>							
Тема 3	за 18 Мая 2017	Межтерриториальное селекторное совещание	<input type="button" value="Просмотр"/>							
Тема 4	за 20 Мая 2017	Местное селекторное совещание	<input type="button" value="Просмотр"/>							
Тема 5	за 26 Мая 2017	Местное селекторное совещание	<input type="button" value="Просмотр"/>							
Тема 6	за 25 Мая 2017	Межтерриториальное селекторное совещание	<input type="button" value="Просмотр"/>							
Тема 7	за 1 Июня 2017	Местное селекторное совещание	<input type="button" value="Просмотр"/>							

Рис. 8 – Отчет обо всех видеоконференциях за указанный период

Данный отчет организован в виде фильтров к хранящимся в базе данных системы сведениям. Помимо выбора периода отчетности, предусмотрена возможность указать тип и статус видеоконференций, которые администратор системы желает видеть в отчете.

На основе полученных выше результатов, построено дерево программных модулей, отражающее структурную схему АИС планирования видеоконференций Минздрава Хакасии.

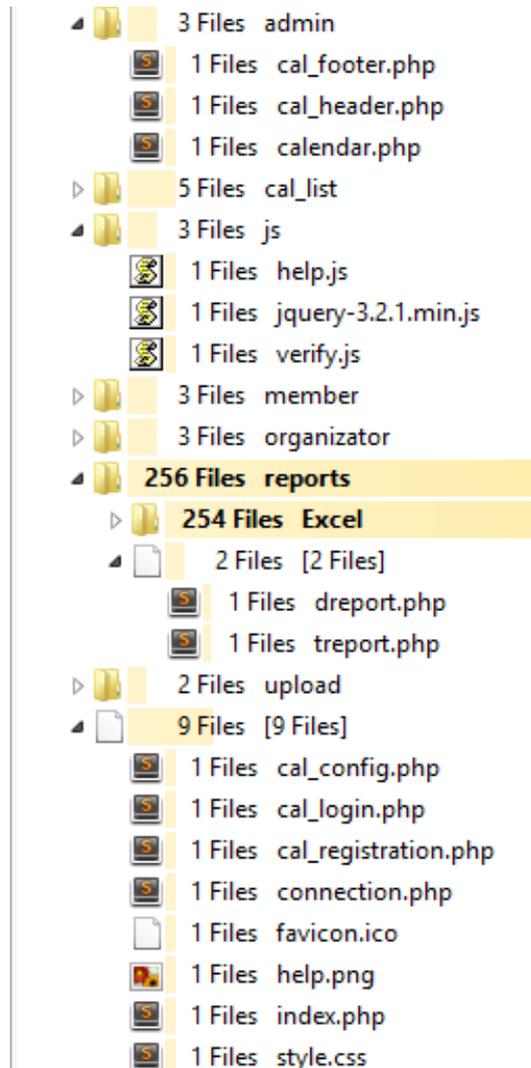


Рис.8 – Дерево программных модулей

В корневом каталоге системы находятся: файл-индекс, который является точкой входа в систему (index.php), таблица стилей (style.css); иконка приложения (favicon.ico); файл конфигурации системы (cal_config.php), в котором происходит подключение к базе данных, указываются базовые параметры календаря; модуль авторизации (cal_login.php), который проверяет логин и пароль пользователей и переводит их в программный модуль электронного календаря, в соответствии с их правами в данной системе; модуль регистрации новых пользователей (cal_registration.php); каскадная таблица стилей (style.css), содержащая описание внешнего вида системы.

Подкаталоги admin, organizator и member содержат следующие модули, которые различаются в зависимости от роли пользователя в системе (администратор, организатор видеоконференций, участник):

- cal_header.php – прописывает код верстки начала страницы, подключает таблицу стилей, библиотеку jQuery, содержит файлы скриптов, написанных на языке JavaScript;
- calendar.php – основной модуль системы, отвечает за функции ведения календаря, редактирования учетных записей пользователей, процедуры обработки данных о ВКС, формы добавления, просмотра, редактирования, удаления видеоконференций системы и справочников медицинских организаций, формирование отчетов;
- cal_footer.php – содержит код верстки подвала страницы.

Подкаталог cal_list содержит справочные файлы, используемые в служебной функции ведения календаря и содержащие текстовые представления дней недели, месяцев в различных падежных формах.

Подкаталог js содержит библиотеку jQuery, upload хранит документы, прикрепленные к заявке на ВКС.

Автоматизированная информационная система планирования видеоконференций Минздрава Хакасии в виде электронного календаря представляет собой веб-приложение в связи с чем требования к аппаратному обеспечению минимальны. Для работы системы на рабочем месте должен быть доступ к сети Интернет и наличие установленного актуального браузера. Таким образом, требования к разработанной АИС соответствуют требованиям большинства веб-обозревателей, например, процессор Intel Pentium 4/Athlon 64 или более поздней версии с поддержкой SSE2, свободное место на диске: 350 Мб, оперативная память: 512 Мб.

Одной из основных угроз информационной безопасности разработанной системы является несанкционированный доступ к персональным данным пользователей, а также к полному функционалу системы.

Так как разработанная АИС планирования видеоконференций будет находиться на веб-сервере Министерства здравоохранения Республики Хакасия, то защита обрабатываемых персональных данных будет обеспечиваться наличием защищенного соединения HTTPS на веб-сервере Министерства. Кроме того, в системе предусмотрено хэширование паролей пользователей. Применение хэширующего алгоритма к пользовательским паролям перед

сохранением их в базе данных делает невозможным разгадывание оригинального пароля для атакующего базу данных, в то же время сохраняя возможность сравнения полученного хэша с оригинальным паролем. Создание хэша в разработанной системе выполняется с помощью функции нового "API хэширования паролей" `password_hash()`.

Таким образом в рамках разработки проекта создания электронного календаря АИС "Календарь ВКС" на основе накопителей построенной диаграммы потоков данных сформированы таблицы базы данных системы, разработанной в СУБД MySQL (необходимо 8 таблиц) и разработан программный код системы на языке PHP с использованием языка гипертекстовой разметки HTML, каскадной таблицы стилей CSS, а также языка JavaScript и его библиотеки JQuery.

Созданный продукт предоставляет возможности создания заявок на видеоконференции различных видов, изменения их статуса, создания, редактирования и просмотра сведений о медицинских организациях.

Организовано разграничение доступа пользователей, а также их регистрация и авторизация. Обеспечена возможность рассылки уведомлений пользователям на адрес электронной почты и возможность создания отчета о проводимых видеоконференциях за период в виде фильтров по различным критериям.

Созданная АИС планирования видеоконференций Минздрава Хакасии позволит сократить временные затраты на согласование времени и места проведения ВКС, оповещение участников, формирование заявок, а также снизить число ошибок при планировании видеоконференций.

Список литературы/Reference

1. Паспорт приоритетного проекта «Совершенствование процессов организации медицинской помощи на основе внедрения информационных технологий» : Приложение к протоколу президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам от 25 октября 2016 г. № 9. – URL: <http://government.ru/media/files/9ES7jBWMiMRqONdJYVLPTyoVKYwgr4Fk.pdf> (дата обращения: 06.06.2017).

2. Российская Федерация. Законы. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации : федер. закон : [принят Гос. Думой 1 ноября 2011 г.: одобр. Советом Федерации 9 ноября 2011 г.]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895 (дата обращения: 06.06.2017).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Passport prioritetnogo proekta «Sovershenstvovaniye protsessov organizatsii meditsinskoj pomoshchi na osnove vnedreniya informatsionnykh tekhnologiy» [Passport of the priority project “Improving Processes of Medical Care Organization Based on the Introduction of Information Technology”]: Annex to the Protocol of the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation on Strategic Development and Priority Projects of October 25, 2016 No. 9. URL: <http://government.ru/media/files/9ES7jBWMiMRqONdJYVLPTyoVKYwgr4Fk.pdf> (accessed date: 06/06/2017) [In Russian]

2. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Ob osnovakh okhrany zdorovya grazhdan v Rossiyskoy Federatsii [Russian Federation. Laws. On the Fundamentals of Protecting the Health of Citizens in the Russian Federation]: Federal Law: [adopted by the State Duma on November 1, 2011: Approved by the Council of Federation on November 9, 2011]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895 (accessed date: 06/06/2017). [In Russian]

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICSDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.030>Бурмистров А.В.¹, Новиков А.В.²¹Кандидат физико-математических наук,Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск,
Новосибирский государственный университет²Кандидат физико-математических наук, ООО Мой Капитал, Новосибирск**СТОХАСТИЧЕСКАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕНЫ****Аннотация**

Рассмотрена задача численной оценки функционалов от решения системы нелинейных уравнений типа Больцмана, которая возникает в стохастической кинетической модели формирования цены актива. Актуальность изучения данного вопроса связана с постоянным увеличением объема высокочастотной торговли на финансовых рынках. Это приводит к необходимости улучшения торговых алгоритмов, не только учитывая в них случайность параметров ценового ряда таких как коэффициент роста и волатильность, но также принимая во внимание поведение трейдеров во время торговой сессии. Для исходной вероятностной модели цены авторами построено интегральное уравнение второго рода, связанное с линейной многочастичной моделью динамики поведения множества трейдеров (продавцов и покупателей) на бирже. Для оценки функционалов от решения полученного уравнения предложено использовать аппарат весовых алгоритмов метода Монте-Карло. Разрабатываемые статистические алгоритмы будут применены для построения прогноза цены внутри торговой сессии в режиме реального времени. Комбинация краткосрочного прогноза на основе кинетической модели и долгосрочного прогноза ценовых рядов на основе стохастической динамической модели будет математической основой адаптируемой интеллектуальной системы. Эта система на основе исторических и актуальных рыночных данных будет в автоматическом режиме строить персональные финансовых рекомендации.

Ключевые слова: уравнение типа Больцмана, метод Монте-Карло, биржевой стакан котировок, частота сделок, интеллектуальная система.

Burmistrov A.V.¹, Novikov A.V.²¹PhD in Physics and Mathematics, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS,
Novosibirsk State University²PhD in Physics and Mathematics, Moi Kapital Ltd., Novosibirsk**STOCHASTIC KINETIC MODEL OF PRICE FORMATION****Abstract**

The article considers the problem of numerical estimation of functional from the solution of a system of non-linear Boltzmann type equations occurring in the stochastic kinetic model of asset price formation. This topic is relevant due to the constant increase in the volume of high-frequency trading at financial markets. This leads to the necessity to improve trading algorithms, taking into account the stochasticity of the price series parameters such as drift and volatility, as well as the behavior of traders during the trading session. The authors proposed an integral equation of the second kind associated with the linear multi-particle model of the behavior dynamics of a set of traders (vendors and buyers) at the exchange for the initial probabilistic price model. To estimate the functionals from the solution of the obtained equation, it is proposed to use the apparatus of the weighted Monte Carlo algorithms. Developed statistical algorithms will be applied to build the price forecast inside the trading session in real time mode. The combination of the short-term forecast based on the kinetic model and the long-term forecast of price series based on the stochastic dynamic model will be the mathematical basis of the adaptive intellectual system. This system, based on historical and current market data, will automatically create personal financial recommendations.

Ключевые слова: Boltzmann-type equation, Monte Carlo method, stock quotes order book, transaction rate, intellectual system.

Введение

Настоящая работа посвящена изучению и моделированию ценового ряда в рамках стохастической кинетической модели [1], [5], [13] с помощью статистических методов. Актуальность изучения данного вопроса связана с постоянным увеличением объема высокочастотной торговли на финансовых рынках [12]. Это приводит к необходимости улучшения торговых алгоритмов, учитывая поведение трейдеров во время торговой сессии.

Для численной оценки функционалов от решения исходной системы дифференциальных уравнений предложено перейти к интегральному уравнению второго рода и моделированию связанных с ним цепей Маркова. Это позволит применить мощный аппарат весовых методов Монте-Карло и даст возможность параметрического анализа, а также уменьшению трудоемкости алгоритмов с помощью ценностного моделирования. Результаты исследований, для которых данная статья является вводной, в целом повлияют на развитие статистических методов для решения задач, использующих моделирование динамики многочастичных систем (в таких областях как газовая динамика, астрофизика, авто и сетевой трафик и др.).

Кроме научной ценности у исследований есть также и прикладной аспект. Разрабатываемые статистические алгоритмы будут применены в рамках адаптируемой интеллектуальной системы (АИС) для построения краткосрочного прогноза цены внутри торговой сессии в режиме реального времени [8], [9]. АИС на основе исторических и актуальных рыночных данных в автоматическом режиме будет строить индивидуальные финансовые рекомендации для пользователей мобильных приложений. Заметим, что долгосрочный прогноз ценовых рядов в системе будет осуществлен на основе стохастической динамической модели [7], [10], которая учитывает случайную

природу изменения коэффициентов роста и волатильности ценового ряда. Это значительно улучшило адекватность модельной цены по отношению к историческим данным в сравнении с классической моделью цены, в которой данные коэффициенты предполагались постоянными, а для моделирования цены использовалось одно стохастическое дифференциальное уравнение.

Стохастическая кинетическая модель

В стохастической кинетической модели цена изменяется вследствие случайных флуктуаций, моделируемых, например, как стандартное броуновское движение с постоянной волатильностью σ , а также в результате дискретных сделок между двумя группами: продавцами и покупателями. Данные группы в каждый момент времени t описываются двумя положительными плотностями: плотностью покупателей $f(x, t)$ и плотностью продавцов $g(x, t)$, здесь x – цена покупки или цена продажи (для покупателя и продавца, соответственно). В момент времени достижения согласия по цене происходит сделка (цену сделки обозначим $r(x, y)$), после чего продавец и покупатель меняются ролями. Поскольку в модели существует внешний параметр «цена транзакции» $a > 0$, то покупатель реально платит $x + a$ и поэтому, став продавцом, он будет просить за товар не менее этой величины. С другой стороны, прибыль продавца равна $x - a$, следовательно, став покупателем, в следующую сделку он не будет платить больше этой величины. Рассматривая сделки как акты кинетических взаимодействий (подобно столкновению молекул в газовой динамике), мы получим модель, в которой изменение во времени плотности покупателей $f(x, t)$ и плотности продавцов $g(x, t)$ описываются следующими дифференциальными уравнениями [13]

$$\begin{aligned} f_t^k(x, t) &= \frac{\sigma^2}{2} f_{xx}^k(x, t) - k f^k(x, t) g^k(x, t) + k f^k(x + a, t) g^k(x + a, t), \\ g_t^k(x, t) &= \frac{\sigma^2}{2} g_{xx}^k(x, t) - k f^k(x, t) g^k(x, t) + k f^k(x - a, t) g^k(x - a, t), \end{aligned}$$

с начальными данными $f^k(x, 0) = f_0(x) \geq 0$ и $g^k(x, 0) = g_0(x) \geq 0$. Здесь k – частота сделок. При стремлении $k \rightarrow \infty$ получаем случай высокочастотной торговли [12], который интересен нам по двум причинам. Во-первых, это основная форма алгоритмической торговли на финансовых рынках и хороший пример для тестирования разрабатываемых моделей и торговых алгоритмов. Во-вторых, при значительном увеличении пользователей нашей системой ожидается также и рост частоты сделок на соответствующих рынках.

