

Вятский государственный университет

Advanced science

Н а у ч н ы й ж у р н а л

№ 2(13)

Киров
2019

ББК 74.48я52
А22

Главный редактор

Е. М. Вечтомов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой, ВятГУ,
ORCID: 0000-0002-3490-2956

Заместитель главного редактора

Д. Е. Прозоров, доктор технических наук, доцент, профессор, ВятГУ, ORCID: 0000-0002-3577-8838

Ответственный секретарь

Е. Н. Лубягина, кандидат физико-математических наук, доцент, ВятГУ, ORCID: 0000-0001-5071-6208

Состав редакционной коллегии:

А. В. Алешкин, доктор технических наук, профессор, директор, ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока» (г. Киров)
В. И. Варанкина, кандидат физико-математических наук, доцент, ВятГУ (г. Киров), ORCID: 0000-0003-4166-1182
И. В. Губин, кандидат технических наук, доцент, директор, Политехнический институт, ВятГУ (г. Киров)
В. И. Джиган, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Московский исследовательский центр ООО «Техкомпания Хуавэй» (г. Москва)
С. И. Калинин, доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, ВятГУ (г. Киров)
И. Б. Кожухов, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (г. Москва)
Е. В. Котельников, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ВятГУ (г. Киров)
А. А. Красных, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ВятГУ (г. Киров)
А. А. Махнев, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделом, Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского УрО РАН (г. Екатеринбург)
Н. Н. Непейвода, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт программных систем РАН (г. Переславль-Залесский)
В. П. Одинец, доктор физико-математических наук, профессор, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина (г. Сыктывкар)
С. М. Окулов, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор, ВятГУ (г. Киров)
Е. П. Петров, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ВятГУ (г. Киров), ORCID: 0000-0002-0336-1341
В. В. Сидоров, кандидат физико-математических наук, доцент, научный сотрудник, ВятГУ (г. Киров)
Д. А. Страбыкин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ВятГУ (г. Киров)
И. В. Флегентов, доктор технических наук, профессор, ВятГУ (г. Киров), ORCID: 0000-0002-6569-5654
А. Г. Хлебов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ВятГУ (г. Киров)
А. В. Частиков, доктор технических наук, профессор, ВятГУ (г. Киров), ORCID: 0000-0002-1998-7787
В. В. Черепанов, доктор технических наук, профессор, ВятГУ (г. Киров), ORCID: 0000-0002-5244-7061
В. В. Чермных, доктор физико-математических наук, доцент, профессор, ВятГУ (г. Киров)
Д. В. Чупраков, кандидат физико-математических наук, доцент, ВятГУ (г. Киров)
А. В. Шатров, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой, ВятГУ (г. Киров)

Научный журнал «Advanced science»

**как средство массовой информации зарегистрирован в Роскомнадзоре
(Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС 77-67556 от 31 октября 2016 г.)**

Учредитель журнала ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

Адрес издателя: 610000, г. Киров, ул. Московская, 36,
тел. (8332) 208-964 (Научное издательство ВятГУ)

Адрес редакции: 610000, г. Киров, ул. Московская, 36,
тел. (8332) 208-964 (Научное издательство ВятГУ)

Редактор **М. О. Корякина**
Компьютерная верстка **Л. А. Кислицына**
Редактор выпускающий **А. И. Чернышова**
Ответственный за выпуск **И. В. Смольняк**

Цена свободная

© Вятский государственный университет (ВятГУ), 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Долженкова М. Л., Долженкова Н. А., Чистяков Г. А.</i> Исследование методов анализа разнородных наборов данных.....	4
<i>Крутиков А. К., Мельцов В. Ю., Подковырин В. Д.</i> Тестирование и модификация прототипа системы прогнозирования спортивных результатов.....	8
<i>Исупов К. С., Куваев А. С.</i> Реализация масштабированного векторного сложения многократной точности на GPU.....	13
<i>Ростовцев В. С., Черемисинова О. Н.</i> Результаты разработки программы распознавания изображений на языке Python	18
<i>Русов В. С., Захарова Д. А., Ключкин В. Л.</i> К вопросу устранения ЕЯ-неопределенностей в современных средствах обработки информации	22
<i>Гаврилов А. Е., Колупаев А. В.</i> Разработка алгоритма прогнозирования времени прибытия общественного транспорта на остановку	26
<i>Лялин С. Г.</i> Метод шумоподавления в речевых сигналах с помощью нейронной сети....	32

ФИЗИКА

<i>Запольских С. Н.</i> Уравнение баланса энергии в численных моделях с учетом вихревых токов в сердечниках магнитопровода.....	39
---	----

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<i>Малышева Н. М., Тимина Н. В.</i> Исследование температурного поля коллектора электрической машины.....	43
---	----

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Симонов М. В., Ситников М. С.</i> Стенд для испытания редукторов	49
<i>Лисовская О. Б., Терехихина И. Н.</i> Исследование структуры и свойств марганцевомедного сплава, легированного цирконием.....	53
<i>Апатов Ю. Л., Фасхутдинов Р. Р., Апатов К. Ю.</i> Совершенствование средств технологического оснащения процессов СПФ деталей и сборочных единиц.....	58
<i>Чернявский В. Б., Булычев П. В.</i> Анализ надежности режущего инструмента	63
<i>Паскарь В. С., Рублева О. А.</i> Направления применения экологичных изделий из древесно-композиционных материалов на основе отходов деревообработки	67

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.08

DOI 10.25730/VSU.0536.19.015

Исследование методов анализа разнородных наборов данных

М. Л. Долженкова¹, Н. А. Долженкова², Г. А. Чистяков³

¹кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: maryid@mail.ru

²аспирант кафедры электронных вычислительных машин, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: dolzhenkova.n.a@gmail.com

³кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: gennadiychistyakov@gmail.com

Аннотация. В современной коммуникации большое место отводится общению в социальных интернет-сетях, которые позволяют им обмениваться информацией, самовыражаться, расширять круг интересов. Информация, находящаяся в сети, является полезной, но зачастую не может быть использована, так как является слабоструктурированной. В связи с этим актуальной является задача мониторинга, контроля и управления (администрирования) интернет-контентом, позволяющего своевременно анализировать большой объем разнородной информации (текстов, рекламы, изображений). В данной работе рассматриваются основные методы анализа текстовой и графической информации, предлагается комплексный подход к классификации оценки разнородных данных. В рамках проводимого исследования были выделены шкалы, по которым производится анализ тональности текстов. Практическое применение предлагаемого решения может быть найдено в области мониторинга социальных сетей для выявления девиантного поведения подростков.

Ключевые слова: обработка изображений, контент-анализ, тональность текста, девиантное поведение, мониторинг.

Введение. На данный момент 86% молодых людей в России в возрасте от 18 до 24 лет имеют аккаунт в социальной сети «В контакте» [1, с. 239], многие подростки проводят в интернете более четырех часов в день, а 8% учеников старших классов имеют признаки социальных девиаций, которые в том или ином виде могут быть обнаружены на их странице в социальной сети [4, с. 115].

Ввиду несовершенства существующих механизмов мониторинга специалисты, работающие в различных сферах, отмечают острую необходимость создания методов автоматизированного интернет-мониторинга.

Целью данной работы является анализ методов структурирования данных в существующих социальных интернет-сетях для выявления различных форм девиантного поведения, таких как суицидальные наклонности, употребление наркотических веществ, экстремистская деятельность и другие.

Материалы и методика исследований. Для обработки данных выбраны два наиболее подходящих способа обучения: продукционная экспертная система и нейронные сети.

Продукционная экспертная система – это инструментальный комплекс обработки данных, в которой экспертом формализуется большой объем информации (называемых базой знаний), в таком виде, что программный алгоритм может анализировать ее с помощью заданных экспертом правил.

Нейронные сети – математический аппарат, позволяющий на основе имеющихся данных получать прогнозы и классифицировать поступающую информацию. В случае разнородного набора данных имеет место следующая классификация:

- 1) текстовая информация;
- 2) графические изображения;
- 3) аудио- и видеоинформация.

Результаты исследований. Наиболее распространенным методом обработки текстовой информации является контент-анализ, предметом которого являются текстовые массивы данных. Метод ищет заданные экспертом маркеры, то есть конкретные слова, закономерности, темы; выявляет частоту их встречаемости в конкретном фрагменте и во всей выборке. Данный метод позволяет анализировать разноплановую информацию, имеющую диагностическое значение.

Для рассматриваемой предметной области такой информацией являются, прежде всего, текстовые сообщения на странице пользователя. Метод может помочь в выявлении конкретных слов, словосочетаний и хештегов, характерных для различных форм отклоняющегося поведения. Также стоит отметить, что при этом могут приниматься во внимание и эмодзи – пиктограммы, отображающие эмоции.

Кроме того, важными характеристиками являются время и частота появления новых записей или «постов» на странице подростка, в том числе в динамике. Это позволяет косвенно отследить его режим сна и отдыха, потребность во внимании со стороны друзей в социальной сети. Так, например, количество друзей может указывать на широту круга общения, экстравертированность или интровертированность личности подростка.