При моделировании плотности заменяются на доли продавцов и покупателей, готовых в момент времени t к сделке в некоторой окрестности цены x . При этом покупатель в состоянии x совершит сделку с продавцом в состоянии y с вероятностью, зависящей от их текущих состояний. Вся информация о возможных сделках описывается интегральным ядром $K(x, y, x', y')$ равным числу сделок, в которых покупатели хотят купить товар за цену x и перепродать за цену $x' = r(x, y) - a$, а продавцы хотят продать товар за цену y и купить еще за цену $y' = r(x, y) + a$. В итоге получим систему интегральных уравнений больцмановского типа:

$$\begin{aligned} f_t(x, t) - \frac{\sigma^2}{2} f_{xx}(x, t) &= \int_{R^3} [K(x', y', x, y) f(x', t) g(y', t) - K(x, y, x', y') f(x, t) g(y, t)] dy dx' dy', \\ g_t(x, t) - \frac{\sigma^2}{2} g_{xx}(x, t) &= \int_{R^3} [K(x', y', y, x) f(y', t) g(x', t) - K(y, x, x', y') f(y, t) g(x, t)] dy dx' dy'. \end{aligned}$$

Причем ядро интеграла столкновений из правых частей считается заданным $K(x, y, x', y') = K_0(x, y) \delta(x' - r(x, y) + a) \delta(y' - r(x, y) - a)$, и дальнейший процесс моделирования существенно зависит от вида функций K_0 и r . Простейшими примерами могут служить такие функции:

$$K_0(x, y) = k \delta(x - y), r(x, x) = x, \text{ или } K_0(x, y) = k \mathbf{1}_{\{y \leq x\}}, r(x, y) = \frac{x + y}{2}.$$

В общем случае вид этих функций нужно восстанавливать по историческим данным биржевого стакана котировок [3, 11]. Это является отдельной задачей, решение которой выходит за рамки данной статьи (см., например [16] и обширный список литературы там же).

Использование цепей Маркова

Цель данной работы заключается в построении интегрального уравнения второго рода, которое в дальнейшем позволит применять аппарат статистического моделирования (см., например, [14]) для численной оценки функционалов от решения исходной системы уравнений.

Изменения цен вследствие случайных флуктуаций (моделируемых, например, как броуновское движение с постоянной волатильностью) заведомо учитываются в стохастической динамической модели цены [7], [8], [9], [10]. СДМ в будущем будет использована для комбинации с предлагаемой кинетической моделью на основе расщепления процесса ценообразования на два этапа: непрерывный (динамический: тренд и волатильность) и дискретный (кинетический: сделки между трейдерами). Поэтому в данной статье мы ограничимся рассмотрением второго этапа.

Построение основного интегрального уравнения

Процесс моделирования динамики многочастичной системы из N частиц (в нашем случае – трейдеров двух типов: покупателей и продавцов, при этом $N = N_1 + N_2$, где N_1 – число покупателей, а N_2 – число продавцов) представляет собой однородную цепь Маркова, переходы в которой осуществляются в следствие элементарных парных сделок (взаимодействий, для которых в газовой динамике используется термин *столкновение*). Из интегрального уравнения, описывающего поведение системы частиц, однозначно определяются плотности перехода цепи Маркова из одного состояния в другое (в том числе и распределение времени между сделками в системе).

С целью построения необходимого интегрального уравнения второго рода, введем фазовое пространство Λ цен x_i и индикаторов трейдеров π_i ($\pi_i = 0$, если i -ый трейдер хочет купить актив по цене x_i ; $\pi_i = 1$, если i -ый трейдер хочет продать актив по цене x_i):

$$(X, \Pi) = (x_1, \pi_1, \dots, x_N, \pi_N) \in \Lambda,$$

а также рассмотрим плотность распределения -частичной системы $P(X, \Pi, t)$. Для функции $P(X, \Pi, t)$ можно записать интегральное уравнение типа Каца (см., например, [4])

$$\frac{\partial P}{\partial t}(X, \Pi, t) = \frac{1}{N-1} \sum_{i \neq j} \int [\kappa(x'_i, \pi'_i, x'_j, \pi'_j \rightarrow x_i, \pi_i, x_j, \pi_j) P(X'_{ij}, \Pi, t) - \kappa(x_i, \pi_i, x_j, \pi_j \rightarrow x'_i, \pi'_i, x'_j, \pi'_j) P(X, \Pi, t)] dx'_i dx'_j d\pi'_i d\pi'_j, \quad (1)$$

здесь $X'_{ij} = (x_1, \dots, x_{i-1}, x'_i, x_{i+1}, \dots, x_{j-1}, x'_j, x_{j+1}, \dots, x_N)$, а интегрирование по мере π означает суммирование по всем возможным значениям $\int \varphi(\pi) d\pi = \varphi(0) + \varphi(1)$. Для завершения постановки задачи нужно присоединить к уравнению (1) начальное условие $P(X, \Pi, 0) = P_0(X, \Pi)$, а также граничные условия, которые должны гарантировать отсутствие отрицательных цен.

Хорошо известен полуэвристический факт, состоящий в том, что при $N \rightarrow \infty$ в предположении «трейдерского хаоса» (по аналогии с «молекулярным хаосом» в газовой динамике), то есть при разложении двухчастичной плотности на произведение двух одночастичных, решение уравнения (1) переходит в решение исходного уравнения [4].

Следует отметить, что в отличие от газовой динамики, в данной модели при парных взаимодействиях скачкообразно меняется не скорость частицы, а предлагаемая цена (покупки или продажи), а также индикатор трейдера (покупатель становится продавцом и наоборот). Еще одно отличие от газовой динамики выражено в несимметричности функции $\kappa(\cdot)$, поскольку при совершении сделки оба трейдера платят комиссионные сборы. При этом взаимодействующих трейдеров удобно представлять упорядоченными парами (i, j) . Для определенности полагаем, что первый индекс i – номер покупателя, а второй индекс j – номер продавца.

Интегральное уравнение второго рода.

Введем следующие обозначения (здесь $\delta(\cdot)$ – дельта-функция Дирака):

$$\kappa_{ij} = \int \kappa(x_i, \pi_i, x_j, \pi_j \rightarrow x'_i, \pi'_i, x'_j, \pi'_j) dx'_i dx'_j d\pi'_i d\pi'_j;$$

$$k(X, \Pi) = \frac{1}{N-1} \sum_{i \neq j} \kappa_{ij};$$

$$\delta_{ij} = \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq i, m \neq j}}^N \delta(x'_m - x_m) \delta(\pi'_m - \pi_m);$$

$$K(X', \Pi' \rightarrow X, \Pi) = \frac{1}{N-1} \sum_{i \neq j} \kappa(x'_i, \pi'_i, x'_j, \pi'_j \rightarrow x_i, \pi_i, x_j, \pi_j) \cdot \delta_{ij};$$

$$J_N(X, \Pi, t) = \int K(X', \Pi' \rightarrow X, \Pi) P(X', \Pi', t) dA' d\Pi';$$

$$E_k(X, \Pi, t, t') = \exp \{-(t - t')k(X, \Pi)\}.$$

Перепишем уравнение (1) в виде

$$\frac{\partial P}{\partial t}(X, \Pi, t) + k(X, \Pi)P(X, \Pi, t) = J_N(X, \Pi, t).$$

Принимая во внимание начальные условия, проинтегрируем последнее уравнение по времени. В результате получим:

$$P(X, \Pi, t) = P_0(X, \Pi)E_k(X, \Pi, t, 0) + \int_0^t E_k(X, \Pi, t, t') J_N(X, \Pi, t') dt'.$$

Пусть функция $\Phi(X, \Pi, t) = k(X, \Pi)P(X, \Pi, t)$ – плотность сделок в системе, она удовлетворяет интегральному уравнению $\Phi = K_1 \Phi + \Phi_0$:

$$\Phi(X, \Pi, t) = \int_{\Lambda \times (0, \infty)} K_1(X', \Pi', t' \rightarrow X, \Pi, t) \Phi(X', \Pi', t') dt' dX' d\Pi' + \Phi_0$$

со свободным членом

$$\Phi_0(X, \Pi, t) = \int_0^t \delta(t') P_0(X, \Pi) K_t(t' \rightarrow t | X, \Pi) dt'$$

и ядром

$$K_1(X', \Pi', t' \rightarrow X, \Pi, t) = K_X(X', \Pi' \rightarrow X, \Pi) K_t(t' \rightarrow t | X, \Pi).$$

Следует отметить, что ядро K_1 представляет собой произведение плотностей распределения новых значений X, Π и t , соответственно:

$$K_X(X', \Pi' \rightarrow X, \Pi) = \frac{K(X', \Pi' \rightarrow X, \Pi)}{k(X', \Pi')},$$

$$K_t(t' \rightarrow t | X, \Pi) = k(X, \Pi) E_k(X, \Pi, t, t'),$$

Таким образом, переход в цепи Маркова реализуется в следующем порядке: $(X', \Pi', t') \rightarrow (X, \Pi, t) \rightarrow (X, \Pi, t)$.

Отметим, что номер пары $\varpi = (i, j)$, реализующей взаимодействие, определяется в соответствии со следующей вероятностью

$$p(\varpi) = p(i, j) = \frac{1}{N-1} \cdot \frac{\kappa_{ij}}{k(X', \Pi')}.$$

При переходе к функции $\Psi(X, \Pi, t)$, которая связана с $\Phi(X, \Pi, t)$ интегральным соотношением

$$\Phi(A, V, t) = \int_0^t K_t(t' \rightarrow t | X, \Pi) \Psi(X, \Pi, t') dt',$$

получаем относительно $\Psi(X, \Pi, t)$ новое интегральное уравнение $\Psi = K_2 \Psi + \Psi_0$:

$$\Psi(X, \Pi, t) = \int_{\Lambda \times (0, \infty)} K_2(X', \Pi', t' \rightarrow X, \Pi, t) \Psi(X', \Pi', t') dt' dX' d\Pi' + \Psi_0$$

с простым свободным членом $\Psi_0(X, \Pi, t) = \delta(t) P_0(X, \Pi)$ и следующим ядром

$$K_2(X', \Pi', t' \rightarrow X, \Pi, t) = K_t(t' \rightarrow t | X', \Pi') K_X(X', \Pi' \rightarrow X, \Pi).$$

Покоординатный переход в цепи Маркова в этом случае осуществляется в другом порядке: $(X', \Pi', t') \rightarrow (X', \Pi', t) \rightarrow (X, \Pi, t)$.

«Расслоение» распределения взаимодействий по номеру пары.

Пусть

$$\Psi(X, \Pi, t) = \sum_{\varpi} F_{\Psi}(\varpi, X, \Pi, t),$$

где суммирование ведется по всем упорядоченным парам $\varpi = (i, j)$. Рассмотрим описанную выше цепь Маркова в модифицированном фазовом пространстве $Z \times [0, T] \ni (Z, t) = (\varpi, X, \Pi, t)$, введя в число фазовых переменных номер пары ϖ , реализующей взаимодействие в системе (более подробно см. [6]).

Начальное состояние $Z_0 = (\varpi_0, X_0, \Pi_0)$ в модифицированном фазовом пространстве, то есть точка первого взаимодействия в системе для $t_0 = 0$, выбирается согласно плотности $P_0(X, \Pi) \delta(\varpi_0)$. Плотность распределения точки (Z_0, t_0) обозначим через $F_0(Z, t) = \delta(t) P_0(X, \Pi) \delta(\varpi_0)$. Описанное преобразование фазового пространства приводит к «расслоению» распределения взаимодействий по номеру пары и позволяет получить специальное интегральное уравнение для функции $F(Z, t) = F_{\Psi}(Z, t)$: $F = KF + F_0$, а именно

$$F(Z, t) = \int_0^t \int_Z F(Z', t') K(Z', t' \rightarrow Z, t) dZ' dt' + F_0(Z, t).$$

Здесь $dZ = dX d\Pi d\mu(\varpi)$, причем интегрирование по мере μ означает суммирование по всем упорядоченным парам (i, j) . Ядро K последнего уравнения представляет собой произведение плотностей перехода, то есть содержит - функции лишь в виде сомножителей, что позволяет использовать хорошо развитый аппарат весовых методов Монте-Карло [15], в том числе метод мажорантной частоты, который был предложен в [2] для моделирования столкновительной релаксации N -частичного газа и который приводит к линейной зависимости трудоемкости алгоритма моделирования от количества частиц. Кроме того, наличие построенного интегрального уравнения и связанного с ним марковского процесса позволяет исследовать зависимость модели от различных параметров, оценивать параметрические производные, а также уменьшать трудоемкость статистических алгоритмов, в том числе при помощи, так называемого, ценностного моделирования. Обычно при решении исходной системы уравнений требуется оценить функционалы от одночастичных функций распределения, которые стандартным интегральным образом представимы в виде функционалов от решения интегрального уравнения второго рода (см., например, [6]).

В соответствии с видом ядра моделирование происходит следующим образом: сначала выбирается время следующей сделки, затем выбирается пара продавец-покупатель для совершения сделки и, наконец, происходит сделка, в результате которой происходит изменение цены.

Заключение

Основой разрабатываемой адаптируемой интеллектуальной системы (АИС) является математический блок, задачей которого является построение прогноза для ценовых рядов. Ядром этого математического блока является комбинация стохастической дифференциальной модели (СДМ) ценового ряда и стохастической кинетической модели (СКМ) формирования цены. С одной стороны, СДМ учитывает глобальную динамику изменения значимых вероятностных характеристик исторических ценовых рядов, что дает возможность принимать во внимание нестационарность финансовых рынков и, тем самым, выигрывать не только у классической модели цены, но и у искусственных нейронных сетей. С другой стороны, СКМ учитывает локальное поведение трейдеров (продавцов и покупателей) в течение торговой сессии. В итоге получается комбинированная модель, предоставляющая более адекватный прогноз поведения цены отдельного финансового инструмента, а также всего финансового рынка в целом. В следующих статьях мы предоставим результаты численных расчетов с использованием реальных ценовых рядов и исторических данных по биржевому стакану котировок.

Список литературы / References

1. Бурмистров А.В. Моделирование цены методом Монте-Карло в рамках модели больцмановского типа / А.В. Бурмистров, М.А. Коротченко, М. Reisswich // Материалы XVII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям 30 октября – 3 ноября 2016 г. – 2016. – Новосибирск, С.29.
2. Иванов М.С., Рогазинский С.В. Метод прямого статистического моделирования в динамике разреженного газа / М.С. Иванов, С.В. Рогазинский. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1988. – 117с.
3. Как анализировать биржевой стакан котировок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bbf.ru/magazine/18/6303/>, свободный. – (Дата обращения: 11.06.2017).
4. Кац М. Вероятность и смежные вопросы в физике / М. Кац. – М.: Мир, 1965. – 408с.