К текстовой информации следует отнести названия аудио- и видеозаписей в соответствующих разделах аккаунта и на стене пользователя. В названиях определяющую роль играют не только слова-маркеры из текстовой базы, но и наиболее популярные в определенных субкультурах, тематических сообществах термины.

Важным этапом является выявление групп и публичных страниц, в которых состоит ребенок, так как именно группы отражают круг его интересов. Контент-анализ позволяет находить сообщества, посвященные различным девиантным темам, например, пропаганде употребления наркотиков или алкоголя. Еще одним методом анализа текстовой информации, ее позитивной или негативной окраски является оценка тональности текста [2, с. 8]. В рамках проводимого исследования были выделены шкалы, по которым производится анализ тональности.

1) Классификация по бинарной шкале. Использует два вида оценок: позитивная и негативная. Однако не всегда возможно однозначно определить, к какому классу необходимо отнести документ, так как он может содержать признаки обоих классов.

2) Классификация по многополосной шкале. Является усложнением предыдущего подхода – здесь градация полярностей включает в себя более двух вариантов. Например, часто по такой шкале просят оценить свое впечатление о фильмах, ресторанах, магазинах.

3) Системы шкалирования. Словам, связанным с полярными оценками, ставятся в соответствие числа по шкале от -10 до 10 (от самого отрицательного к самому положительному). Далее текст исследуется при помощи методов обработки естественного языка, а затем выделенные из текста объекты анализируются с целью их понимания.

4) Субъективность/объективность. Задача – установить является текст субъективным или объективным, что сложнее, чем классификация полярности, так как субъективность может зависеть от контекста, а объективный текст может содержать субъективные мнения (например, статья, где цитируется чье-то мнение).

Помимо выбора системы шкал был произведен анализ подходов обработки текста в целом. Было выделено три группы подходов:

- а) основанные на словарях;
- б) основанные на заданных правилах;
- в) основанные на методах машинного обучения.

В первом случае используются специализированные тональные словари, представляющие из себя список терминов и соответствующих им значений эмоциональной окраски. В процессе анализа каждому слову присваивают соответствующее значение тональности (при наличии такого слова в словаре), а затем вычисляют общую тональность текста (вычисление можно выполнять разными способами, например, как среднее арифметическое всех значений). При обработке графической информации более оптимально применять метод многоуровневого анализа.

На первом уровне выполняется поиск текста на изображении, который затем обрабатывается по правилам текстовых маркеров. На втором уровне отслеживаются изображения определенной цветовой гаммы, например, содержащие в основном темные или тусклые цвета. На практике на основе наличия большого количества изображений депрессивной гаммы можно выявить подавленное настроение пользователя. Третий уровень – это анализ примитивов.

Работа на каждом из уровней основывается на двух последовательных шагах – классификация изображения и его оценка в контексте группы.

Среди известных подходов к построению классификации выделяют следующие:

- 1) подход Фу (Fu) [3, с. 7];
- 2) подход Пала (Pal) [3, с. 10];
- 3) подход Скарбека и Кошана (Skarbek и Koschan) [7, p. 23];
- 4) подход Лючиса и Митра (Lucchese и Mitra) [6, p. 114].

Каждый из рассмотренных подходов имеет ряд существенных недостатков, что не позволяет применить его в чистом виде. В связи с этим предлагается комплексный подход, состоящий из следующих шагов.

1. Определение свойств, на основе которых выполняется сегментация (разрывность или сходство низкоуровневых признаков).
2. Выбор стратегии обработки изображения (последовательная или параллельная).
3. Определение типа изображения (цветное или полутоновое), к которому применяются алгоритмы сегментации.

Наиболее часто в задачах распознавания и идентификации изображений используются классические нейросетевые архитектуры (многослойный перцептрон, сети с радиально-базисной функцией и др. [5, p. 42]), но применение классических нейросетевых архитектур в задачах распознавания имеет ряд недостатков:

- a) для изображений большой размерности существенно возрастает количество нейронов сети;
- b) большое количество параметров требует большего объема обучающей выборки, увеличивает время и вычислительную сложность процесса обучения;
- c) для повышения эффективности работы системы желательно применять несколько нейронных сетей (обученных с различными начальными значениями синаптических коэффициентов и при разном порядке предъявления образов), что увеличивает вычислительную сложность и время решения задачи;
- d) отсутствует инвариантность к изменениям масштаба изображения, ракурсов съемки камеры и других геометрических искажений входного сигнала.

Для решения данной проблемы в настоящий момент сверточные нейронные сети, обеспечивающие частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. Для повышения устойчивости часто используется масштабирование.

Выводы. В результате проведенных исследований была выявлена необходимость разработки новых методов выявления в слабоструктурированных данных устойчивых закономерностей, связанных в том числе с поведением детей и подростков в социальных сетях. Предлагаемый подход является комплексным и сопоставимым по эффективности с ручным мониторингом социальных сетей профильным специалистом.

Проведена теоретическая научно-исследовательская работа для ряда семантических тезаурусов. Для проведения практической части работы заключены партнерские соглашения с тремя школами города Кирова.

Список литературы

1. Гудакова Л. В., Чернышев Е. А., Шереметова А. И. Влияние деструктивного интернет-контента на формирование девиантного поведения у подростков // Образование и наука в современных реалиях : сборник материалов V Международной научно-практической конференции / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. 2018. С. 239–242.
2. Котельников Е. В. Метод анализа тональности текстов TextJSM // Научно-техническая информация. Сер. 2. 2018. № 2. С. 8–20.
3. Садыхов Р. Х., Ваткин М. Е. Модифицированный алгоритм обучения РБФ-сети для распознавания рукописных символов // Идентификация образов. 2001. Т. 1. № 3. С. 7–16.
4. Щетинина Е. В. Работа киберлаборатории как фактор профилактики экстремистских и террористических проявлений в сети Интернет // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Право. 2018. Т. 18. № 1. С. 115–119.
5. Feraud R., Bernier O., Viallet J., Collobert M. A fast and accurate face detector based on neural networks // Trans. Pattern Anal. Machine Intelligence. 2002. V. 3. № 23. P. 42–53.
6. Lin S., Kung S., Lin L. Face recognition detection by probabilistic decision-based neural network // Trans. Neural Networks. 1997. V. 8. № 1. P. 114–132.
7. Rowley H. A., Baluja S., Kanade T. Neural network-based face detection // Pattern Anal. Mach. Intell. 2000. V. 5. P. 23–38.

Research of methods of analysis of heterogeneous data sets

M. L. Dolzhenkova¹, N. A. Dolzhenkova², G. A. Chistyakov³

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: maryid@mail.ru

²post-graduate student of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: dolzhenkova.n.a@gmail.com

³PhD of technical sciences, associate professor of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: gennadiychistyakov@gmail.com

Abstract. In modern communication, a great place is given to communication in social Internet networks, which allow them to exchange information, express themselves, expand the range of interests. The information in the network is useful, but often can not be used because it is poorly structured. In this regard, the task of monitoring, control and management (administration) of Internet content, allowing timely analysis of a large amount of heterogeneous information (texts, advertising, images) is relevant. This paper discusses the main methods of analysis of text and graphic information, offers an integrated approach to the classification of heterogeneous data estimates. Within the framework of the study, the scales on which the tonality of texts is analyzed were identified. Practical application of the proposed solution can be found in the field of monitoring of social networks to identify deviant behavior of adolescents.

Keywords: image processing, content analysis, text tonality, deviant behavior, monitoring.

References

1. Gudakova L. V., Chernyshev E. A., Sheremetova A. I. *Vliyanie destruktivnogo internet-kontenta na formirovanie deviantnogo povedeniya u podrostkov* [Influence of destructive Internet content on the formation of deviant behavior of adolescents] // *Obrazovanie i nauka v sovremennyh realiyah: sbornik materialov V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* – Education and science in modern realities: proceedings of the V International scientific-practical conference / ed. board: O. N. Shirokov [et al]. 2018. Pp. 239–242.
2. Kotel'nikov E. V. *Metod analiza tonal'nosti tekstov Text/SM* [Method of text tonality analysis Text/SM] // *Nauchno-tekhnicheskaya informaciya* – Scientific and technical information. Ser. 2. 2018. No. 2. Pp. 8–20.
3. Sadyhov R. H., Vatkin M. E. *Modificirovannyj algoritm obucheniya RBF-seti dlya raspoznavaniya rukopisnyh simvolov* [Modified learning algorithm of RBF network for recognition of handwritten symbols] // *Identifikaciya obrazov* – Identification of the images. 2001. Vol. 1. No. 3. Pp. 7–16.
4. Shhetinina E. V. *Rabota kiberlaboratorii kak faktor profilaktiki ekstremistskih i terroristicheskikh proyavlenij v seti Internet* [Work of the cyber laboratory as a factor of prevention of extremist and terrorist manifestations on the Internet] // *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pravo* – Herald of the South Ural State University. Law. 2018. Vol. 18. No. 1. Pp. 115–119.
5. Feraud R., Bernier O., Viallet J., Collobert M. A fast and accurate face detector based on neural networks // *Trans. Pattern Anal. Machine Intelligence*. 2002. V. 3. № 23. Pp. 42–53.
6. Lin S., Kung S., Lin L. Face recognition detection by probabilistic decision-based neural network // *Trans. Neural Networks*. 1997. V. 8. № 1. Pp. 114–132.
7. Rowley H. A., Baluja S., Kanade T. Neural network-based face detection // *Pattern Anal. Mach. Intell.* 2000. V. 5. Pp. 23–38.