5. Коротченко М.А. Моделирование динамики многочастичных ансамблей при использовании кинетических моделей / М.А. Коротченко, А.В. Бурмистров // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №2 (14). – С.324–330.
6. Михайлов Г.А. Весовые методы Монте-Карло для приближенного решения уравнения Больцмана / Г.А. Михайлов, С.В. Рогазинский // Сибирский математический журнал. – 2002. – Т.43, №3. – С.620–628.
7. Новиков А.В. Адаптированные стохастические дифференциальные модели ценового ряда / А.В. Новиков // Препринт ИВМиМГ СО РАН, 1157. – Новосибирск, 2003. – 26с.
8. Новиков А.В. Виртуальный финансовый консультант, использующий системы искусственного интеллекта и финансовые данные в реальном времени / А.В. Новиков, А.В. Бурмистров // Тенденции развития науки и образования. Сборник научных трудов, по материалам XXVI международной научно-практической конференции 31 мая 2017 г. Часть 4. Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2017. С.21–27.
9. Новиков А.В. Интеллектуальная система для персонального финансового консультирования пользователей на основе актуальных финансовых данных / А.В. Новиков, А.В. Бурмистров // Научно-практический электронный журнал «Аллея Науки». – 2017. – No.9(1). – С.796–809.
10. Новиков А.В. Моделирование ценового ряда в рамках стохастической дифференциальной модели / А.В. Новиков, А.В. Бурмистров // Международный научный журнал «Символ науки». – 2017. – №04-2. – С.17-21.
11. Построение стакана котировок (FullOrderBook) по историческим данным [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/276635/>, свободный. – (Дата обращения: 11.06.2017).
12. Aldridge I. Real-Time Risk: What Investors Should Know About Fintech, High-Frequency Trading and Flash Crashes / Aldridge I., Krawciw S. – Hoboken: Wiley, 2017. – 224p.
13. Burger M. On a Boltzmann-type price formation model / M. Burger, L. Caffarelli, P. Markowich, M.-T. Wolfram // Proceedings of the Royal Society A. – 2013. – Vol.469, N2157, 20130126. doi: 10.1098/rspa.2013.0126
14. Korotchenko M.A. Value modifications of weighted statistical modeling for solving nonlinear kinetic equations / M.A. Korotchenko, G.A. Mikhailov, S.V. Rogasinsky // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. – 2007. Vol.22, No.5. – P.471–486.
15. Mikhailov G.A. Parametric Estimates by the Monte Carlo Method / G.A. Mikhailov. – Utrecht: VSP, 1999. – 188p.
16. Sirignano J. Deep Learning for Limit Order Books [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1601.01987>, свободный. – (Дата обращения: 11.06.2017).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Burmistrov A.V. Modelirovanie ceny metodom Monte-Karlo v ramkah modeli bol'zmanovskogo tipa [Monte Carlo simulation of price series in the framework of the Boltzmann-type model] / A.V. Burmistrov, M.A. Korotchenko, M. Reisswich // Materialy XVII Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh po matematicheskomu modelirovaniju i informacionnym tehnologijam [Materials of the XVII All-Russian Conference of Young Scientists on Mathematical Modeling and Information Technologies] 30.10 – 3.11.2016. – 2016. – Novosibirsk, P.29. [in Russian]
2. Ivanov M.S., Rogasinsky S.V. Metod prjamoj statisticheskogo modelirovanija v dinamike razrezhenogo gaza [The direct statistical simulation method of rarefied gas dynamics] / M.S. Ivanov, S.V. Rogasinsky. – Novosibirsk: CC SB USSR AS, 1988. – 117p. [in Russian]
3. Kak analizirovat' birzhevoj stakan kotirovok [How to analyze the order book] [Electronic resource]. – Access mode: <https://bbf.ru/magazine/18/6303/>, free. – (accessed: 11.06.2017). [in Russian]
4. Кас М. Probability and Related Topics in Physical Sciences / М. Кас. – Lectures in Applied Mathematics, Vol. 1. New York: Interscience, 1959. – 266p.
5. Korotchenko M.A. Modelirovanie dinamiki mnogochastichnyh ansamblej pri ispol'zovanii kineticheskikh modelej [Simulation of dynamics of multiparticle systems for kinetic model consideration] / M.A. Korotchenko, A.V. Burmistrov // Obrazovatel'nye resursy i tehnologii [Educational resources and technologies]. – 2016. – №2 (14). – P.324-330. [in Russian]
6. Mikhailov G.A. Weighted Monte Carlo methods for approximate solution of a nonlinear Boltzmann equation / G.A. Mikhailov, S.V. Rogazinskii // Siberian Mathematical Journal. – 2002. – Vol.43, No.3. – P.496–503.
7. Novikov A.V. Adaptirovannye stohasticheskie differencial'nye modeli cenovogo rjada [Adapted stochastic differential models of the price series] / A.V. Novikov // Preprint ICM&MG SB RAS, 1157. – Novosibirsk, 2003. – 26p. [in Russian]
8. Novikov A.V. Virtual'nyj finansovyj konsultant, ispol'zujushhij sistemy iskusstvennogo intellekta i finansovyje dannye v real'nom vremeni [Virtual financial consultant using artificial intelligence systems and financial data in real time] / A.V. Novikov, A.V. Burmistrov // Tendencii razvitiya nauki i obrazovanija. Sbornik nauchnyh trudov, po materialam XXVI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Trends in the development of science and education. Collection of scientific papers, based on the materials of the XXVI International Scientific and Practical Conference] 31.05.2017. Part 4. NIC «L-journal», 2017. P.21–27. [in Russian]
9. Novikov A.V. Intellektual'naja sistema dlja personal'nogo finansovogo konsultirovanija pol'zovatelej na osnove aktual'nyh finansovyh dannyh [Intelligent system for personal financial consulting of users based on actual financial data] / A.V. Novikov, A.V. Burmistrov // Nauchno-prakticheskij jelektronnyj zhurnal «Alleja Nauki» [Scientific and practical electronic journal «Alley of Science»]. – 2017. – No.9(1). – P.796–809. [in Russian]
10. Novikov A.V. Modelirovanie cenovogo rjada v ramkah stohasticheskoj differencial'noj modeli [Price simulation within the stochastic differential model] / A.V. Novikov, A.V. Burmistrov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Simvol nauki» [International Scientific Journal «Symbol of Science»]. – 2017. – №04-2. – P.17-21. [in Russian]
11. Postroenie stakana kotirovok (FullOrderBook) po istoricheskim dannym [Construction of the full order book based on historical data] [Electronic resource]. – Access mode: <https://habrahabr.ru/post/276635/>, free. – (accessed: 11.06.2017). [in Russian]
12. Aldridge I. Real-Time Risk: What Investors Should Know About Fintech, High-Frequency Trading and Flash Crashes / Aldridge I., Krawciw S. – Hoboken: Wiley, 2017. – 224p.

13. Burger M. On a Boltzmann-type price formation model / M. Burger, L. Caffarelli, P. Markowich, M.-T. Wolfram // Proceedings of the Royal Society A. – 2013. – Vol.469, N2157, 20130126. doi: 10.1098/rspa.2013.0126
14. Korotchenko M.A. Value modifications of weighted statistical modeling for solving nonlinear kinetic equations / M.A. Korotchenko, G.A. Mikhailov, S.V. Rogasinsky // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. – 2007. Vol.22, No.5. – P.471–486.
15. Mikhailov G.A. Parametric Estimates by the Monte Carlo Method / G.A. Mikhailov. – Utrecht: VSP, 1999. – 188p.
16. Sirignano J. Deep Learning for Limit Order Books [Electronic resource]. – Access mode: <https://arxiv.org/abs/1601.01987>, free. – (accessed: 11.06.2017).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.078>

Мальцева Л.А.¹, Макаров П.А.²

¹ORCID:0000-0003-2926-0933, студент

²ORCID: 0000-0003-0448-7728, к.ф.-м.н., доцент

ФГБОУ ВО «СГУ имени Пятирима Сорокина»

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИСПЕРСИЮ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛЁНКАХ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

Аннотация

В рамках магнитоэлектродинамического приближения электродинамики получены дисперсионные соотношения для поверхностных и объёмных магнитоэлектродинамических волн (МСВ), распространяющихся в бесконечной ферритовой плёнке, намагниченной до насыщения продольным постоянным магнитным полем. Проанализирована зависимость частотного спектра поверхностных (ПМСВ) и обратных объёмных (ОМСВ) магнитоэлектродинамических волн от величины постоянного магнитного поля и направления волнового вектора. Рассмотрено влияние температуры на спектр и дисперсионные характеристики МСВ.

Ключевые слова: магнитоэлектродинамические волны (МСВ), дисперсия, частотный спектр, температура.

Maltceva L.A.¹, Makarov P.A.²

¹Student, ²PhD in Physics and Mathematics, Assistant professor

Sykytyvkar State University

TEMPERATURE INFLUENCE ON MAGNETOSTATIC WAVES DISPERSION IN YTTRIUM IRON GARNET FILMS

Abstract

The dispersion relations for surface and volume magnetostatic waves (MSW) propagating in an infinite ferrite film magnetized to saturation by a longitudinal constant magnetic field was obtained in the magnetostatic approximation of electrodynamics. The frequency spectrum dependence on the magnitude of the constant magnetic field and the direction of the wave vector of surface (MSSW) and backward volume (MSBVW) magnetostatic waves is analyzed. The temperature influence on the spectrum and dispersion characteristics of the MSW is considered.

Keywords: magnetostatic waves (MSW), dispersion, frequency spectrum, temperature.

Введение

Исследования волновых явлений в ферро- и ферритмагнитных материалах, а также их технические приложения для построения приборов аналоговой и цифровой обработки СВЧ-сигналов привели к становлению нового научно-технического направления — спинволновой электроники [1], [2], [3], [4].

Одним из активно развиваемых направлений спинтроники является разработка устройств на поверхностных (ПМСВ) и объёмных (ОМСВ) магнитоэлектродинамических волнах.

Применение в устройствах на основе МСВ монокристаллических ферро- и ферритмагнитных структур, таких как плёнки железо-иттриевого граната (ЖИГ), позволяет создавать компактные устройства с уникальными магнитными свойствами [1], [2].

Одним из основных требований, предъявляемых к устройствам спинтроники, является термостабилизация их магнитных параметров в рабочем диапазоне температур. Вместе с тем хорошо известно, что плёнки ЖИГ, обладают серьёзным недостатком — сильной зависимостью намагниченности насыщения от температуры [3], [4], [5].

В связи с этим возникает необходимость в детальном исследовании температурной характеристик плёнок ЖИГ и поиска дополнительных решений задачи по обеспечению термостабильности.

Математическая модель и основные уравнения

Геометрия задачи представлена на рис. 1. Рассмотрим касательно намагниченную до насыщения безграничную ферритовую плёнку толщины d . Плоскость yOz соответствует плоскости пленки, положения границ определяются координатами $x=\pm d/2$. Угол между осью Oy и волновым вектором \mathbf{k} обозначен как φ .

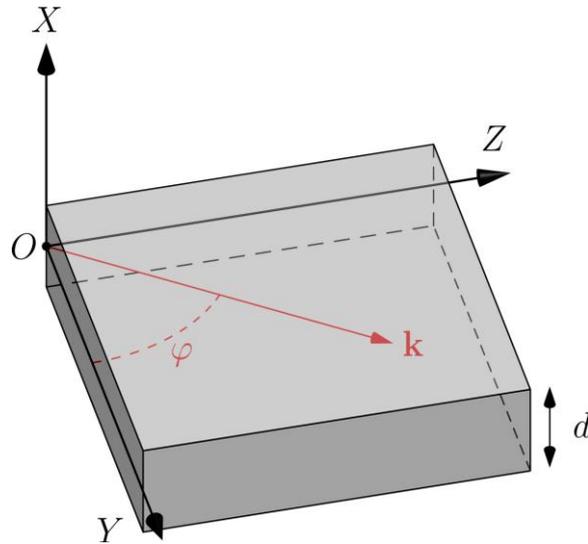


Рис. 1. – Геометрия задачи

В нашей геометрии в плёнках ЖИГ могут распространяться два типа магнитостатических волн: поверхностные (ПМСВ) и обратные объёмные (ООМСВ).

В магнитостатическом приближении магнитные уравнения Максвелла имеют вид [6]:

$$\begin{cases} \text{rot}H = 0, \\ \text{div}(H + 4\pi M) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Вводя магнитостатический потенциал ψ согласно

$$H = \text{grad} \psi \quad (2)$$

с помощью (1) получаем уравнение Уокера

$$\Delta \psi + 4\pi \text{div}M = 0 \quad (3)$$

Уравнение Ландау-Лифшица, описывающее движение вектора намагниченности имеет вид:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\gamma [M \times H] \quad (4)$$

где M_0 – постоянная длина вектора намагниченности, γ – гиромагнитное отношение.

Дисперсионные соотношения для ПМСВ и ООМСВ, полученные с помощью совместного решения уравнений (1), (3) и (4) имеют вид (5) и (6), соответственно:

$$\text{th}(kd\vartheta) = \frac{2\mu\vartheta}{\beta-1} \quad (5)$$

$$\text{tg}(kd\vartheta) = \frac{2\mu\vartheta}{\beta-1} \quad (6)$$

Здесь ϑ, β – вспомогательные параметры, зависящие от частоты Ω и угла φ , имеющие вид:

$$\vartheta = \sqrt{\cos^2 \varphi + \frac{\sin^2 \varphi}{\mu}} \quad (7)$$

$$\beta = v^2 \cos \varphi - \mu^2 \vartheta^2 \quad (8)$$

а μ – магнитная проницаемость, v – компонента побочной диагонали тензора магнитной восприимчивости, зависящие от нормированного поля Ω_H и от нормированной частоты Ω , которые имеют вид:

$$\mu = 1 + \frac{\Omega_H + i\alpha\Omega}{\Omega_H^2 - \Omega^2(1 + \alpha^2) + 2i\alpha\Omega\Omega_H} \quad (9)$$

$$v = 1 + \frac{\Omega}{\Omega_H^2 - \Omega^2(1 + \alpha^2) + 2i\alpha\Omega\Omega_H} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \Omega_H = \frac{H}{4\pi M_0} \\ \Omega = \frac{\omega}{4\pi\gamma M_0} \end{cases} \quad (11)$$

Граничные частоты ПМСВ и ООМСВ, полученные из решения (5) и (6), определяются следующим образом:

$$\begin{cases} f_1 = \gamma H, \\ f_2 = \gamma \sqrt{H(H + 4\pi M)}, \\ f_3 = \gamma(H + 2\pi M). \end{cases}$$

Таким образом, ПМСВ и ООМСВ распространяются в строго определённом диапазоне частот, причём ПМСВ

более высокочастотные, т. к. их спектр определяется интервалом частот $f_2 < f < f_3$, а ООМСВ — низкочастотные $f_1 < f < f_2$. Здесь f_1 — нижняя частота ООМСВ, f_3 — верхняя частота ПМСВ, а f_2 является нижней граничной частотой для ООМСВ и верхней для ПМСВ.