Тестирование и модификация прототипа системы прогнозирования спортивных результатов

А. К. Крутиков¹, В. Ю. Мельцов², В. Д. Подковырин³

¹аспирант кафедры электронных вычислительных машин, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: yadrodisk@yandex.ru

²кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин,

Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: meltsov@vyatsu.ru

³старший преподаватель кафедры физического воспитания, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: usr00321@vyatsu.ru

Аннотация. Системы на основе искусственных нейронных сетей используются для решения разного рода задач, например, распознавания графических изображений и образов, задач интеллектуального управления и задач диагностики. Кроме того, во многих областях человеческой деятельности требуется выполнить процедуру прогнозирования, и сфера физической культуры и спорта не является исключением. Специалисты пользуются прогнозированием не только для подведения итогов поединков, но и для корректировки тренировочных планов, мероприятий по восстановлению спортсменов, определению наиболее эффективных упражнений и т. п. За основу прототипа системы прогнозирования спортивных результатов, разработанного на кафедре ЭВМ, взят математический аппарат искусственных нейронных сетей. Прототип разработан в среде MATLAB. В статье рассматривается возможность модификации структуры системы за счет введения дополнительных модулей на базе обобщенно-регрессионной нейронной сети и вероятностной нейронной сети. Представлены фрагменты обучающих выборок, описаны варианты их составления и анализа. Работа всех модулей системы протестирована с использованием большого набора значений реальных спортивных событий из различных видов спорта.

Ключевые слова: нейронная сеть, обучающая выборка, спортивное прогнозирование, кластеризация данных.

Введение. Планирование и прогнозирование играет важную роль в любой сфере человеческой деятельности. В сфере физической культуры и спорта можно выделить краткосрочное, среднесрочное, долгосрочное и сверхдолгосрочное прогнозирование. В данной статье речь пойдет, по большей части, о вероятностном спортивном прогнозировании, которое по временному промежутку относится как к краткосрочному, так и к среднесрочному прогнозированию. Формирование прогнозов обеспечивается методами, в основе которых лежит научно-обоснованный анализ.

Прогнозами в спорте так или иначе пользуются специалисты разных профилей: от тренера команды до профессионального букмекера. Прогноз может являться одним из критериев ранжирования спортсменов и позволять принимать определенные решения тренерскому штабу.

Задачи исследования. При прогнозе учитывается, как правило, широкий ряд факторов, которые влияют на результативность команды, спортсмена или объекта, в отношении которого производится прогноз. Современные информационные технологии дают широкий спектр средств для решения задач прогнозирования, среди них системы на основе логического вывода [4, с. 87], системы, использующие методы аналогий, системы, использующие временные ряды, и системы на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) [5, с. 163]. Учитывая специфику вероятностного прогнозирования, с точки зрения разработчика, именно нейронные сети успешно справляются с этой задачей, решая при этом важную проблему кластеризации данных. Следует особо подчеркнуть, что при вероятностном прогнозировании наборы данных относятся к определенным классам, каждый из которых представляет собой вероятный исход события.

Методы исследования. В последние годы аспирантами и магистрантами кафедры электронных вычислительных машин были разработаны несколько модификаций прототипа разрабатываемой системы в среде MATLAB [2, с. 136]. Обобщенная структура системы прогнозирования спортивных результатов на основе различных моделей искусственных нейронных сетей приведена на рис. 1.

К прототипу системы, рассмотренной в более ранних работах [5, с. 163], добавлены два модуля, содержащих вероятностную нейронную сеть и обобщенно-регрессионную сеть соответственно.

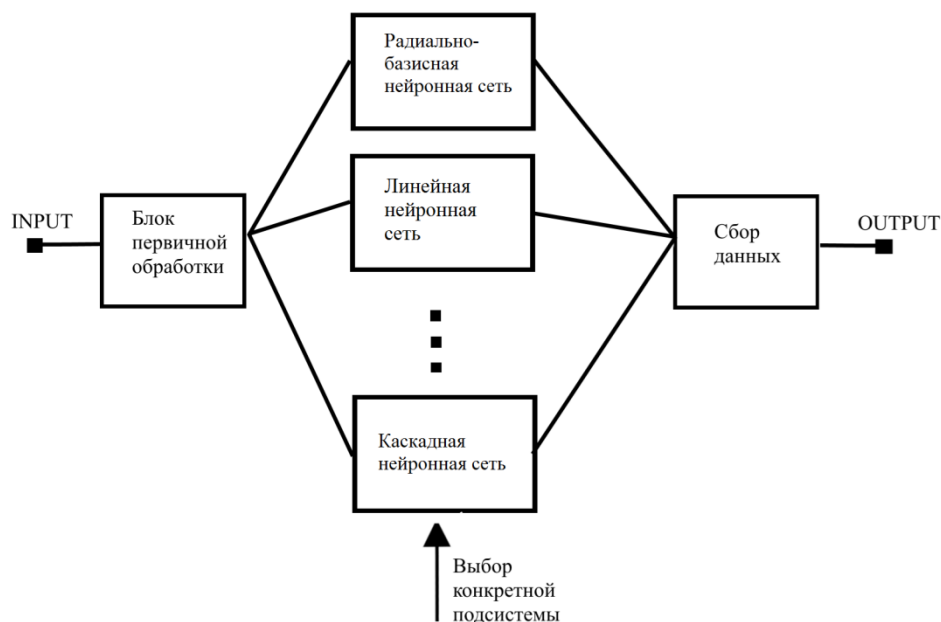


Рис. 1. Структура системы для прогнозирования спортивных результатов

Вероятностная сеть (PNN) [1, с. 1] имеет три слоя. Первый слой входной, второй – радиальный и третий – выходной. Каждому т. н. «кластеру» или «классу» соответствует один выходной нейрон. На каждый пример берется один радиальный элемент, каждый из которых имеет функцию Гаусса с центром в этом примере. Выходной элемент соединяется с радиальными элементами, которые, в свою очередь, относятся к его «кластеру», и результирует выходы всех элементов этого «кластера» или «класса». Значения выходных сигналов пропорциональны ядерным оценкам вероятности принадлежности определенным «кластерам».

Обобщенно-регрессионная нейронная сеть (GRNN) [3, с. 1] устроена подобно PNN и предназначена для решения задач регрессии, в то время как вероятностная нейронная сеть решает задачи классификации. В GRNN-сети в центр каждого обучающего примера помещается гауссова ядерная функция. GRNN представляет собой усовершенствованный метод в нейронных сетях, основанный на непараметрической регрессии. Идея состоит в том, что каждый вектор обучающей выборки будет представлять собой среднее значение для радиального базисного нейрона.

Отличие вероятностного прогнозирования результатов спортивных командных состязаний от прогнозирования индивидуальных результатов – в том, что все входные параметры, тестовые и промежуточные результаты спортсмена относятся к совершенно особым классам. Наполнение и специфика анализа данных в каждом конкретном случае и определяет качество исхода прогнозирования [7, с. 100413]. Нейронная сеть решает задачу кластеризации больших объемов данных, распределяя их в несколько «специальных классов». Соответственно, результатом такого прогнозирования будет определение номера класса. При этом субъекту, совершающему прогноз, известно, какому результату соответствует тот или иной номер класса.

Результаты исследований. Был проведен ряд экспериментов с использованием разработанных модулей на основе PNN и GRNN сети. Обучающая выборка составлялась из векторов, каждый из которых состоял из параметров спортсмена (команды). Вектор был разбит на две части: в первой части находились параметры первого спортсмена (команды), во второй части – параметры второго спортсмена (команды). Таким образом, обучающая выборка должна содержать заранее заданный ряд параметров и формальный результат, определяющий прогнозируемое событие. В соответствии с выбранным подходом формальным результатом является номер кластера, к которому вектор будет отнесен. Под формальным результатом понимается как обычный результат спортивного состязания (окончательный счет игры или личный результат спортсмена), так и любое другое событие, наступившее во время соревнования: количество угловых или желтых карточек, количество удачных попыток спортсмена или установление мирового рекорда и т. д. С учетом экспертных знаний выборку оцениваемых параметров можно расширять и конкретизировать. Определение и объем обучающей выборки требует серьезной работы эксперта в данном виде спорта и тщательное изучение статистики.

Короткий фрагмент обучающей выборки, составленной к бою в смешанных единоборствах между Конором Мак-Греггором (IRL) и Хабибом Нурмагомедовым (RUS) [UFC-229], представлен на рис. 2. Фрагмент включает в себя три численных параметра, выраженных целым числом: размах

рук спортсменов, статистику их побед и возраст предыдущих соперников одного из бойцов. Необходимо отметить, что в данном поединке вероятностная нейронная сеть правильно определила победителя.