Влияние на спектр поля и направления распространения

Зависимости граничных частот ПМСВ и ООМСВ (сплошные линии) от внешнего постоянного магнитного поля при комнатной температуре показаны на рис. 2. Кроме того, на данном рисунке приведены полевые зависимости ширины спектра для ПМСВ, ООМСВ и обоих типов МСВ (пунктирные линии). Для построения кривых использовались следующие параметры: толщина плёнки $d = 15 \text{ мкм}$, гиромагнитное отношение $g = 2$, намагниченность насыщения для ЖИГ при температуре $T = 300 \text{ К}$ предполагалась равной $4\pi M \approx 1760 \text{ Гс}$ [3].

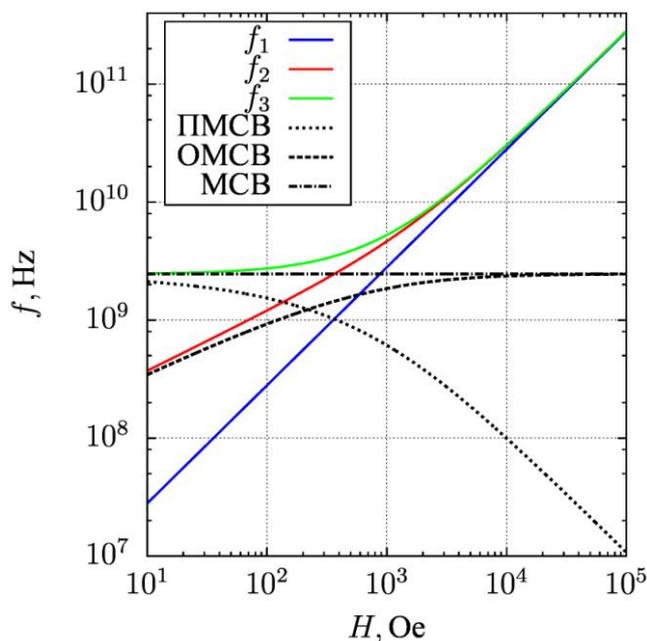


Рис. 2 – Влияние поля на спектр МСВ

Из рис. 2 видно, в слабых магнитных полях (до величин $H \leq 200 \text{ Э}$) спектр ПМСВ шире, чем ООМСВ, однако с увеличением поля, интервал частот, в котором могут распространяться поверхностные волны, сужается, в то время как частотный спектр объемных волн расширяется. При значениях поля $H \approx 200 \text{ Э}$ частотные интервалы ПМСВ и ООМСВ сравниваются, а при дальнейшем увеличении поля больший вклад в МСВ дают ООМСВ. Это приводит к тому, что при полях $H \approx 10^4 \text{ Э}$ практически весь спектр МСВ представлен объемными волнами, в то время как поверхностные могут распространяться в диапазоне частот шириной всего 100 МГц. Так же из рисунка видно, что полный спектр обоих типов МСВ не зависит от поля и определяется только величиной намагниченности насыщения, которая в свою очередь сильно зависит от температуры.

Однако, прежде чем рассматривать действие температуры на спектр МСВ, необходимо изучить влияние угла φ на распространение волн. Известно [7], что формула (9.3) справедлива при $\varphi = 0$, в то время как формула (9.1) справедлива при $\varphi = \pi/2$. На рис. 3 показаны угловые зависимости граничных частот МСВ, рассчитанные согласно дисперсионным соотношениям (5) и (6).

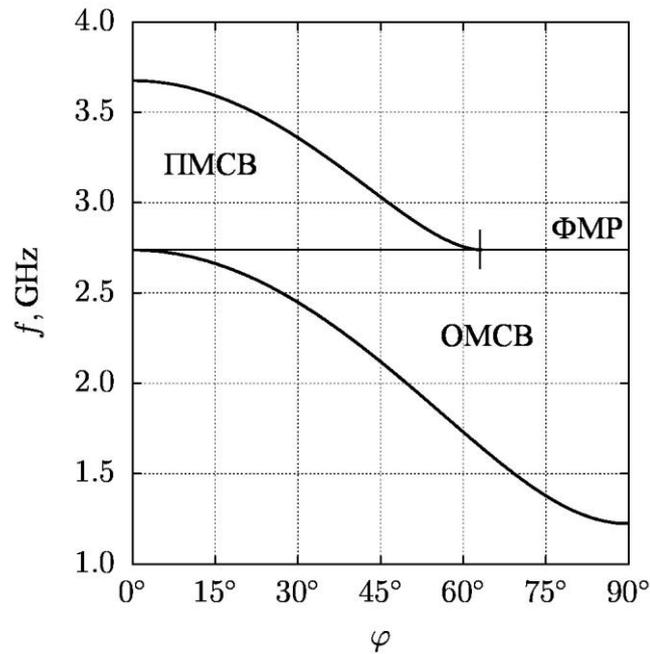


Рис. 3 – Зависимость спектра МСВ от угла

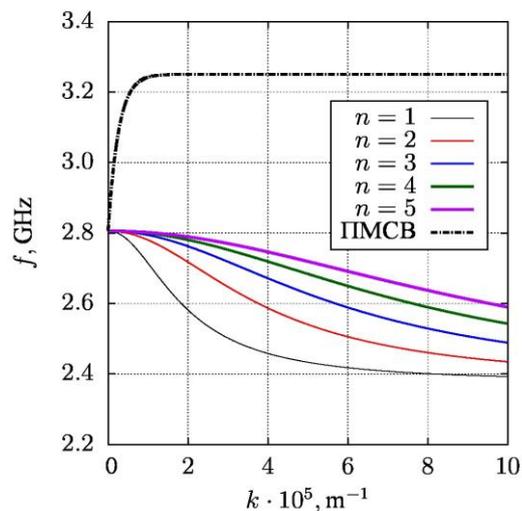
Как следует из рис. 3, ПМСВ имеют ограниченную диаграмму направленности, т. к. могут распространяться только в секторе углов $0 \leq \varphi \leq \varphi_s$, ограниченном углом отсечки $\varphi_s \approx 63^\circ$. В противоположность этому диаграмма направленности объёмных волн ограничивается только углом $\varphi = 0^\circ$. Анализ рис. 3 показывает, что частотные интервалы, в которых могут распространяться ПМСВ и ООМСВ при постоянном поле $H = 440 \text{ Э}$ и комнатной температуре ($T = 300 \text{ К}$) примерно совпадают по ширине при $\varphi \approx 40^\circ$. Поэтому в дальнейшем, при изучении влияния температуры на дисперсию ПМСВ и ООМСВ, выбирался именно этот угол.

Влияние температуры на дисперсию ПМСВ и ООМСВ

Установлено [3], [4], [5], что пленки ЖИГ обладают сильной температурной нестабильностью, причиной которой может являться множество факторов. В нашей модели влияние температуры сводится к тому, что нормированные частоты волн Ω и магнитные поля Ω_H , определяемые соотношениями (11.1) и (11.2), сдвигаются вверх с ростом T .

Из литературы хорошо известно [3], что в диапазоне температур T от 213 К до 353 К функцию $4\pi M(T)$ можно аппроксимировать линейной зависимостью, причём тангенс угла наклона соответствующей прямой составляет величину -2.9 Гс/К . Таким образом, при уменьшении температуры от комнатной ($T = 300 \text{ К}$) до нуля по Цельсию ($T = 273 \text{ К}$) намагниченность насыщения возрастает от 1760 Гс до 1840 Гс.

Дисперсионные кривые для ПМСВ и первых пяти мод ООМСВ при разных температурах показаны на рис. 4 и рис. 5.

Рис. 4 – Дисперсионные кривые для ПМСВ и первых пяти мод ООМСВ при температуре $T = 273 \text{ К}$.

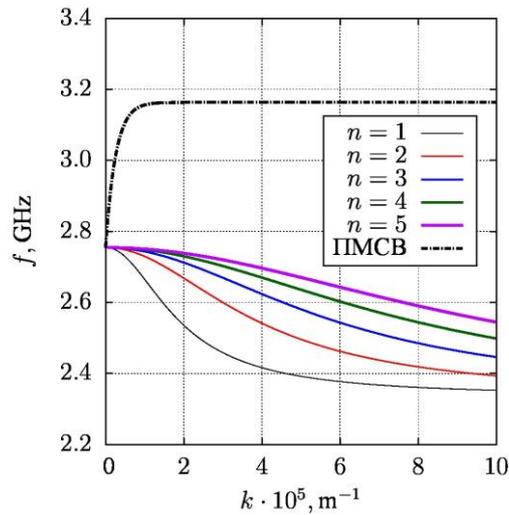


Рис. 5 – Дисперсионные кривые для ПМСВ и первых пяти мод ООМСВ при температуре $T = 300\text{ K}$.

Из рис. 4 и 5 видно, что при разных температурах дисперсионные кривые немного отличаются, и с увеличением T частотные спектры обоих типов волн смещаются в более низкочастотную область.

Для удобства анализа влияния температуры на дисперсию поверхностных и объёмных волн, соответствующие кривые приведены на рис. 6.

Рис. 6 демонстрирует дисперсионные зависимости при разных температурах для ПМСВ (изображены пунктиром) и для первой моды ООМСВ (изображены сплошными линиями). Из рисунка следует, что поверхностные волны при данных условиях более подвержены температурному уширению, чем объёмные. Кроме того, видно, что для более длинных волн (при волновых числах $k \leq 3 \cdot 10^3\text{ м}^{-1}$) изменение температуры на $\Delta T = 30\text{ K}$ может преобразовать тип волны: из поверхностной в объёмную или наоборот. Однако все остальные условия при этом (величина магнитного поля и ориентация в нём плёнки) должны остаться неизменными.

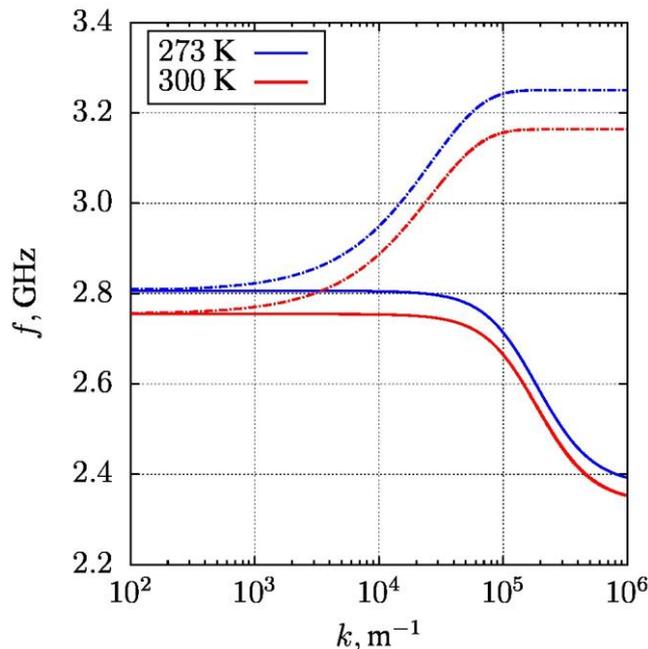


Рис. 6 – Дисперсионные кривые для ПМСВ и ООМСВ при двух температурах $T = 300\text{ K}$ и $T = 273\text{ K}$

Выводы

Таким образом, получены полевые и угловые зависимости граничных частот и ширины спектра для двух типов магнитостатических волн. Кроме того, определено влияние температуры на дисперсионные кривые ПМСВ и ООМСВ. Показано, что в длинноволновой области спектра МСВ (при $k \leq 3 \cdot 10^3\text{ м}^{-1}$) изменение температуры на $\Delta T = 30\text{ K}$ при прочих равных условиях (величине поля и ориентации плёнки относительно поля) может изменить тип распространяющихся волн.

Список литературы / References

1. Сарнацкий В. М. Электромагнитное возбуждение ультразвуковых колебаний пленками железо-иттриевого граната на подложке галлий-гадолиниевого граната / В. М. Сарнацкий, И. О. Мавлоназаров, Л. В. Луцев // Письма в ЖТФ. — 2014. — Т. 40. — №14. — С. 79–85.
2. Исхак В. С. Применение магнитостатических волн: Обзор / В. С. Исхак // ТИИЭР. — 1988. — Т. 76. — №2. — С. 86–104.

3. Ющук С. И. Феррогранатовые плёнки с повышенной термостабильностью магнитных параметров / С. И. Ющук, П. С. Костюк, И. Е. Лопатинский // Журнал технической физики. – 1998. – Т. 68. – №9. – С.46–50.
4. Шагаев В. В. Магнитодипольные колебания и волны в планарных ферритах: структурно-обусловленные особенности характеристики: Автореф. дис... д.ф.-м.н: 01.04.11 / Шагаев Владимир Васильевич – Государственное научное учреждение «Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий Московского государственного института электроники и математики (технического университета)». – Москва, 2009. – с. 36.
5. Лыткин А. В. Влияние температуры на свойства поверхностных магнитостатических волн в ферритовых плёнках/ А. В. Лыткин, П. А. Макаров // *Juvenis Scientia* – 2016. – №2. С. 19-21.
6. Damon R. W., Eshbach J.R. Magnetostatic modes of a ferromagnet slab. // *J.Phys. Chem. Solids*. – 1961. – V.19. – № 314. – P. 308-320.
7. Келлер Ю. И. Поверхностные магнитостатические волны в пластине феррита с диссипацией. Часть 2. Распространение волны перпендикулярно направлению поля / Ю. И. Келлер, П. А. Макаров, В. Г. Шаваров, В. И. Щеглов // Журнал радиоэлектроники — 2016. – №3. – С. 1-40.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sarnackij V. M. Jelektromagnitnoe vozbuзhdenie ul'trazvukovyh kolebanij plenkami zhelezo-ittriovogo granata na podlozhke gallij-gadoliniyevogo granata [Electromagnetic excitation of ultrasonic vibrations by iron-yttrium garnet films on a gallium-gadolinium garnet substrate] / V. M. Sarnackij, I. O. Mavlonazarov, L. V. Lucev // *Pis'ma v ZhTF*. [Technical Physics Letters]. — 2014. — V. 40. — №14. — P. 79-85. [in Russian]
2. Ishak W. S. Primenenie magnitostaticeskikh voln: Obzor [Magnetostatic Wave Technology: A Review] / V. S. Ishak // *ТИИЭР [IEEE]*. – 1988. V. 76. №2. P. 86-104. [in Russian]
3. Jushhuk S. I. Ferrogranatovye pljonki s povyshennoj termostabil'nost'ju magnitnyh parametrov [Ferro-garnet films with increased thermostability of magnetic parameters] / S. I. Jushhuk, P. S. Kostjuk, I. E. Lopatinskij [S. I. Yushchuk, P. S. Kostyuk, I. E. Lopatinsky] // *Zhurnal tehnichekoj fiziki*. [Journal of Technical Physics]. – 1998. – V.68. – №9. – P.46-50. [in Russian]
4. Shagaev V. V. Magnitodipol'nye kolebanija i volny v planarnyh ferritah: strukturno-obuslovlennye osobennosti harakteristiki: Avtoref. dis... d.f.-m.n: 01.04.11 [Magnetodipole oscillations and waves in planar ferrites: structurally-conditioned features of the characteristic: Abstract of thesis] / Shagaev Vladimir Vasil'evich – Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie «Nauchno-issledovatel'skij institut perspektivnyh materialov i tehnologij Moskovskogo gosudarstvennogo instituta jelektroniki i matematiki (tehniceskogo universiteta)». [Shagaev Vladimir Vasilyevich – State Scientific Institution "Research Institute of Advanced Materials and Technologies of the Moscow State Institute of Electronics and Mathematics (Technical University)"]. – Moscow, 2009. – P. 36. [in Russian]
5. Lytkin A. V. Vlijanie temperatury na svojstva poverhnostnyh magnitostaticeskikh voln v ferritovyh pljonkah [Influence of the temperature on the magnetostatic waves propeties in ferrite plates] / A. V. Lytkin, P. A. Makarov // *Juvenis Scientia*. – 2016. – №2. – P. 19-21. [in Russian]
6. Damon R.W., Eshbach J.R. Magnetostatic modes of a ferromagnet slab // *J. Phys. Chem. Solids* – 1961. – V.19. № 314. P. 308-320.
7. Keller Ju. I. Poverhnostnye magnitostaticeskie volny v plastine ferrita s dissipaciej. Chast' 2. Rasprostranenie volny perpendikuljarno napravleniju polja [The magnetostatic surface waves in ferrite plate with dissipation. Part 2. Propagation of the wave perpendicularly to the field direction] / Ju. I. Keller, P. A. Makarov, V. G. Shavarov, V. I. Shheglov // *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of Radioelectronics]. – 2016. – №3. – P. 40. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.028>Сдвижков О.А.¹, Мацнев Н.П.²¹ Кандидат физико-математических наук, доцент, Российский государственный университет туризма и сервиса,² Кандидат технических наук, доцент, Технологический университет, г. Королев**НАХОЖДЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ОСТОВНЫХ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ДЕРЕВЬЕВ****Аннотация**

Рассматривается обобщенная задача о минимальном остовном дереве, то есть задача, в которой матрица весовых коэффициентов дуг, вообще говоря, не является симметричной, решение – ориентированное дерево. В статью вошли математические модели (квадратичного программирования), включая модель с минимальным числом линейных ограничений, к которым сводится обобщенная задача о минимальном остовном дереве. Рассматривается нахождение минимального остовного дерева, когда задан номер корневой, транзитной или висячей вершины, а также случай нескольких условий. Приведены примеры, математические модели решаются средствами программного комплекса Excel.

Ключевые слова: квадратичное программирование, граф, дерево.Sdvizhkov O.A.¹, Matsnev N.P.²¹PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Russian State University of Tourism and Service,²PhD in Engineering, Associate Professor, Technological University, Korolev**LOCATING MINIMAL FRAMING ORIENTED TREE GRAPHS****Abstract**

The article considers a generalized problem of a minimal framing tree graph, that is, a problem with asymmetric matrix of weight coefficients of arcs where the solution is an oriented tree graph. The article includes mathematical models of quadratic programming, including a model with a minimum number of linear constraints the generalized minimal framing tree graph problem is reduced to. We consider finding the minimal framing tree graph when the number of the root, transit, or hanging vertex is given, as well as the case of several conditions. Examples are provided; mathematical models are solved with the help of the Excel.

Keywords: quadratic programming, graph, tree graph.**Введение**

Задача о минимальном остовном дереве графа, матрица C весовых коэффициентов дуг которого является симметричной, – классическая задача методов анализа сетей [3], [4], решение ее в Excel рассматривается в [1].

Случай $C \neq C^T$ приводит к задаче нахождения минимального ориентированного остовного дерева, сравнимой по сложности с задачей коммивояжера, так как требуется чтобы это дерево не распалось на несвязные компоненты. Только применение квадратичного программирования позволило построить математические модели этой задачи [5]. Данную работу можно рассматривать как продолжение работы [5].

§1. Математические модели задачи о минимальном остовном ориентированном дереве

Следуя [2], будем понимать под ориентированным деревом (ордеревом) ориентированный граф, в котором:

- Существует единственная вершина полустепень захода которой равна 0 – корневая вершина;
- Полустепень захода всех остальных вершин равна 1;
- Каждая вершина достижима из корневой вершины.

Пусть $V = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество вершин, $T(V, U)$ – остовное ордереве, состоящее из дуг $(v_1, v_2), (v_3, v_4), \dots, (v_{2k-1}, v_{2k}), \dots, (v_{2(n-1)-1}, v_{2(n-1)})$, где $v_i \in \{1, 2, \dots, n\}$,

$$v_{2k-1} \in \{v_1, v_2, \dots, v_{2k-2}\}, k > 1, \quad (1)$$

$$v_{2k} \notin \{v_1, v_2, \dots, v_{2k-1}\}, \quad (2)$$

v_1 – номер корневой вершины. Запишем эту последовательность дуг вектором

$$(v_1, v_2, v_3, v_4, \dots, v_{2k-1}, v_{2k}, \dots, v_{2(n-1)}) \quad (3)$$

и поставим ему в соответствие двоичную $(2n-2) \times n$ матрицу $X = (x_{pj})$, $p=1, 2, \dots, 2(n-1)$; $j=1, 2, \dots, n$, в которой

$$x_{pj} = \begin{cases} 1, & v_p = j \\ 0, & v_p \neq j \end{cases} \quad (4)$$

По ней коэффициенты a_{ij} матрицы смежности ордерева T находятся по формулам:

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^{n-1} x_{2k-1, i} x_{2k, j} \quad (5)$$

Пусть весовые коэффициенты дуг между вершинами V заданы матрицей $C=(c_{ij})$, где $i, j = 1, 2, \dots, n$, вообще говоря, $C^T \neq C$. Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Задача нахождения по матрице весовых коэффициентов C минимального остовного ордерева $T(V, U)$ сводится к задаче квадратичного программирования с $(2n-2) \times n$ двоичными переменными $X = (x_{pj})$, в которой целевая функция

$$z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot c_{ij} \rightarrow \min \tag{6}$$

коэффициенты a_{ij} вычисляются по формуле (5), а ограничения записываются в виде:

$$\sum_{p=1}^{2n-2} x_{pj} \geq 1 \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{pj} = 1 \tag{8}$$

$$x_{2k+1j} \left(\sum_{p=1}^{2k} x_{pj} - 1 \right) \geq 0 \tag{9}$$

$$x_{2kj} \sum_{p=1}^{2k-1} x_{pj} = 0 \tag{10}$$

Действительно, в силу (7) ордерено будет содержать все вершины V, условия (8, 9, 10) следуют из (4, 1, 2), соответственно.

Замена квадратичных ограничений (9, 10) линейными ограничениями приводит к следующей теореме.

Теорема 2. Задача нахождения по матрице весовых коэффициентов С минимального остовного ордерено сводится к задаче квадратичного программирования с $(2n - 2) \times n$ двоичными переменными $X = (x_{pj})$, в которой целевая функция имеет вид (6), ограничения записываются в виде:

$$\sum_{j=1}^n x_{pj} = 1 \quad x_{2k+1j} - \sum_{p=1}^{2k} x_{pj} \leq 0 \quad x_{1j} + \sum_{h=1}^{n-1} x_{2hj} = 1 \tag{11}$$

Пример 1. Найти минимальное остовное ордерено в графе, матрица весовых коэффициентов дуг которого имеет вид:

$$C = \begin{pmatrix} \infty & 1 & 4 & 2 & 5 \\ 3 & \infty & 5 & 3 & 7 \\ 1 & 1 & \infty & 6 & 3 \\ 6 & 3 & 2 & \infty & 4 \\ 3 & 2 & 3 & 1 & \infty \end{pmatrix}$$

Решение. Матрица двоичных независимых переменных будет иметь вид $X = (x_{pj})$, $p = 1, 2, \dots, 8$, $j = 1, 2, \dots, 5$, применение формулы (5) дает:

$$a_{ij} = x_{1i}x_{2j} + x_{3i}x_{4j} + x_{5i}x_{6j} + x_{7i}x_{8j}$$

Подстановка в (6) приводит к целевой функции. Условия (11) запишутся в виде:

$$x_{p1} + x_{p2} + x_{p3} + x_{p4} + x_{p5} = 1,$$

$$x_{3j} - (x_{1j} + x_{2j}) \leq 0, \quad x_{5j} - (x_{1j} + x_{2j} + x_{3j} + x_{4j}) \leq 0, \quad x_{7j} - \sum_{p=1}^6 x_{pj} \leq 0,$$

$$x_{1j} + x_{2j} + x_{4j} + x_{6j} + x_{8j} = 1.$$

Для решения полученной задачи квадратичного программирования применим надстройку Solver (Поиск решения) программного комплекса Excel [3].

1. Вводим матрицу С в диапазон A1:E5 (рис. 1), заменяя символ ∞ числом, которое значительно больше остальных чисел, например, числом 99:

	A	B	C	D	E
1	99	1	4	2	5
2	3	99	5	3	7
3	1	1	99	6	3
4	6	3	2	99	4
5	3	2	3	1	99

Рис. 1 – Входные данные

2. Под 8×5 матрицу независимых двоичных переменных x_{pj} оставляем диапазон A7:E14.
3. Матрицу $A = (a_{ij})$ задаем в диапазоне A17:E21 указанным ниже способом.
 - 3.1. В ячейку B17 вводим формулу $=\$A\$7*B8+\$A\$9*B10+\$A\$11*B12+\$A\$13*B14$ и копируем ее в ячейки C17:E17.
 - 3.2. В ячейку A18 вводим формулу $=\$B\$7*A8+\$B\$9*A10+\$B\$11*A12+\$B\$13*A14$ и копируем ее в ячейки C18:E18.
 - 3.3. В ячейку A19 вводим формулу $=\$C\$7*A8+\$C\$9*A10+\$C\$11*A12+\$C\$13*A14$ и копируем ее в ячейки B19, D19:E19.
 - 3.4. В ячейку A20 вводим формулу $=\$D\$7*A8+\$D\$9*A10+\$D\$11*A12+\$D\$13*A14$ и копируем ее в ячейки B20:C20, E20.
 - 3.5. В ячейку A21 вводим формулу $=\$E\$7*A8+\$E\$9*A10+\$E\$11*A12+\$E\$13*A14$ и копируем ее в ячейки B21:D21.
4. В ячейку F7 вводим формулу $=СУММ(A7:E7)$ и копируем ее в ячейки F8:F14 – они будут задавать первый блок ограничений (11).
5. В ячейку A15 вводим формулу $=A7+A8+A10+A12+A14$ и копируем ее в ячейки B15:E15 – они будут задавать третий блок ограничений (11).
6. Задание формул блока 2 ограничений (11).
 - 6.1. В ячейку H9 вводим формулу $=A9-СУММ(A7:A8)$ и копируем ее в ячейки I9:L9.
 - 6.2. В ячейку H11 вводим формулу $=A11-СУММ(A7:A10)$ и копируем ее в ячейки I11:L11.
 - 6.3. В ячейку H13 вводим формулу $=A13-СУММ(A7:A12)$ и копируем ее в ячейки I13:L13.
7. Так как задача ни минимум, в изменяемые ячейки (диапазон A7:E14) вставляем значение 1, что выполняется перед каждым применением надстройки «Поиск решения».
8. Вызываем надстройку «Поиск решения» и задаем (рис. 2) сценарий поиска решения:

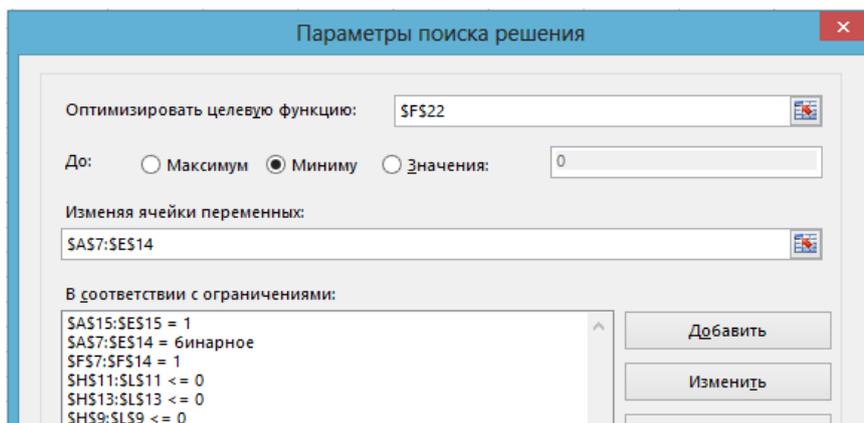


Рис. 2 – Сценарий поиска решения

8. Команда «Найти решение» возвращает сообщение, что решение найдено и результаты (рис. 3).

7	0	0	0	0	1	1								
8	0	0	0	1	0	1								
9	0	0	0	1	0	1		0	0	0	0		-1	
10	0	0	1	0	0	1								
11	0	0	1	0	0	1		0	0	0		-2	-1	
12	0	1	0	0	0	1								
13	0	0	1	0	0	1		0	-1	-1		-2	-1	
14	1	0	0	0	0	1								
15	1	1	1	1	1									
16														
17		0	0	0	0									
18	0	0	0	0	0									
19	1	1		0	0									
20	0	0	1		0									
21	0	0	0	1										
22						5								

Рис. 3 – Возвращаемые результаты

Как следует из данных диапазона A17:E21, в минимальное остовное ордерво входят дуги (5, 4), (4, 3), (3, 1), (3, 2).

Теорема 2 применима и к симметричным матрицам.

Пример 2. Найти минимальное остовное дерево в графе, матрица весовых коэффициентов дуг которого имеет вид:

$$C = \begin{pmatrix} \infty & 5 & 8 & 2 & 7 \\ 5 & \infty & 9 & 2 & 5 \\ 8 & 9 & \infty & 9 & 9 \\ 2 & 2 & 9 & \infty & 7 \\ 7 & 5 & 9 & 7 & \infty \end{pmatrix}$$

Решение. Заменяя на листе Excel с решением примера 1 данные диапазона A1:E5 новыми данными и запуская поиск решения по сценарию, показанному на рисунке 2, получаем (рис. 4), что в минимальное остовное дерево входят дуги (1, 3), (2, 4), (2, 5), (4, 1).

17			0	1	0	0
18		0	0	0	1	1
19		0	0	0	0	0
20		1	0	0	0	0
21		0	0	0	0	0
22						17

Рис. 4 – Возвращаемые результаты по данным примера 2

§2. Некоторые частные случаи минимальных остовных ордеревьев

Из теоремы 2, с учетом условия (4), следует нахождение следующих частных случаев минимальных остовных ордеревьев.

1. *Задача нахождения по матрице весовых коэффициентов C минимального остовного ордерова, корневой вершиной которого является заданная вершина с номером R, сводится к задаче квадратичного программирования (6, 11) при дополнительном ограничении $x_{1R} = 1$.*

Например, добавляя в сценарий решения (рис. 2) ограничение C7=1 и запуская поиск решения, получаем (рис. 5) матрицу смежности минимального остовного ордерова, корневой вершиной которого является вершина 3:

17			0	0	0	0
18		0	0	0	0	0
19		1	1	0	0	1
20		0	0	0	0	0
21		0	0	0	1	0
22						6

Рис. 5 – Корневая вершина имеет номер 3

В ордерова входят дуги (3, 1), (3, 2), (3, 5), (5, 4).