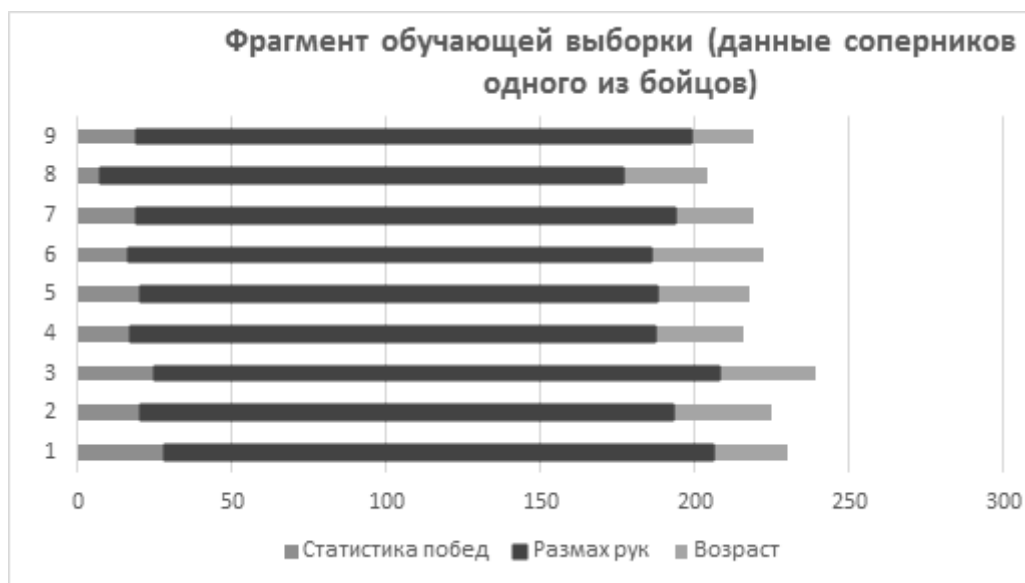


Рис. 2. Фрагмент обучающей выборки

Были проведены и другие эксперименты, в результате которых вероятностная сеть определила верно более 50% прогнозируемых событий. Проблемой обучения данной сети является сужение области кластера, содержащего тот или иной спортивный исход. Как показали исследования, проблема возникает при увеличении количества значений в обучающем векторе и значительном численном отличии параметров. Тогда как при использовании коротких обучающих векторов такая проблема возникает гораздо реже. Однако при этом понижается информативность параметров и точность прогноза.

Обобщенно-регрессионная нейронная сеть в проведенных экспериментах верно определила более 70% исходов спортивных событий. Принцип действия сетей схож. Но если вероятностная сеть относит входной вектор к номеру класса или кластера, то обобщенно-регрессионная сеть приближает результат к номеру кластера, который представлен как целое число. На рис. 3 приведен фрагмент обучающей выборки, составленной для прогноза боксерского поединка между Александром Поветкиным (RUS) и Энтони Джошуа (GBR) [6], где в качестве параметров представлены рост спортсменов, размах рук, возраст соперников и количество поединков, закончившихся нокаутом.

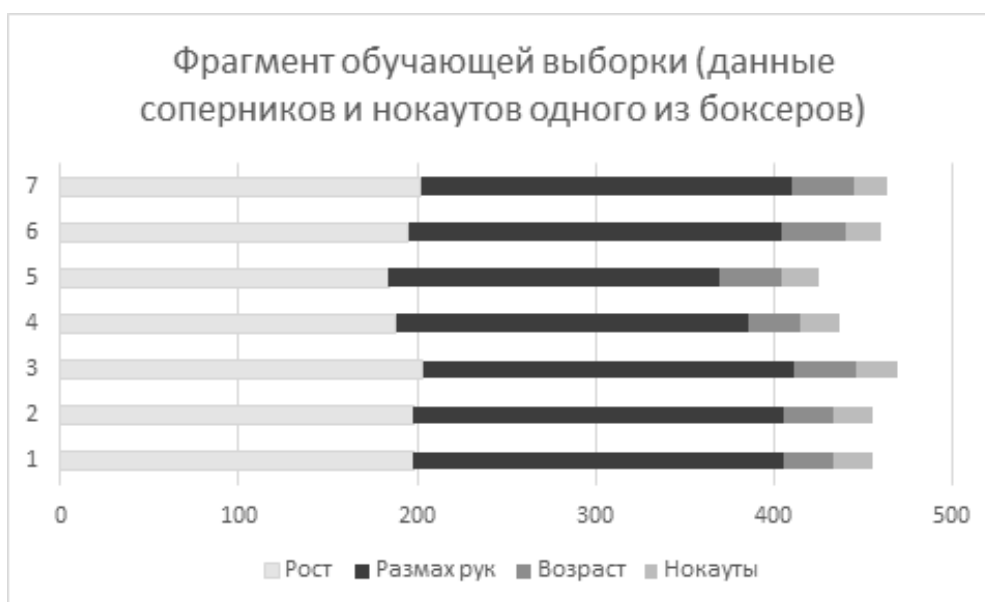


Рис. 3. Фрагмент обучающей выборки

Выводы. С данной задачей лучше справилась обобщенно-регрессионная нейронная сеть, верно определив исход боя. Вероятностную нейронную сеть на этом примере обучить не удалось. Экранная форма для данного примера приведена на рис. 4.

Все обучающие выборки были построены на основе статистики, полученной со специализированных веб-сайтов. Тренерский штаб и другие специалисты, владея более широкой статистикой, смогут делать свои прогнозы относительно конкретного спортсмена или команды.

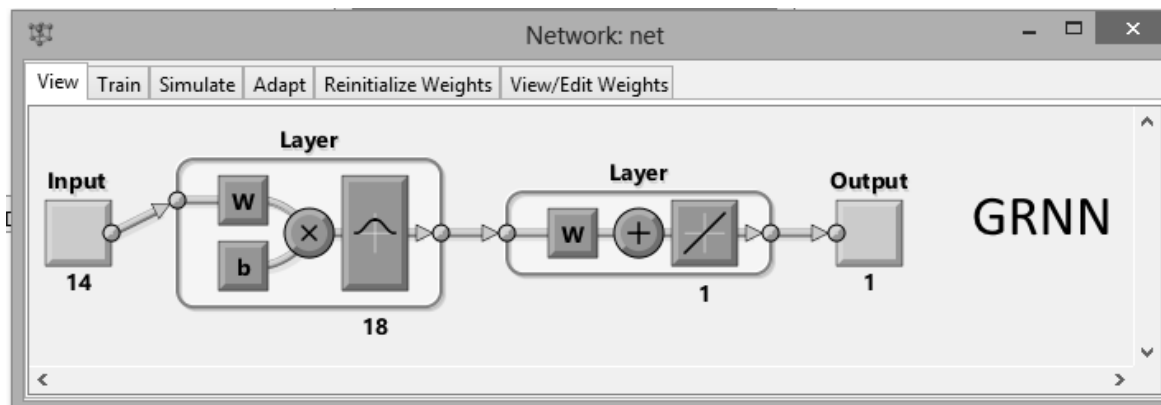


Рис. 4. Обобщенно-регрессионная нейронная сеть

На данный момент эксперименты продолжаются. На следующем этапе исследований в систему предполагается добавить новые блоки, реализующие все современные модели на основе нейросетевых технологий.

Список литературы

1. Вероятностная нейронная сеть. URL: <https://lektsii.org/5-41963.html> (дата обращения: 21.01.2019).
2. Использование каскадной нейронной сети прямой передачи для прогнозирования спортивных достижений в толкании ядра / Мельцов В. Ю. и др. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 4. С. 136–139.
3. Обобщенно-регрессионная нейронная сеть. URL: <https://www.kazedu.kz/referat/174029/6> (дата обращения: 21.01.2019).
4. Страбыкин Д. А. Метод логического прогнозирования развития ситуаций на основе абдуктивного вывода // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2013. № 5. С. 87.
5. Структура системы прогнозирования спортивных результатов на основе нейросетевого подхода / Крутиков А. К. и др. // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 7(15). С. 163–169.
6. Энтони Джошуа – Александр Поветкин. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энтони_Джошуа_-_Александр_Поветкин (дата обращения: 21.01.2019).
7. Dolzhenkova M. L., Meltsov V. Y., Strabykin D. A. Method of Consequences Inference From New Facts In Case Of An Incomplete Knowledge Base // Indian Journal Of Science And Technology. Vol. 9. Is. 39. October 2016. С. 100413.
8. UFC-229. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/UFC_229 (дата обращения: 21.01.2019).

Testing and modification of the prototype of the sports results forecasting system

A. K. Krutikov¹, V. Yu. Mel'cov², V. D. Podkovyrin³

¹post-graduate student of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: yadrodisk@yandex.ru

²PhD of technical sciences, associate professor of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: meltsov@vyatsu.ru

³senior lecturer of the Department of physical education, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: usr00321@vyatsu.ru

Abstract. Systems based on artificial neural networks are used to solve various kinds of problems, such as recognition of graphic images and images, intelligent control and diagnostic tasks. In addition, in many areas of human activity it is required a forecasting procedure, and the field of physical culture and sports is no exception. Specialists use forecasting not only for summing up the results of the matches, but also to adjust training plans, measures to restore athletes, determine the most effective exercises, etc. The mathematical apparatus of artificial neural networks is taken as the basis for the prototype of the sports results forecasting system developed at the Department of computer. The prototype was developed in MATLAB. The article discusses the possibility of modifying the structure of the system by

introducing additional modules based on generalized regression neural network and probabilistic neural network. Fragments of training samples are presented, variants of their compilation and analysis are described. The operation of all modules of the system is tested using a large set of values of real sports events from different sports.

Keywords: neural network, training sample, sports forecasting, data clustering.

References

1. *Veroyatnostnaya nejronnaya set'* – Probabilistic neural network. Available at: <https://lektsii.org/5-41963.html> (date accessed: 21.01.2009).
2. *Ispol'zovanie kaskadnoj nejronnoj seti pryamoj peredachi dlya prognozirovaniya sportivnyh dostizhenij v tolkanii yadra* – The use of cascade neural network of direct transfer to predict athletic achievement in the shot put / Mel'cov V. Yu. et al. // Scientific-technical herald of the Volga region. 2018. No. 4. Pp. 136–139.
3. *Obobshhenno-regressionnaya nejronnaya set'* – Generalized regression neural network. Available at: <https://www.kazedu.kz/referat/174029/6> (date accessed: 21.01.2009).
4. *Strabykin D. A. Metod logicheskogo prognozirovaniya razvitiya situacij na osnove abduktivnogo vyvoda* [Method of logical forecasting of situations on the basis of abductive inference] // *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* – Herald of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2013. No. 5. P. 87.
5. *Struktura sistemy prognozirovaniya sportivnyh rezul'tatov na osnove nejrosetevogo podhoda* – The structure of the system of forecasting sports results based on the neural network approach / Krutikov A. K. et al. // *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki* – Modern research and development. 2017. № 7(15). Pp. 163–169.
6. Anthony Joshua – Alexander Povetkin. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энтони_Джошуа_–_Александр_Поветкин (date accessed: 21.01.2009).
7. *Dolzhenkova M. L., Mel'cov V. Y., Strabykin D. A. Method of Consequences Inference From New Facts In Case Of An Incomplete Knowledge Base* // *Indian Journal Of Science And Technology*. Vol. 9. Is. 39. October 2016. C. 100–413.
8. UFC-229. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/UFC_229 (date accessed: 21.01.2019).

Реализация масштабированного векторного сложения многократной точности на GPU*

К. С. Исупов¹, А. С. Куваев²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: ks_isupov@vyatsu.ru

²аспирант кафедры электронных вычислительных машин, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: kyvaevy@gmail.com

Аннотация. Многие современные задачи, решаемые на суперкомпьютерах, требуют выполнения операций линейной алгебры с точностью, превышающей стандартные форматы IEEE 754. В статье рассматривается реализация высокоточного масштабированного векторного сложения (WAXPBY) на CUDA-совместимых графических процессорах видеокарты. Для представления многоразрядных чисел с плавающей точкой используется формат на основе системы остаточных классов, исключающий образование цепочек переносов и позволяющий вычислять все цифры мантисс одновременно. Параллельный алгоритм WAXPBY разбивается на ряд шагов, каждый из которых выполняется отдельным ядром CUDA, что позволяет добиться оптимального использования имеющихся вычислительных ресурсов. Эксперименты показали, что производительность разработанной подпрограммы выше по сравнению с аналогами для центральных процессоров. Результаты могут быть полезны в приложениях линейной алгебры, использующих графические процессоры для ускорения вычислений и критичных к ошибкам округления.

Ключевые слова: высокоточные вычисления, BLAS, система остаточных классов, GPGPU.

Введение. Для заданных двух векторов чисел с плавающей точкой x и y длины N , скаляров α и β , масштабированное векторное сложение (WAXPBY) состоит в вычислении вектора $w \leftarrow \alpha x + \beta y$. Данная операция расширяет функциональность оригинальной операции AXPY и включена в обновленный набор базовых подпрограмм линейной алгебры (BLAS) [3]. В настоящее время WAXPBY реализована в библиотеке Math::BLAS языка Perl, в пакетах ATLAS, Arm Allinea Studio и XBLAS [8], а также в ряде других библиотек линейной алгебры. Большинство из этих библиотек поддерживают вычисления в формате двойной точности, IEEE 754 double precision, что соответствует длине мантиссы числа с плавающей точкой 16 десятичных цифр (исключением является XBLAS, в котором внутренние вычисления выполняются в формате double-double). Однако с ростом масштабов производимых расчетов появляется большое количество задач, для которых требуется более высокая точность [6; 2; 4].

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка и исследование эффективной параллельной реализации векторной операции WAXPBY многократной точности для графических процессоров (GPU), совместимых с архитектурой NVIDIA CUDA. Задачи исследования: разработка и реализация параллельного алгоритма для GPU, оценка производительности в сравнении с аналогами для центральных процессоров (CPU).

Ведущий подход. Для представления чисел с плавающей точкой произвольной длины используется система остаточных классов (СОК) [1]. Число с плавающей точкой x представляется следующим образом: $x = \{s, X, e, I(X/M)\}$, где s – знак, X – мантисса, e – порядок (экспонента) и $I(X/M)$ – интервально-позиционная характеристика (ИПХ) мантиссы. Мантисса X представляется в СОК остатками $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ относительно набора модулей $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ и интерпретируется как целое число в диапазоне $[0, M - 1]$, где $M = \prod_{i=1}^n m_i$. Остатки $x_i = X \bmod m_i$ – целые машинные числа.

В представленном формате остатки мантиссы взаимно независимы, что исключает трудоемкую обработку цепочек переносов и обеспечивает параллелизм на уровне арифметики многократной точности: для операций сложения, вычитания и умножения, вычисления с остатками могут выполняться параллельно. ИПХ позволяет оценить величину мантиссы для эффективного сравнения, выравнивания порядков, округления и других затратных в СОК операций.

С учетом округления точность арифметических операций в битах определяется следующим образом: $p = \left\lfloor \log_2 \left\lfloor (M - 1)^{1/2} \right\rfloor \right\rfloor$. Размер набора модулей может быть произвольным, что позво-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-71-00063).

© Исупов К. С., Куваев А. С., 2019

ляет добиться любой необходимой точности (разрядности) вычислений. Например, если требуются 1024-битные вычисления, то набор модулей должен быть таким, что $M > 2^{2048}$.

GPU-реализация WAXPBY. Предполагается, что исходные данные (векторы x и y длины N , заполненные многоразрядными числами, числа α и β) загружены в глобальную память GPU. Алгоритм выполнения операции WAXPBY состоит из следующих шагов.

1. В глобальной памяти GPU выделяется буфер $dbuf$ длины N .
2. (Kernel 1) Выполняется поэлементное векторное умножение многоразрядных мантисс элементов вектора x и скаляра α с сохранением результатов в $dbuf$. Для умножения используется $bcount1$ блоков по n потоков, где n – количество модулей СОК. Потоки каждого блока параллельно умножают все цифры (остатки) многоразрядных мантисс и каждый i -й поток назначен для вычисления цифры по модулю m_i . Таким образом, в общей сложности каждый блок потоков умножает мантиссы для $N / bcount1$ элементов вектора x . Все блоки могут работать параллельно.
3. (Kernel 2) В $bcount2$ блоках из $bsize2$ потоков вычисляются экспоненты, знаки и ИПХ для вектора-произведения αx с сохранением результатов в $dbuf$.
4. (Kernel 3) В $bcount3$ блоках выполняется проверка необходимости округления и (при необходимости) округление вектора, записанного в $dbuf$. Каждый многоразрядный элемент округляется n параллельными потоками в соответствии с алгоритмом модулярного масштабирования из [5].
5. Шаги 2–4 повторяются для y и β с сохранением результатов в w .
6. (Kernel 4) Выполняется параллельное поэлементное сложение w и $dbuf$ с перезаписью результата в w . На этом шаге используется $bcount4$ блоков по n потоков. Многоразрядное сложение распараллеливается по модулям СОК.

В приведенном алгоритме Kernel 1–4 – это global-функции (CUDA ядра), запускаемые с хоста и выполняемые на GPU. Для каждой такой функции задается своя конфигурация запуска, что позволяет оптимально использовать имеющиеся ресурсы GPU при заданной точности вычислений. Результатный вектор w хранится в глобальной памяти GPU и может быть использован для дальнейших вычислений (указатель на w передается в качестве аргумента вызываемой подпрограммы). При необходимости он может быть загружен в оперативную память хоста посредством вызова стандартной функции `cudaMemcpy` из CUDA Runtime API. Схема описанного алгоритма представлена на рис. 1.