2. *Задача нахождения по матрице весовых коэффициентов C минимального остовного ордерова, в котором висячей является вершина с заданным номером R, сводится к задаче квадратичного программирования (6, 11) при дополнительном ограничении $\sum_{p=2}^{2(n-1)} x_{pR} = 1$.*

Например, записывая в ячейке H15 листа Excel с решением примера 1 формулу =СУММ(C8:C14), добавляя в сценарий решения (рис. 2) ограничение H15=1 и запуская поиск решения, получаем (рис. 6) матрицу смежности минимального остовного ордерова, в которой вершина с номером 3 является висячей:

17			1	0	0	0
18		0	0	0	0	0
19		0	0	0	0	0
20		0	0	1	0	0
21		1	0	0	1	0
22						7

Рис. 6 – Вершина с номером 3 является висячей

Как следует из данных, показанных на рисунке 6, минимальное остовное ордерова образуют дуги (1, 2), (4, 3), (5, 1), (5, 4).

3. *Задача нахождения по матрице весовых коэффициентов C минимального остовного ордерова, в котором транзитной является вершина с заданным номером R, сводится к задаче квадратичного программирования (6, 11) при дополнительных ограничениях $x_{1R} = 0$ и $\sum_{p=2}^{2(n-1)} x_{pR} \geq 2$.*

В частности, записывая в ячейке J15 листа Excel с решением примера 1 формулу =СУММ(B8:B14), добавляя в сценарий решения (рис. 2) ограничения $J15 \geq 2$, $B7=0$ и запуская поиск решения, получаем (рис. 7) матрицу смежности минимального остовного ордерера, в которой вершина с номером 2 является транзитной:

17		1	0	0	0
18	0	0	0	1	0
19	1	0		0	1
20	0	0	0		0
21	0	0	0	0	
22					8

Рис. 7 – Вершина с номером 2 является транзитной

Входящие в ордереро дуги (1, 2), (2, 4), (3, 1), (3, 5).

Понятно, что рассмотренные случаи можно комбинировать.

4. Задача нахождения по матрице весовых коэффициентов C минимального остовного ордерера, корневой вершиной которого является заданная вершина с номером R , а висячей – вершина с номером S , сводится к задаче

квадратичного программирования (6, 11) при дополнительных ограничениях $x_{1R} = 1$, $\sum_{p=2}^{2(n-1)} x_{pS} = 1$.

Например, добавляя в сценарий решения (рис. 2) ограничения $A7=1$, $H15=1$ и запуская поиск решения, получаем (рис. 8) матрицу смежности минимального остовного ордерера, в котором вершина 1 является корневой вершиной, а вершина 3 – висячей:

17		1	0	1	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0		0	0
20	0	0	0		1
21	0	0	1	0	
22					10

Рис. 8 – Вершина 1 является корневой, вершина 3 – висячей

Входящие в ордереро дуги (1, 2), (1, 4), (4, 5), (5, 3).

Заключение

Из приведенных результатов видно, что получены эффективные методы нахождения минимальных ориентированных остовных деревьев, включая нахождение многочисленных частных случаев этих деревьев.

Список литературы / References

1. Леонников А.В. Решение задач оптимизации в среде MS EXCEL / А.В. Леонников – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 704 с.
2. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов / Ф.А. Новиков – СПб: Питер, 2000. – 304 с.
3. Сдвижков О.А. Дискретная математика и математические методы экономики с применением VBA Excel / О.А. Сдвижков – М.: ДМК Пресс, 2012. – 212 с.
4. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей: Пер. с англ. / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас – М.: Мир, 1984. – 496 с.
5. Sdvizhkov O.A., Matsnev N.P. Problema generalizzato del albero ricoprente minimo / O.A. Sdvizhkov, N.P. Matsnev // Italian Science Review, 2016, 6 (39), P. 36-39

Список литературы на английском языке / References in English

1. Leonnikov A.V. Reshenie zadach optimizacii v srede MS EXCEL [The decision of tasks of optimization in environment MS EXCEL] / A.V. Leonnikov – М.: Publishing house "Williams", 2005. – 704 p. [in Russian]
2. Novikov F.A. Diskretnaja matematika dlja programmistov [Discrete mathematics for the programmers] / F.A. Novikov – SPb: Piter, 2000. – 304 p. [in Russian]
3. Sdvizhkov O.A. Diskretnaja matematika i matematicheskie metody jekonomiki s primeneniem VBA Excel [Discrete mathematics and mathematical methods of economy with application VBA Excel] / O.A. Sdvizhkov – М.: DMK Press, 2012. – 212 p. [in Russian]
4. Phillips D., Garcia-Diaz A. Metody analiza setej: Per. s angl. [Methods of the analysis of networks: Trans. from angl.] / D. Phillips, A. Garcia-Diaz – М.: Mir, 1984. – 496 p. [in Russian]
5. Sdvizhkov O.A., Matsnev N.P. Obobshhennaja zadacha o minimal'nom ostovnom derive [The generalized task about the minimal skeletal tree] / O.A. Sdvizhkov, N.P. Matsnev // Italian Science Review, 2016, 6 (39), P. 36-39

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.055>Стрюков М.Б.¹, Сахарова Л.В.¹, Алексейчик Т.В.², Богачев Т.В.³¹Доктор физико-математических наук,²кандидат экономических наук,³кандидат физико-математических наук,

Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ***Аннотация*

Предложена модель расчета комплексной оценки уровня интенсификации сельскохозяйственного производства региона на основе теории нечетки множеств. В качестве критериев оценки использованы показатели двух групп: уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве и уровня экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве. Методика позволила получить оценку уровня интенсификации АПК в Ростовской области и дать рекомендации по его повышению.

Ключевые слова: теория нечетких множеств, лингвистическая переменная, комплексная оценка, уровень интенсификации производства.

Stryukov M.B.¹, Sakharova L.V.¹, Alekseichik T.V.², Bogachev T.V.³¹PhD in Physics and Mathematics,²PhD in Economy,³PhD in Physics and Mathematics,

Rostov State University of Economy (RSUE)

**METHODS FOR EVALUATION OF THE INTENSITY OF AGRICULTURAL PRODUCTION BASED
ON THE THEORY OF FUZZY SETS***Abstract*

The authors propose the model for calculating the integrated assessment of the intensification of agricultural production in the region based on the theory of fuzzy sets. The indicators of the two groups were used as the evaluation criteria: the level of intensification of agricultural production and the level of economic efficiency of the intensification of agricultural production. The method allowed to obtain the estimate of the level of intensification of the agro-industrial complex in the Rostov region and to give recommendations on its increase.

Keywords: theory of fuzzy sets, linguistic variable, complex estimation, level of production intensification.

Кафедра фундаментальной и прикладной математики Ростовского государственного университета (РИНХ) на основе расчетов по показателям, предложенным Минсельхозпродом за 2014 – 2016 гг., предлагает оценку уровня интенсификации сельскохозяйственного производства Ростовской области с использованием теории нечетких множеств [1], [2] по критериям двух групп: уровень интенсификации производства в сельском хозяйстве и уровень экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве.

Введем в рассмотрение лингвистические переменные: g = «комплексная оценка интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области»; g_1 = «оценка уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области»; g_2 = «оценка экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области».

Универсальным множеством для каждой лингвистической переменной является числовой отрезок $[0,1]$, а множеством значений всех трех переменных g, g_1, g_2 – терм-множество $G = \{G_1, G_2, G_3, G_4, G_5\}$, где G_1 – «устойчивая тенденция к уменьшению роста»; G_2 – «тенденция к уменьшению роста»; G_3 – «тенденция к стагнации»; G_4 – «тенденция к росту»; G_5 – «устойчивая тенденция к росту».

Введем лингвистическую переменную «Уровень показателя» с терм-множеством значений «Очень низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий». Для описания подмножеств этого терм-множества введем систему из пяти соответствующих функций принадлежности трапециевидального вида:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 0,15 \\ 10(0,25 - x), & 0,15 \leq x < 0,25 \\ 0, & 0,25 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad \mu_2(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0,15 \\ 10(x - 0,25), & 0,15 \leq x < 0,25 \\ 1, & 0,25 \leq x < 0,35 \\ 10(0,45 - x), & 0,35 \leq x < 0,45 \\ 0, & 0,45 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq x < 0,35 \\ 10(x-0,35), 0,35 \leq x < 0,45 \\ 1, 0,45 \leq x < 0,55 \\ 10(0,65-x), 0,55 \leq x < 0,65 \\ 0, 0,65 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad \mu_2(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq x < 0,15 \\ 10(x-0,25), 0,15 \leq x < 0,25 \\ 1, 0,25 \leq x < 0,35 \\ 10(0,45-x), 0,35 \leq x < 0,45 \\ 0, 0,45 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_5(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq x < 0,75 \\ 10(x-0,75), 0,75 \leq x < 0,85 \\ 1, 0,85 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

Везде в формулах x – это $[0,1]$ -носитель. Построенные функции принадлежности приведены на рис.1. Введем также набор так называемых **узловых точек** $\alpha_j = (0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9)$, которые являются, с одной стороны, абсциссами максимумов соответствующих функций принадлежности на $[0,1]$ -носителе, а, с другой стороны, равномерно отстоят друг от друга на $[0,1]$ -носителе и симметричны относительно узла 0,5. Тогда введенную лингвистическую переменную «Уровень показателя», определенную на $[0,1]$ -носителе, в совокупности с набором узловых точек в теории нечетких множеств называют **стандартным пятиуровневым нечетким $[0,1]$ -классификатором**.

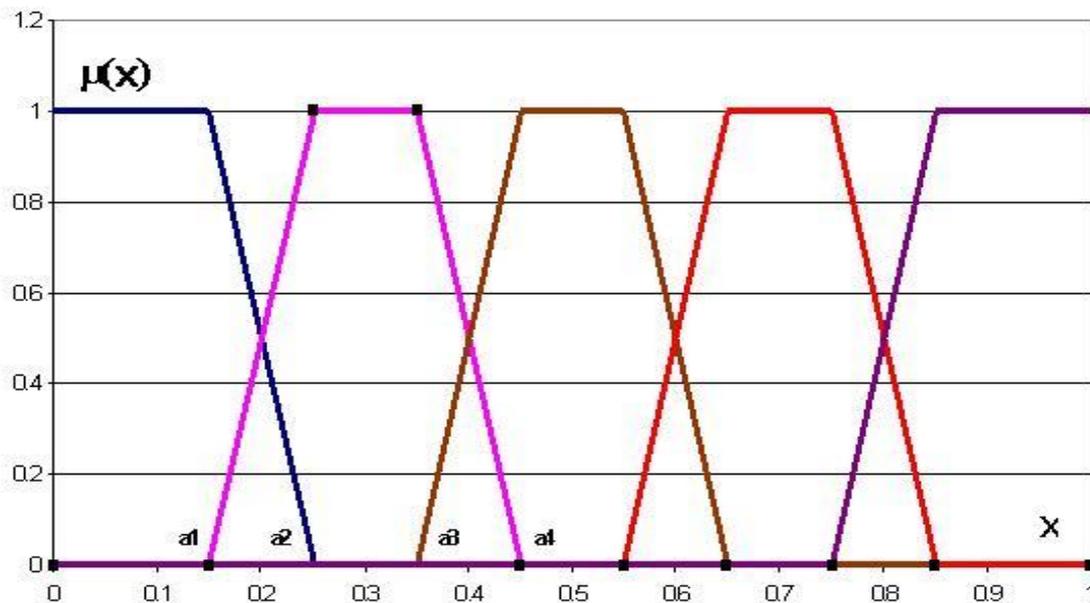


Рис.1. Система трапециевидных функций принадлежности на $[0,1]$ -носителе

Оценку уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве в Ростовской области будем производить по 14 показателям (табл. 1), а уровень экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве в Ростовской области – по 10 показателям (таблица 2).

Введем обозначения для показателей первой группы (табл. 1):

x_i^1 – темп прироста i – го показателя первой группы в 2015 году по отношению к 2014 году; x_i^2 – темп прироста i – го показателя первой группы в 2016 году по отношению к 2015 году; x_i – числовое значение лингвистической переменной i – го показателя первой группы; соответственно, для показателей второй группы (табл. 2):

Таблица 1 – Показатели уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области

Показатели	2014 год	2015 год	2016 год	x_i^1	x_i^2	x_i
1.Совокупные затраты с/х в расчете на 1 га земельной площади (тыс.руб./га) - x_1	27,98	33,40	41,73	19,4	24,9	0,726
2. Стоимость производств. фондов на 1 га с/х угодий (тыс.руб./га)	20,55	23,71	28,45	15,4	20,0	
2.1. Фондооснащенность (тыс.руб./га) - x_2	12,66	15,14	18,57	19,6	22,6	0,726
2.2.Энергооснащенность (л.с./га) - x_3	1,74	1,67	1,75	- 4,0	4,8	0,900
2.3.Энерговооруженность (л.с./чел.) - x_4	140,6	141,4	139,5	0,6	-0,01	0,685
2.4.Уд.вес породных животных в общем поголовье (%)						
КРС - x_5	36,3	35,4	34,4	-2,5	-3,2	0,226
Свиньи - x_6	3,7	2,8	0,31	-24,4	-88,9	0,191
Овцы - x_7	41,7	51,5	50,3	23,5	-0,02	0,785
3. Сумма текущих производств. Затрат с/х на 1 га с/х угодий (тыс.руб./га)	15,32	18,26	23,15	19,2	26,8	
3.1. Размер текущих производств.затрат растениеводства на 1 га пашни(тыс.руб./га) - x_8	12,62	15,06	18,13	19,3	20,4	0,727
3.2.Размер текущих производств.затрат животноводства на 1 гол. сельхозживотных (тыс.руб.на 1 гол.)						
Молочный КРС - x_9						
Мясной КРС - x_{10}	46,27	53,8	62,79	16,3	16,7	0,731
Свиньи - x_{11}	9,03	12,35	14,56	36,7	17,9	0,723
	15,14	17,16	27,63	13,3	61,0	0,725
3.3. Расход кормов на 1 голову скота(тыс.руб.на 1 гол.)						
Молочный КРС - x_{12}	20,97	24,05	28,34	14,7	17,8	0,732
Мясной КРС - x_{13}	3,77	5,23	5,94	38,7	13,8	0,727
Свиньи - x_{14}	7,81	9,83	18,32	25,8	86,4	0,639

y_i^1 – темп прироста i -го показателя второй группы в 2015 году по отношению к 2014 году; y_i^2 – темп прироста i -го показателя второй группы в 2016 году по отношению к 2015 году; y_i – числовое значение лингвистической переменной i -го показателя второй группы.