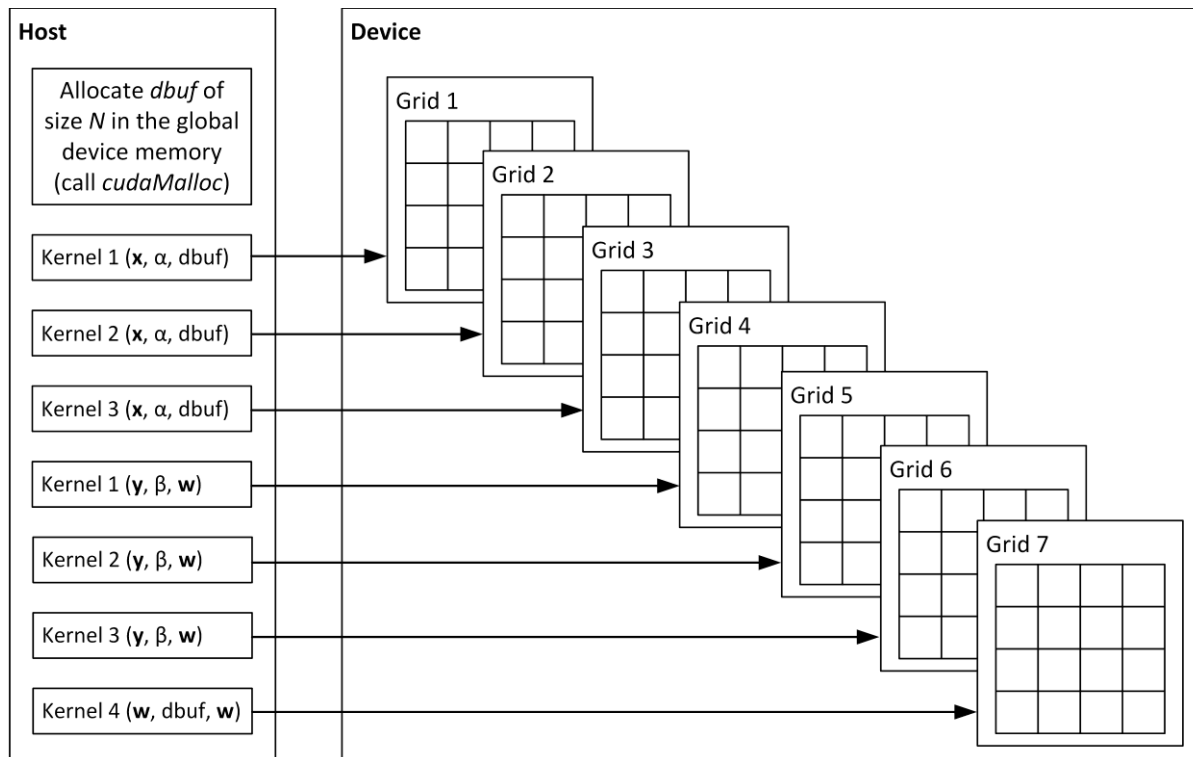


Рис. 1. Выполнение операции WAXPBY многократной точности на GPU

При наличии достаточных ресурсов GPU вычисление произведений αx и βy может перекрываться. Для этого функции на шагах 2–4 и на шаге 5 должны быть запущены в разных потоках выполнения (CUDA Stream) с синхронизацией непосредственно перед запуском функции Kernel 4 на

шаге 6. Также возможно одновременное выполнение ядер Kernel 1 и Kernel 2, так как зависимости по данным между ними отсутствуют.

На рис. 2 представлены прототипы реализованных подпрограмм. Кроме WAXPBY реализована BLAS-подпрограмма масштабированного векторного сложения с накоплением, AXPBY: $y \leftarrow \alpha x + \beta y$. Алгоритм AXPBY аналогичен рассмотренному алгоритму для WAXPBY с обновлением y вместо записи в w на шагах 5 и 6. В подпрограмме `mf_maxpby` выполняется простой вызов `mf_mwaxpby` с передачей указателя на y вместо w и `incy` вместо `incw`.

Для индексации элементов векторов и цифр многоразрядной мантиссы отдельного элемента с учетом заданной точности вычислений (числа модулей СОК), расстояний между соседними элементами (`incx`, `incy` и `incw`) и шаблонных параметров, определяющих конфигурацию выполнения CUDA-ядер, разработаны специальные служебные функции.

```
/* Масштабированное векторное сложение */
template<int bcount1, int bcount2, int bsize2, int bcount3, int bcount4>
void mf_mwaxpby( int N, mf_t alpha, mf_ptr x, int incx, mf_t betta, mf_ptr y, int incy,
mf_ptr w, int incw );

/* Масштабированное векторное сложение с накоплением */
template<int bcount1, int bcount2, int bsize2, int bcount3, int bcount4>
void mf_maxpby( int N, mf_t alpha, mf_ptr x, int incx, mf_t betta, mf_ptr y, int incy );
```

Рис. 2. Прототипы разработанных высокоточных процедур

Представленные подпрограммы входят в состав разрабатываемой авторами библиотеки MPRES для параллельных вычислений многократной точности на системах с гибридными CPU-GPU узлами [7].

Результаты исследований, их обсуждение. Производительность разработанной подпрограммы сравнивалась с CPU-аналогами, реализованными с использованием последних версий известных арифметических библиотек MPFR и ARPREC, а также с подпрограммой `BLAS_dwaxpby_x` из пакета XBLAS. В экспериментах замерялась производительность в MFlops при выполнении операций с векторами размера $N = 1\,000\,000$. Точность вычислений, p , варьировалась от 120 до 1201 бит. Для достижения указанной точности использовалось от 16 до 160 15-битных модулей СОК. Под Flop в данном контексте понимается операция с плавающей точкой, выполняемая с точностью p бит. Эксперименты проводились на CPU Intel Core i5 4590 и GPU NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti.

Для разработанной GPU-подпрограммы использовались следующие параметры запуска: $bcount1 = 2048$, $bcount2 = 4$, $bsize2 = 1024$, $bcount3 = 2048$, $bcount4 = 2048$. Среди прочих эти параметры обеспечивают максимальную производительность на используемом GPU.

Результаты представлены на рис. 3 (разработанная GPU-реализация обозначена MPRES). Для операции AXPBY получены аналогичные результаты.

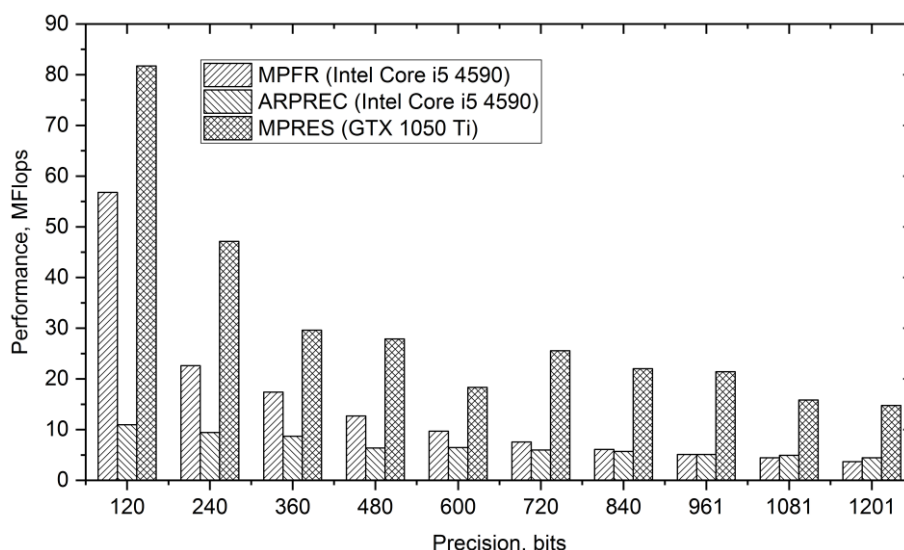


Рис. 3. Производительность высокоточных реализаций WAXPBY

При 120-битной точности вычислений производительность разработанной подпрограммы WAXPBY равна 82 MFlops, что выше приблизительно в 7,5 раза по сравнению с ARPREC и в 1,5 раза по сравнению с MPFR. В свою очередь, при точности 1201 бит производительность разработанной подпрограммы равна 14,7 MFlops, а ускорение относительно ARPREC и MPFR составляет 3,3 и 4 раза соответственно. Производительность пакета XBLAS (не представлена на графике), обеспечивающего вычисления с точностью 106 бит, составила в среднем 95 MFlops, что сопоставимо с производительностью нашей реализации при точности 120 бит.

Выводы. Разработан и реализован алгоритм выполнения операции WAXPBY многократной точности для графических процессоров, основанный на представлении чисел с плавающей точкой произвольной длины с использованием СОК, обеспечивающий эффективное использование имеющихся ресурсов посредством настройки параметров вычислительной сетки для каждого из внутренних CUDA ядер. На базе WAXPBY реализована подпрограмма масштабированного векторного сложения с накоплением (AXPBY).

Экспериментальные результаты показывают, что производительность разработанной подпрограммы WAXPBY сравнима с производительностью пакета XBLAS для CPU и значительно выше по сравнению с реализациями на основе библиотек ARPREC и MPACK. Представленные результаты могут быть улучшены с использованием современных GPU серии Tesla, спроектированных специально для высокопроизводительных вычислений общего назначения.

Список литературы

1. Акушский И. Я., Юдицкий Д. И. Машинная арифметика в остаточных классах. М.: Сов. радио, 1968. 440 с.
2. Alperovich A., Druinsky A., Toledo S. Experiences with a Lanczos Eigensolver in High-Precision Arithmetic // Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8384. Pp. 36–46.
3. An Updated Set of Basic Linear Algebra Subprograms (BLAS) / L. S. Blackford et al. // ACM Transactions on Mathematical Software. 2002. Vol. 28. № 2. Pp. 135–151.
4. Bailey D. H., Borwein J. M. High-Precision Arithmetic in Mathematical Physics // Mathematics. 2015. Vol. 3. Pp. 337–367.
5. Isupov K., Knyazkov V., Kuvaev A. Fast Power-of-Two RNS Scaling Algorithm for Large Dynamic Ranges // IVth International Conference on Engineering and Telecommunication, 29–30 Nov. 2017. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8241272> (date of access 01.02.2018).
6. Mittelman H. D., Vallentin F. High-accuracy semidefinite programming bounds for kissing numbers // Experimental Mathematics. 2010. Vol. 19. № 2. Pp. 175–179.
7. Multiple-Precision Residue-Based Arithmetic Library for Parallel CPU-GPU Architectures: Data Types and Features / Isupov K. et al. // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10421. Pp. 196–204.
8. XBLAS – Extra Precise Basic Linear Algebra Subroutines. URL: <https://www.netlib.org/xblas> (date of access 21.11.2019).

Implementation of scaled vector addition of multiple precision on GPU

K. S. Isupov¹, A. S. Kuvaev²

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: ks_isupov@vyatsu.ru.

²post-graduate student of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: kyvaevy@gmail.com

Abstract. Many modern problems solved on supercomputers require linear algebra operations to be performed with a precision exceeding the IEEE 754 formats. This article discusses the implementation of high-precision scaled vector addition (WAXPBY) on CUDA-compatible graphics processing units (GPUs). To represent multiple-precision floating-point numbers, a format based on a residue number system is used, which eliminates the need for carry propagation and allows to compute all significant digits simultaneously. The parallel WAXPBY algorithm is divided into a number of steps, each of which is performed as a separate CUDA kernel, which allows for efficient use of available computing resources. Experiments have shown that the performance of the developed routine is higher compared to solutions for central processing units. The results can be useful in linear algebra applications that use GPUs to speed up calculations and are critical to rounding errors.

Keywords: high-precision calculations, BLAS, system of residual classes, GPGPU.

References

1. Akushskij I. Ya., Yudickij D. I. Mashinnaya arifmetika v ostatochnyh klassah [Machine arithmetic in residual classes]. M. Sov. radio. 1968. 440 p.
2. Alperovich A., Druinsky A., Toledo S. Experiences with a Lanczos Eigensolver in High-Precision Arithmetic //

Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8384. Pp. 36–46.

3. An Updated Set of Basic Linear Algebra Subprograms (BLAS) / L. S. Blackford et al. // ACM Transactions on Mathematical Software. 2002. Vol. 28. № 2. Pp. 135–151.

4. Bailey D. H., Borwein J. M. High-Precision Arithmetic in Mathematical Physics // Mathematics. 2015. Vol. 3. Pp. 337–367.

5. Isupov K., Knyazkov V., Kuvaev A. Fast Power-of-Two RNS Scaling Algorithm for Large Dynamic Ranges // IVth International Conference on Engineering and Telecommunication, 29–30 Nov. 2017. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8241272> (date accessed: 01.02.2018).

6. Mittelman H. D., Vallentin F. High-accuracy semidefinite programming bounds for kissing numbers // Experimental Mathematics. 2010. Vol. 19. № 2. Pp. 175–179.

7. Multiple-Precision Residue-Based Arithmetic Library for Parallel CPU-GPU Architectures: Data Types and Features / Isupov K. et al. // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10421. Pp. 196–204.

8. XBLAS – Extra Precise Basic Linear Algebra Subroutines. Available at: <https://www.netlib.org/xblas> (date accessed: 21.11.2019).

Результаты разработки программы распознавания изображений на языке Python

В. С. Ростовцев¹, О. Н. Черемисинова²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: rostov_kirov@mail.ru

²студент 4 курса кафедры электронных вычислительных машин, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: cheremisinova8@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются принципы и результаты разработки программы распознавания образов на примере идентификации породы кошек, используя изображения, представленные в формате *.jpeg. В настоящее время не существует точных методов распознавания образов, применение которых не сопровождалось бы ошибками распознавания, даже с учетом значительных временных затрат. Анализ современных литературных источников показывает, что наиболее перспективным подходом для решения данной задачи является подход с использованием сверточных нейронных сетей.

Результаты разработки программы распознавания образов позволяют оценить затраты на ее создание, экспериментальное моделирование и показывают качество распознавания при использовании библиотеки Keras языка Python. Важным моментом является использование режима аугментации, который позволяет автоматически генерировать расширенную обучающую выборку путем случайного изменения и последовательного добавления искажений к изображению. В качестве таких операций могут выступать поворот, растягивание, сдвиг и некоторые другие.

Ключевые слова: распознавание изображений, машинное обучение, сверточные нейронные сети, аугментация.

Введение. Вопросам распознавания образов посвящено много публикаций. Однако на сегодняшний день не существует общепринятой методики оценки эффективности применения нейронных сетей для задач распознавания образов. Программа распознавания изображений, разработанная на языке Python, демонстрирует затраты и эффективность применения готовой библиотеки Keras [2] для решения поставленной задачи [5]. Отличительной особенностью разработанной программы является отсутствие затрат на приобретение готовых программных продуктов, так как язык Python и библиотека Keras являются свободно распространяемыми.

Цель исследования. Сверточная нейронная сеть (англ. convolutional neural network, CNN), нацеленная на решение этой проблемы, впервые была предложена Яном Лекуном в 1988 году. Данная модель учитывает особенности работы зрительной коры головного мозга и основывается на переходе от выявленных простых признаков (линий и кривых) к более сложным абстракциям. Достоинство сверточных нейронных сетей – меньшее количество весов, которые нужно вычислить. Качество распознавания значительно выше, чем у полносвязной нейронной сети за счет выделения отличительных черт объекта, а не попиксельного анализа изображения. К недостаткам можно отнести большое количество варьируемых параметров сети.

Методы исследования. В качестве тестовой задачи в данной работе используется распознавание породы кошки по ее фотографии. Большинство существующих аналогов не способны автоматически определить породу кошки по фотографии.

Для разработки программы выбран язык Python [2] с применением библиотеки Keras, представляющей собой надстройку над фреймворками TensorFlow, Theano и др. Для бэкэнда будет использоваться TensorFlow, с которой Keras имеет максимальную совместимость [2].

Входными данными для сверточной нейронной сети являются изображения одинакового размера, представленные в виде матрицы чисел в диапазоне от 0 до 255, определяющие интенсивность цвета пикселя. Матрица имеет размер $N \times N \times 3$, где N – ширина и высота изображения, а 3 – количество цветовых каналов. Матрица нормализуется, при этом числа преобразуются в диапазон от 0 до 1. Нормализация существенно увеличивает точность распознавания за счет выравнивания вклада отдельных признаков, исключая доминирование одних полей перед другими.

Для качественного обучения требуется большое число разнообразных примеров обучающей выборки. Существует способ их искусственной генерации – аугментация [1], который заключается в последовательном добавлении искажений к изображению, таких как поворот, растягивание, сдвиг и др., за счет чего получаются новые изображения. В библиотеке Keras содержатся готовые сред-

ства для аугментации изображения, позволяющие производить сдвиг, растягивание, поворот и другие операции на случайную величину из заданного интервала. Выбор преобразований должен основываться на наиболее часто встречающихся искажениях в исходных данных. Разработчик экспериментально подбирает параметры аугментации таким образом, чтобы качество распознавания не упало и нейронная сеть научилась распознавать зашумленные данные. На рис. 1 приведен фрагмент исходного кода задания параметров аугментации.

```
datagen = ImageDataGenerator(  
    rotation_range=20,  
    shear_range=0.2,  
    zoom_range=0.2,  
    horizontal_flip=True)
```

Рис. 1. Задание параметров аугментации

Все изображения делятся на два набора: тренировочные и валидационные. Тренировочные данные используются для настройки весов нейронной сети с помощью минимизации функции ошибки в процессе обучения. Объем валидационных данных гораздо меньше тренировочного и обычно составляет до 10% от тренировочного. На валидационных данных нейросеть не обучается, поэтому они позволяют следить за появлением эффекта переобучения нейронной сети. Валидационные данные, так же как и тренировочные, должны включать в себя изображения всех классов. Разделим изображения каждого класса на две группы в соотношении 4/1, где первая часть будет являться тренировочными данными, а вторая – валидационными.