Таблица 2 – Показатели экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области

Показатели	2014 год	2015 год	2016 год	y_i^1	y_i^2	y_i
1. Объем валового дохода (вся выручка) (тыс.руб./га) - y_1	16,62	21,80	25,86	31,1	18,6	0,724
2. Уровень рентабельности (%) - y_2	18,6	25,2	21,1	35,5	-16,3	0,858
3. Фондоотдача (руб.) - y_3	1,37	1,56	1,53	13,8	-1,90	0,760
4. Производительность труда (%) - y_4	133	105	116,6	-21,1	11,0	0,346
5. Урожайность с/х культур (ц/га)						
5.1. Урожайность зерновых и зернобобовых без кукурузы - y_5	32,0	32,2	37,5	0,6	16,4	0,747
5.2. Урожайность подсолнечника - y_6	16,3	17,7	23,1	8,6	30,5	0,735
5.3. Урожайность овощей открытого грунта - y_7	329,9	326,8	278,2	-0,9	-14,9	0,249
6. Продуктивность сельхозживотных						
6.1. Средний удой молока от 1 коровы (кг) - y_8	4693	4954	5249	5,5	6,0	0,743
6.2. Средняя яйценосность курицы-несушки (шт.) - y_9	302	312	305	3,3	-2,2	0,775
6.3. Выход телят на 100 основных коров (гол.) - y_{10}	96,3	99,4	95,7	3,2	-3,7	0,375

Числовые значения лингвистических переменных x_i, y_i предложено определять на основе следующей формулы:

$$x_i = 0,5 + 0,25 \frac{x_i^1}{|x_{i1,3}|} + 0,25 \frac{x_i^2}{|x_{i1,3}|} \quad (\text{для } y_i - \text{аналогично}), \quad (1)$$

где $x_{i1,3}$ – темп прироста показателя в 2016 году по отношению к 2014 году.

Схема вычисления числовых значений показателей этих лингвистических переменных представлена на рис.2.

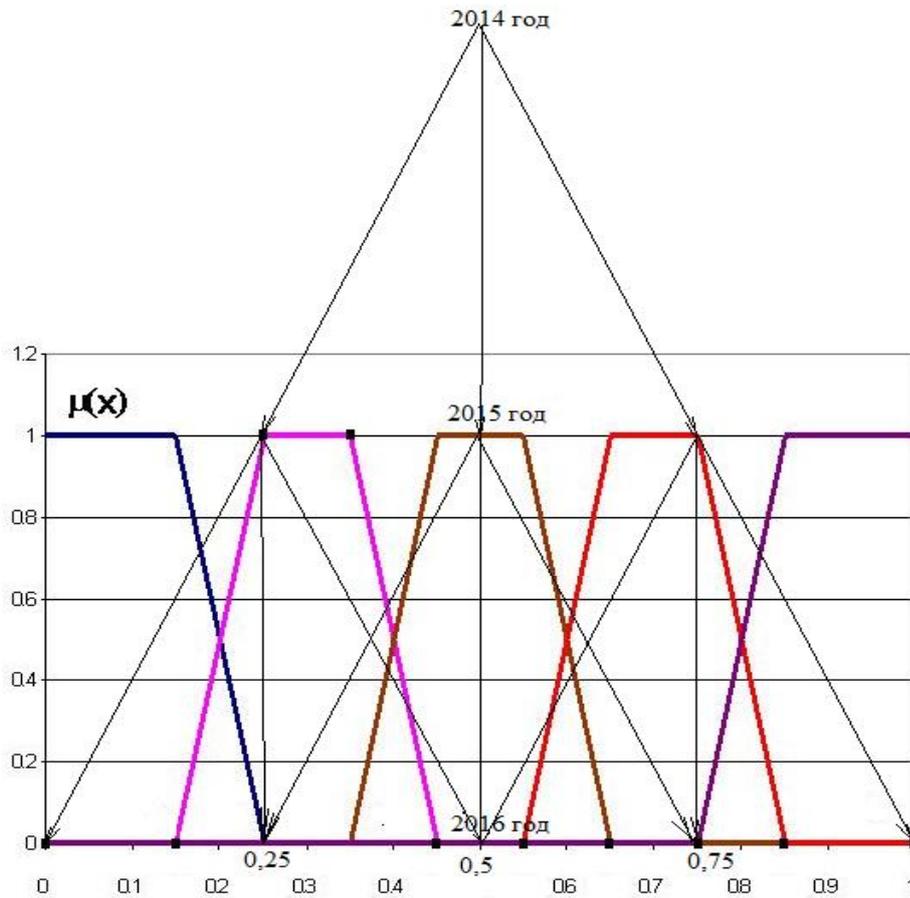


Рис. 2 – Схема вычисления числовых значений показателей этих лингвистических переменных

Каждая числовая переменная x_i, y_i является множеством-носителем лингвистических переменных B_i, C_i , состоящих из следующих термов: B_{i1}, C_{i1} – «очень низкий уровень показателя»; B_{i2}, C_{i2} – «низкий уровень показателя»; B_{i3}, C_{i3} – «средний уровень показателя»; B_{i4}, C_{i4} – «высокий уровень показателя»; B_{i5}, C_{i5} – «очень высокий уровень показателя».

Показатели уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве имеют различную значимость, поэтому предлагается ввести весовые коэффициенты для каждого показателя. Показатели уровня интенсификации производства образуют три группы: первая группа отражает совокупные затраты сельского хозяйства, вторая группа – стоимость производственных фондов, третья группа – текущие производственные затраты. При этом роль совокупных затрат и стоимости основных производственных фондов в оценке уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве раскрывается через более подробные показатели: во второй группе – через показатели фондооснащенности, энергооснащенности, энерговооруженности и удельного веса породных животных в общем поголовье; в третьей группе – через показатели размера текущих производственных затрат растениеводства животноводства, расход кормов на 1 голову скота. В каждой группе показатели считаем равнозначными. Значения весов показателей представлены в табл. 3,4.

Правило перехода от значений показателей X_i к весам термов лингвистической переменной g_1 имеет вид:

$$p_k = \sum_{i=1}^N r_i \cdot \mu_{ik}(x_k), \quad k = 1 \dots 5 \quad (2)$$

Тогда значение самой переменной g_1 имеет вид

$$g_1 = \sum_{k=1}^5 p_k \cdot \bar{g}_k, \quad (3)$$

где \bar{g}_k – середины промежутков, являющихся носителями термов (рис.2),

g_1 – «оценка уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области». Для g_2 вычисления выполняются аналогично (табл. 4).

Таблица 3 – Веса и термы для показателей первой группы

Показатели	Веса показателей	Значения показателей	Термы лингвистической переменной первой группы				
			B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}	B_{i5}
x_1	$\frac{1}{3}$	0,726	0	0	0	1	0
x_2	$\frac{1}{12}$	0,726	0	0	0	1	0
x_3	$\frac{1}{12}$	0,9	0	0	0	0	1
x_4	$\frac{1}{12}$	0,685	0	0	0	1	0
x_5	$\frac{1}{36}$	0,226	0,24	0,76	0	0	0
x_6	$\frac{1}{36}$	0,191	0,59	0,41	0	0	0
x_7	$\frac{1}{36}$	0,785	0	0	0	0,65	0,35
x_8	$\frac{1}{9}$	0,727	0	0	0	1	0
x_9	$\frac{1}{27}$	0,731	0	0	0	1	0
x_{10}	$\frac{1}{27}$	0,723	0	0	0	1	0
x_{11}	$\frac{1}{27}$	0,725	0	0	0	1	0
x_{12}	$\frac{1}{27}$	0,732	0	0	0	1	0
x_{13}	$\frac{1}{27}$	0,727	0	0	0	1	0
x_{14}	$\frac{1}{27}$	0,639	0	0	0,11	0,89	0
Веса термов лингвистической переменной первой группы			$p_1^x = 0,0231$	$p_2^x = 0,0325$	$p_3^x = 0,0041$	$p_4^x = 0,8474$	$p_5^x = 0,0833$

Таблица 4 – Веса и термы для показателей второй группы

Показатели	Веса показателей	Значения показателей	Термы лингвистической переменной второй группы				
			C_{i1}	C_{i2}	C_{i3}	C_{i4}	C_{i5}
y_1	$\frac{1}{6}$	0,724	0	0	0	1	0
y_2	$\frac{1}{6}$	0,858	0	0	0	0	1
y_3	$\frac{1}{6}$	0,760	0	0	0	0,9	0,1
y_4	$\frac{1}{6}$	0,346	0	1	0	0	0
y_5	$\frac{1}{18}$	0,747	0	0	0	1	0
y_6	$\frac{1}{18}$	0,735	0	0	0	1	0
y_7	$\frac{1}{18}$	0,249	0,01	0,99	0	0	0
y_8	$\frac{1}{18}$	0,743	0	0	0	1	0
y_9	$\frac{1}{18}$	0,775	0	0	0	0,75	0,25
y_{10}	$\frac{1}{18}$	0,375	0	0,75	0,25	0	0
Веса термов лингвистической переменной второй группы			$p_1^y = 0,0231$	$p_2^y = 0,0325$	$p_3^y = 0,0041$	$p_4^y = 0,8474$	$p_5^y = 0,0833$

Используя веса термов из таблиц 3 и 4, определенные на основании формулы (2), вычислим средние веса P_i для лингвистической переменной g :

$$p_1 = \frac{p_1^x + p_1^y}{2} = 0,0119, \quad p_2 = \frac{p_2^x + p_2^y}{2} = 0,1480, \quad p_3 = \frac{p_3^x + p_3^y}{2} = 0,009, \quad p_4 = \frac{p_4^x + p_4^y}{2} = 0,6862,$$

$$p_5 = \frac{p_5^x + p_5^y}{2} = 0,1403.$$

Учитывая значения средних весов, а также середины интервалов носителей термов (рис. 2),

$$\bar{g}_1 = 0,125, \quad \bar{g}_2 = 0,3, \quad \bar{g}_3 = 0,5, \quad \bar{g}_4 = 0,7, \quad \bar{g}_5 = 0,885,$$

на основании формулы (3) получим комплексную числовую оценку g интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области:

$$g = 0,6549. \quad \mu(0,6549) = \mu_4(0,655) = 1.$$

Следовательно, комплексная оценка интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области в соответствии с введенным выше терм-множеством $G = \{G_1, G_2, G_3, G_4, G_5\}$, соответствует терму

G_4 – «тенденция к росту». Вычисляя по отдельности на основании формул (2) и (3), числовые оценки g_1 = «оценка уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области» и g_2 = «оценка экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области», получаем:

$$g_1 = 0,6817, \quad g_2 = 0,4536.$$

Следовательно, «оценка уровня интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области» соответствует терму G_4 – «тенденция к росту», а «оценка экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве Ростовской области» – терму G_3 – «тенденция к стагнации».

Таким образом, на основе построенной модели можно дать следующие рекомендации:

1. Необходимо обратить внимание на улучшение показателей экономической эффективности интенсификации производства в сельском хозяйстве.
2. Особое внимание уделить повышению урожайности овощей открытого грунта.
3. Провести необходимые мероприятия по повышению производительности труда.
4. Повысить процент выхода телят на 100 основных коров.

Список литературы / References

1. Nedosekin A.O. Fuzzy financial management / A.O.Nedosekin // Russia, Moscow, AFA Library, 2003. – 182 p.
2. Конышева Л.К. Основы теории нечетких множеств: Учебное пособие / Л.К.Конышева, Д.М.Назаров. – СПб.: Питер, 2011. – 192 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nedosekin A.O. Fuzzy financial management / A.O.Nedosekin // Russia, Moscow, AFA Library, 2003. – 182 p.
2. Konyshova L.K. Osnovy teorii nechetkih mnozhestv: Uchebnoe posobie [Fundamentals of the theory of fuzzy sets: a Training manual] / L.K.Konyshova, D.M.Nazarov. – SPb.: Piter, 2011. – 192 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.61.041>Филиппов Д.А.¹, Тихонов А.А.², Лалетин В.М.³, Фирсова Т.О.⁴, Маничева И.Н.⁵.¹ORCID: 0000-0002-4359-7770, Доктор физико-математических наук,
Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,²ORCID: 0000-0002-4123-4909, Кандидат технических наук,
Новгородский государственный университет;³ORCID: 0000-0002-3531-0629, Кандидат физико-математических наук,
Институт технической акустики; Витебск, Белоруссия;⁴ORCID: 0000-0003-2773-607X, Инженер, Новгородский государственный университет;⁵ORCID: 0000-0002-5282-2263, Аспирант, Новгородский государственный университет.*Работа выполнена при частичной поддержке гранта конкурса РФФИ – БРФФИ проект № 16-52-00184 Бел_a и гранта РФФИ – Новгородская область проект № 16-42-530470***ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЕ
АРСЕНИД ГАЛЛИЯ – НИКЕЛЬ – ОЛОВО – НИКЕЛЬ****Аннотация**

Представлены результаты исследования магнитоэлектрического эффекта в многослойной структуре никель – олово – никель, полученной гальваническим осаждением на подложку из арсенида галлия. Описана технология изготовления многослойных структур, приведены экспериментальные результаты частотной зависимости магнитоэлектрического эффекта. Показано, что применение олова в качестве промежуточного слоя уменьшает механические напряжения, возникающие вследствие несоизмерности фаз, что дает возможность получения качественных структур с толщиной никелевого слоя порядка 70 микрон. Полученные структуры имеют хорошую адгезию между слоями и обладают высокой добротностью.

Ключевые слова: магнитоэлектрический эффект, арсенид галлия, никель, олово, адгезия, гальваническое осаждение.

Filippov D.A.¹, Tikhonov A.A.², Laletin V.M.³, Firsova T.O.⁴, Manicheva I.N.⁵.¹ORCID: 0000-0002-4359-7770, PhD in Physics and Mathematics, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University;
Veliky Novgorod, Russia;²ORCID: 0000-0002-4123-4909, PhD in Engineering, Novgorod State University;³ORCID: 0000-0002-3531-0629, PhD in Physics and Mathematics, Institute of Technical Acoustics; Vitebsk, Belarus;⁴ORCID: 0000-0003-2773-607X, Engineer, Novgorod State University;⁵ORCID: 0000-0002-5282-2263, Postgraduate Student, Novgorod State University*The work was carried out with the partial support of the Russian Foundation for Basic Research, project No. 16-52-00184 Bel_a and a grant from the Novgorod region, project No. 16-42-530470***STUDY OF MAGNETO-ELECTRIC EFFECT IN MULTILAYER STRUCTURE OF GALLIUM
ARSENIDE-NICKEL-TIN-NICKEL****Abstract**

The article contains the results of the magneto-electric effect study in a multilayer nickel-tin-nickel structure obtained by means of electroplating on a substrate of gallium arsenide. The paper describes the technology of manufacturing multilayer structures and experimental results of the frequency dependence of the magneto-electric effect. It is shown that the use of tin as an intermediate layer reduces mechanical stresses arising from the incommensurability of the phases which enables obtaining qualitative structures with a thickness of the nickel layer of the order of 70 microns. Resulting structures have good adhesion between the layers and a high Q-factor.

Keywords: magneto-electric effect, gallium arsenide, nickel, tin, adhesion, electroplating.

Введение

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект, предсказанный теоретически и обнаруженный экспериментально более полувека назад, интенсивно исследуется в последнее время [1, С. 593]. Создание материалов, с большим значением эффекта позволило разработать твердотельные приборы на основе МЭ эффекта, которые по своим параметрам не только не уступают, а в целом ряде случаев превосходят традиционные устройства. Широкое применение для создания таких приборов получили композиты, состоящие из магнитострикционной (МС) и пьезоэлектрической (ПЭ) компонент. Их условно можно разделить на объемные и слоистые композиты. Объемные композиты, созданные с помощью керамических технологий, представляют собой механически связанные смеси порошков МС и ПЭ фаз [2, С. 177]. Слоистые композиты представляют собой структуры, состоящие из механически связанных МС и ПЭ слоев [3, С. 214408]. Они хорошо поляризуются, имеют малые токи утечки. В качестве МС фазы можно использовать металлы со значительным коэффициентом магнитострикции. Большинство таких структур получено методом склеивания слоев. Это приводит к тому, что такие структуры обладают плохой механической прочностью. Кроме того, применение клея ухудшает параметры, приводит к нежелательно высокой температурной зависимости, уменьшению добротности структуры. В [4, С. 71] приведены результаты исследования МЭ эффекта в структуре, где МС фаза наносилась на ПЭ подложку методом напыления. Изготовленные структуры обладали хорошим механическим контактом между фазами, но имели небольшое значение эффекта. Это связано с тем, что не выполнялось оптимальное соотношение между толщинами слоев. В [5, С. 1728], показано, что максимальное значение

эффекта достигается при условии выполнения равенства ${}^p t \sqrt{{}^p Y} = {}^m t \sqrt{{}^m Y}$, где ${}^p Y$, ${}^m Y$ – модули Юнга ПЭ и МС фаз, ${}^p t$, ${}^m t$ – их толщины. Модули Юнга ПЭ и МС фаз обычно отличаются не более чем в два раза, поэтому

максимальное значение эффекта получается, когда толщина магнетика соизмерима с толщиной пьезоэлектрика. Использование технологии электролитического осаждения МС металла на ПЭ подложку позволяет получить МС слои, толщина которых соизмерима с толщиной ПЭ подложки. Однако при получении толстых слоев (более 50 мкм) ухудшается адгезия между слоями. Чтобы улучшить адгезию между фазами следует использовать предварительное напыление подслоев. В работе [6, С. 72], показано, что напыление подслоев Au – Ge – Ni, на подложку из GaAs с последующим электролитическим осаждением Ni позволило изготовить структуры с хорошей адгезией между слоями. Однако, при больших толщинах слоев возникают механические напряжения на границе раздела фаз вследствие несоответствия параметров решеток. Это приводит к короблению и разрушению структуры. Один из методов устранения этих напряжений заключается в создании многослойной структуры, где электролитически осажденный слой никеля чередуется с электролитически осажденным слоем олова, являющимся буферным слоем и снимающим механические напряжения.

1. Технология изготовления структур

Исходные образцы с размерами 14×4×0.4 мм вырезались из пластин арсенида галлия с ориентацией поверхности (100) толщиной в форме параллелепипеда, длинная сторона которого совпадала с направлением <110> кристалла. Арсенид галлия был выбран потому, что как показывают расчеты [5, С. 1728] величина МЭ эффекта пропорциональна отношению $\frac{d}{\varepsilon}$, где d – ПЭ модуль, ε – диэлектрическая проницаемость. Вследствие этого, для получения

наибольшего эффекта, при изготовлении слоистых структур в качестве ПЭ фазы целесообразно использовать материал, имеющий наибольшее значение отношения $\frac{d}{\varepsilon}$. Величина пьезомодуля у GaAs в 37 раз меньше, чем у ЦТС

(GaAs $d = -2,69 \text{ нКл/м}$, ЦТС $d = 100 \text{ нКл/м}$), однако величина его диэлектрической проницаемости в 135 раз меньше, чем у ЦТС (GaAs $\varepsilon = 12,9$, ЦТС $\varepsilon = 1750$). Поэтому при прочих равных условиях величина МЭ эффекта в структурах на основе GaAs будет почти такой же, как и в структурах на основе ЦТС. Кроме того использование отлаженной технологии позволяет значительно упростить процесс изготовления структур, поскольку арсенид галлия является монокристаллом с более стабильными свойствами, в отличие от ЦТС, и не требует предварительной поляризации.

Для улучшения адгезии на образцы наносилось предварительное напыление подслоев Au-Ge-Ni. Все образцы перед нанесением гальванических покрытий контактировали с помощью никелевой проволоки диаметром 0,2 мм или с помощью зажима. Образцы обезжиривали с помощью раствора лабонида 203.

В таблице 1 приведены составы электролитов, используемых для нанесения гальванических покрытий.

В начале процесса электролиза применялся толчок тока, т. е. катодную плотность тока повышали в 2 раза в течение одной минуты по сравнению с основной рабочей катодной плотностью тока.

Таблица 1 – Составы электролитов, использованные для создания структур.

Компоненты электролита, г/л	Электролит №1	Электролит №2
Никель сернокислый семиводный	250	-
Никель хлористый шестиводный	50	-
Олово сернокислое	-	60
Борная кислота	25	-
Серная кислота	-	105
Препарат ОС - 20	-	4,5

Для получения многослойной структуры поочередно использовали электролитическое осаждение в сернокислом электролите никелирования №1, при катодной плотности тока 1 А/дм² и температуре электролита 55 - 65°С, а затем электроосаждение в электролите лужения №2 при комнатной температуре и катодной плотности тока 2 А/дм². Полученная многослойная структура, состоит из следующих слоёв: оловянный – 8 мкм, никелевый – 12 мкм, оловянный – 9,6 мкм, никелевый – 12 мкм, оловянный – 38,4 мкм, никелевый – 6 мкм, оловянный – 8 мкм, никелевый – 12 мкм, оловянный – 7,2 мкм, никелевый – 12 мкм, оловянный – 9,6 мкм, никелевый – 12,6 мкм, оловянный – 9,6 мкм. Полученная многослойная структура, состоит из шести слоёв никеля, общей толщиной 66,6 мкм и семи слоёв олова, общей толщиной 90,4 мкм. Общая толщина многослойной структуры составила 157 мкм. Покрытие на арсениде галлия обладает ровной, матовой поверхностью без видимых дефектов.

2. Магнитоэлектрический эффект в многослойной структуре

МЭ эффект в структуре изучался методом измерения напряжения на образце, помещенном в постоянное (подмагничивающее) и переменное магнитное поля, направленные вдоль длинной стороны образца. Вначале исследовалась зависимость низкочастотного МЭ сигнала от величины подмагничивающего поля. Затем при напряженности поля подмагничивания, соответствующего максимуму эффекта, исследовалась частотная зависимость МЭ коэффициента в области электромеханического резонанса. У арсенида галлия отличными от нуля компонентами ПЭ тензора являются $d_{14} = d_{25} = d_{36}$, поэтому электрическое напряжение, индуцируемое на обкладках образца, возникает в результате деформаций сдвига, а не деформаций растяжения – сжатия как в ЦТС. Переменное магнитное поле, направленное в нашем случае вдоль длинной стороны образца (ось X) индуцирует в МС компоненте деформации растяжения – сжатия, тензор которых, в системе координат, связанных с образцом, обозначим как S_{xx} . Эти деформации передаются в ПЭ фазу образца, длинная сторона которого совпадает с направлением <110> кристалла. Таким образом, в системе координат, связанной с кристаллом (x_1, x_2, x_3), тензор деформаций будет обладать другими компонентами. Используя стандартные преобразования тензоров

$$S_{i'j'} = \beta_{i'k} \beta_{j'l} S_{kl}, \quad (1)$$

Легко видеть, что в данном случае отличной от нуля будет компонента тензора деформаций $S_6 = \beta_{x_1x} \beta_{x_2x} S_{xx}$, которая приведет к индуцированию электрического поля. Здесь $\beta_{i'k}$ - матрица косинусов между кристаллографической системой координат и системой координат, связанной с кристаллом. На рис. 1 показаны результаты частотной зависимости структуры.

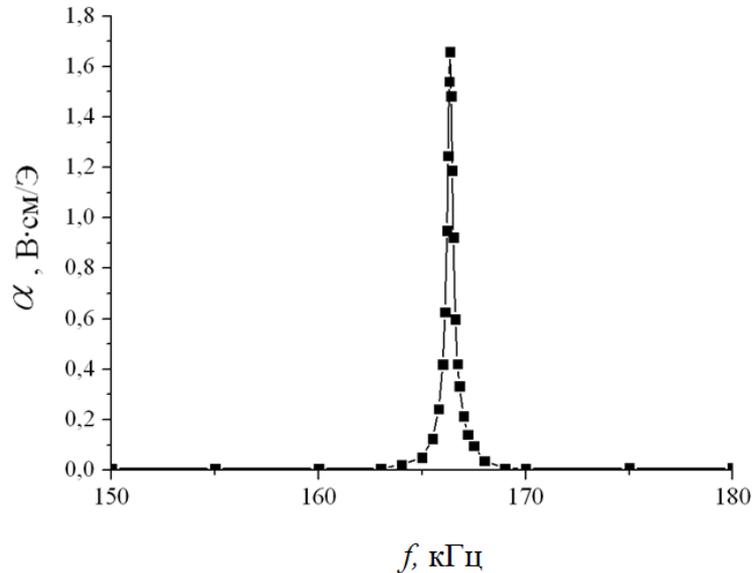


Рис. 1 – Частотная зависимость многослойной структуры арсенид галлия – никель – олово – никель. Поле подмагничивания $H_{bias}=360$ Ое

Из рисунка видно, что частотная зависимость имеет резкий резонансный характер. Хотя величина МЭ коэффициента по напряжению ниже, чем в чистой структуре никель – арсенид галлия [6], что объясняется наличием пассивного буферного слоя олова, однако данная структура имеет очень высокую добротность. На рис. 2 представлена частотная зависимость эффекта в узкой области вблизи резонанса.

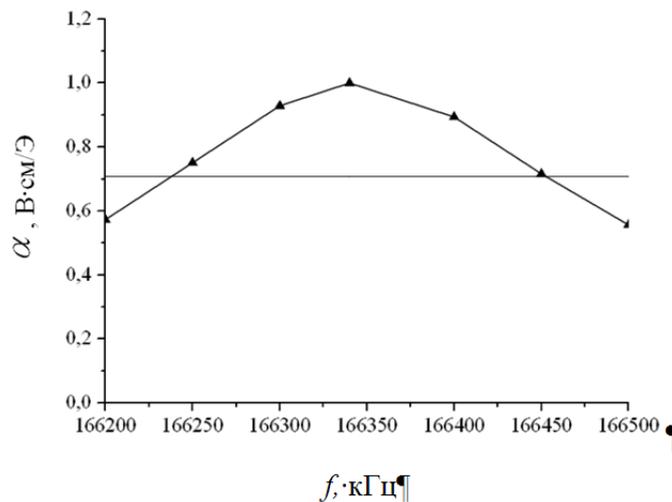


Рис. 2 – Частотная зависимость эффекта в узкой области вблизи резонанса

Из рисунка следует, что добротность системы $Q \approx 800$. Это является преимуществом по сравнению с добротностью образцов, полученных с применением технологии склеивания.

Заключение

Применение промежуточного слоя олова при электролитическом осаждении никеля на арсенид-галлиевую подложку позволяет получить структуры с толщиной никелевого слоя до 70 мкм, имеющие хорошую адгезию между слоями и высокую добротность, обладающие хорошей механической прочностью. Такие слоистые структуры являются перспективными для конструирования приборов на основе МЭ эффекта.

Список литературы / References

1. Звездин А.К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики / А.К.Звездин, А.П. Пятаков // Успехи физических наук.- 2012.- Т. 182.- № 6.- С. 593-620.
2. Laletin V.M. Magnetolectric Effects in Composites of Nickel Ferrite and Barium Lead Zirconate Titanate / V.M. Laletin, G.Srinivasan // Ferroelectrics. - 2002. - Vol. 280.- Pp. 177-185.
3. Srinivasan G. Novel magnetolectric bilayer and multilayer structures of magnetostrictive and piezoelectric oxides / G. Srinivasan, E.T. Rasmussen, J. Gallegos, R. Srinivasan, Yu. I. Bokhan, V.M. Laletin // Physical Review B. – 2001. – Vol.64. – Pp. 214408 (1-6).
4. Лалетин В.М. Магнитоэлектрический эффект в структурах на основе металлизированных подложек арсенида галлия / В.М. Лалетин, А.И. Стогний, Н.Н. Новицкий, Н.Н. Поддубная // Письма в ЖТФ. -2014. - Т. 40. - Вып. 21. - С. 71–77.
5. Филиппов Д.А. Магнитоэлектрический эффект в двухслойной магнитострикционно-пьезоэлектрической структуре / Д.А. Филиппов, В.М. Лалетин, Т.А. Galichyan // ФТТ. - 2013. - Т. 55. - Вып. 9. - С. 1728 – 1733.
6. Филиппов Д.А. Магнитоэлектрический эффект в структуре никель – арсенид галлия – никель / Д.А. Филиппов, Т.О. Фирсова, В.М. Лалетин, Н.Н. Поддубная // Письма в ЖТФ. - 2017. - Т. 43. - Вып. 6. - С. 72-77.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zvezdin A.K. Magnitojelektricheskie materialy i mul'tiferroiki [Magnetolectric materials and multiferroics] / A.K. Zvezdin, A.P. Pyatakov // Uspehi fizicheskikh nauk [Phys. – Usp.]. – 2012 – V.182. – № 6. – P. 593-620. [in Russian]
2. Laletin V.M. Magnetolectric Effects in Composites of Nickel Ferrite and Barium Lead Zirconate Titanat / V.M. Laletin, G. Srinivasan // Ferroelectrics. - 2002. - Vol. 280. - Pp. 177-185.
3. Srinivasan G. Novel magnetolectric bilayer and multilayer structures of magnetostrictive and piezoelectric oxides / G. Srinivasan, E. T. Rasmussen, J. Gallegos, R. Srinivasan, Yu.I. Bokhan, V.M. Laletin // Physical Review B. - 2001. - Vol.64. - Pp. 214408 (1-6).
4. Laletin V.M. Magnitoelektricheskij effekt v strukturah na osnove metallizirovannyih podlozek arsenide gallija [The magnetolectric effect in structures based on metallized gallium arsenide substrates] / V.M. Laletin, A.I. Stognij, N.N. Novickij, N.N. Poddubnaya // Pis'ma v ZhTF [Technical Physics Letters]. – 2014. – V. 40. – № 21. – P. 71 – 77 [in Russian].
5. Filippov D.A., Laletin V.M., Galichyan T.A. Magnitoelektricheskij effekt v dvuhsloynoy magnitostriksionno-piezoelektricheskoy structure [Magnetolectric effect in magnetostrictive-piezoelectric bilayer structure] // FTT [Physics of Solid State]. – 2013. – V. 55. – № 9. – P.1728 – 1733[in Russian].
6. Filippov D.A. Magnitojelektricheskij effekt v strukture nikel'-arsenid gallija-nikel' [The magnetolectric effect in Nickel – Gallium Arsenide – Nickel Structures] / D.A. Filippov, T.O. Firsova, V.M. Laletin, N.N. Poddubnaya // Pis'ma v ZhTF [Technical Physics Letters]. – 2017. – V. 43. – № 6 – P. 72–77 [in Russian].