Основным блоком сверточной нейронной сети является слой свертки, содержащий в себе фильтр с коллекцией ядер (матриц) свертки. Суть операции свертки заключается в том, что участок изображения поэлементно умножается на матрицу свертки. После этого результаты суммируются и записываются в соответствующую ячейку выходной матрицы [6]. Цель данного действия – найти определенные признаки на изображении.

К полученным элементам матрицы применяется функция активации, в качестве которой чаще всего выступает ReLU. Она вычисляется как $f(x) = \max(0, x)$. Данная функция существенно ускоряет процесс обучения и упрощает вычисления по сравнению с другими функциями активации.

Следующий слой – слой пулинга – делает карту признаков менее подробной, сокращая группу пикселей (обычно размером 2x2) до одного пикселя. При этом используется нелинейное преобразование, чаще всего – функция максимума.

Данные три слоя, повторяясь некоторое количество раз с разными параметрами, образуют первую часть сверточной нейронной сети.

Вторая часть – полносвязная нейронная сеть, которая выводит К-мерный вектор, где К – число распознаваемых классов. В ней слои не обладают пространственной структурой. Задачей данной части является определение класса объекта на основе выявленных признаков.

Архитектура выбранной нейронной сети разработана на основе проведенного анализа наиболее успешных решений, изложенных в специальной литературе. Ядро свертки сверточных слоев имеет размер 3x3, каждый последующий сверточный слой имеет количество карт признаков в два раза большее, чем у предыдущего слоя. В слое пулинга используется фильтр 2x2. Полносвязная сеть имеет 4 слоя: 128 нейронов во входном слое, по 256 нейронов в скрытых слоях, 3 нейрона в выходном слое (равно количеству возможных классов изображения). На рис. 2 представлена архитектура выбранной нейронной сети.

Обучение данной нейронной сети осуществлялось с использованием метода обратного распространения ошибки [4].

Количество тренировочных изображений в каждом классе выбрано следующее: персидская кошка – 1049, сиамская кошка – 1234, сфинкс – 1001. Это достаточно небольшой обучающий набор, из-за чего есть вероятность переобучения сети. Чтобы избежать этого, используется аугментация и функция Dropout с большим коэффициентом вероятности. Аугментация позволяет увеличить обучающую выборку, добавив в нее изображения с искажениями. Dropout – это функция регуляризации, случайно выключающая на каждом шаге несколько нейронов с заданной вероятностью. Такой подход исключает взаимную адаптацию нейронов на этапе обучения. На этапе предсказания функция Dropout не используется.

Conv2D, ядро свертки 3x3, 8 карт признаков
 Функция активации ReLU
 Слой пулинга, фильтр 2x2
 Conv2D, ядро свертки 3x3, 16 карт признаков
 Функция активации ReLU
 Слой пулинга, фильтр 2x2
 Conv2D, ядро свертки 3x3, 32 карт признаков
 Функция активации ReLU
 Слой пулинга, фильтр 2x2
 Conv2D, ядро свертки 3x3, 64 карт признаков
 Функция активации ReLU
 Слой пулинга, фильтр 2x2
 Слой преобразования в 2D
 Слой из 128 нейронов, активация ReLU
 Слой дропаут 0.5
 Слой из 256 нейронов, активация ReLU
 Слой дропаут 0.5
 Слой из 256 нейронов, активация ReLU
 Слой дропаут 0.5
 Слой из 3 нейронов, активация Sigmoid

Рис. 2. Архитектура нейронной сети

Результаты исследования. В ходе разработки программы и проведения ряда экспериментов установлена оптимальная длительность обучения – 100 эпох по критерию минимизации ошибки обучения. Время обучения сверточной нейронной сети на процессоре CPU Intel Core i5 и GPU NVIDIA GeForce 840M составило около полутора часов.

Есть вероятность, что на распознаваемом изображении не окажется кошки и результат работы программы будет неверным. Для предотвращения подобных ошибок используется готовое решение TensorFlow Object Detection API. Это платформа с открытым исходным кодом, созданная поверх TensorFlow, с помощью которой можно найти объекты на изображении и области, в которых они расположены. Классы найденных объектов и их области записываются в массивы. Если в данном массиве не содержится класса, соответствующего кошке, определение породы не будет осуществляться.

Результаты экспериментальной апробации работы сверточной нейросети представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количество распознаваемых изображений

Порода кошки на изображении	Предсказанная порода			
	общее количество изображений	персидский кот	сиамский кот	сфинкс
Персидский кот	30	28	1	1
Сиамский кот	30	0	28	2
Сфинкс	30	1	6	23

На разработку программы было затрачено около полутора месяцев. В результате написана программа объемом 500 строк на языке Python. Процентное соотношение верно и неверно распознанных изображений представлено в табл. 2.

Выводы. Из представленных выше таблиц видно, что точность распознавания породы кошки достаточно высокая – 88%. Для рассмотренной задачи в условиях ограниченного объема данных такую вероятность можно считать вполне приемлемой. Следовательно, разработанный программный продукт можно использовать на практике для решения подобного класса задач.

Таблица 2

Результаты распознавания (в процентах)

	Результат		
	общее количество изображений	верно распознано, (%)	неверно распознано, (%)
Персидский кот	30	93	7
Сиамский кот	30	93	7
Сфинкс	30	77	23
Всего	90	88	12

Формирование тестовых и валидационных данных заняло 25% от указанного времени. Экспериментальное моделирование и выбор параметров аугментации – примерно 35% времени.

Основными трудностями разработки программы являлись выбор оптимальной архитектуры сети и подбор параметров сверточной нейронной сети, а также выявление эффекта переобучения сети.

Список литературы

1. Аугментация (augmentation, «раздутие») данных для обучения нейронной сети на примере печатных символов. URL: <https://habr.com/company/smartengines/blog/264677> (дата обращения: 19.12.2018).
2. Официальная документация по библиотеке глубокого обучения Keras. URL: <https://keras.io> (дата обращения: 01.11.2018).
3. Официальная документация по языку Python. URL: <https://www.python.org> (дата обращения: 01.11.2018).
4. Сверточная нейронная сеть, часть 2: обучение алгоритмом обратного распространения ошибки. URL: <https://habr.com/post/348028> (дата обращения: 05.10.2018).
5. Сверточная нейронная сеть. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D1%91%D1%80%D1> (дата обращения: 01.10.2018).
6. Что такое сверточная нейронная сеть. URL: <https://habr.com/post/309508> (дата обращения: 01.10.2018).

Results of the development of image recognition software on Python computer language

V. S. Rostovcev¹, O. N. Cheremisinova²

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: rostov_kirov@mail.ru

²student of the 4th year of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: cheremisinova8@gmail.com

Abstract. The article deals with the principles and results of the development of pattern recognition program on the example of cat breed identification, using the images presented in the *.jpeg format. Currently, there are no precise methods of pattern recognition, the use of which would not be accompanied by errors of recognition, even taking into account the significant time costs. Analysis of modern literature shows that the most promising approach to this problem is the approach using convolutional neural networks.

The results of the development of the pattern recognition program allow us to estimate the cost of its creation, experimental modeling and show the quality of recognition when using the Keras library of Python. An important point is the use of augmentation mode, which allows you to automatically generate an extended training sample by randomly changing and sequentially adding distortion to the image. As such operations can act as rotation, stretching, shift and some others.

Keywords: image recognition, machine learning, convolutional neural networks, augmentation.

References

1. *Augmentaciya (augmentation, "razdutie") dannyh dlya obucheniya nejronnoj seti na primere pechatnyh simvolov* – Augmentation ("bloat") of data for neural network training on the example of printed characters. Available at: <https://habr.com/company/smartengines/blog/264677> (date accessed: 19.12.2018).
2. *Oficial'naya dokumentaciya po biblioteke glubokogo obucheniya Keras* – Official documentation of the Keras deep learning library. Available at: <https://keras.io> (date accessed: 01.11.2018).
3. *Oficial'naya dokumentaciya po yazyku Python* – Official Python documentation. Available at: <https://www.python.org> (date accessed: 01.11.2018).
4. *Svertochnaya nejronnaya set', chast' 2: obuchenie algoritmom obratnogo rasprostraneniya oshibki* – Convolutional neural network, part 2: learning by the error back propagation algorithm. Available at: <https://habr.com/post/348028> (date accessed: 05.10.2018).
5. *Svertochnaya nejronnaya set'* – Convolutional neural network. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D1%91%D1%80%D1> (date accessed: 01.10.2018).
6. *Chto takoe svertochnaya nejronnaya set* – What is convolutional neural network. Available at: <https://habr.com/post/309508> (date accessed: 01.10.2018).

К вопросу устранения ЕЯ-неопределенностей в современных средствах обработки информации

В. С. Русов¹, Д. А. Захарова², В. Л. Клюкин³

¹магистрант кафедры электронных вычислительных машин, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: vyacheslavrusov96@gmail.com

²магистрант кафедры электронных вычислительных машин, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: zakharovadaria96@gmail.com

³старший преподаватель кафедры электронных вычислительных машин,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: klyukin@vyatsu.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена основная проблема устранения естественно-языковых неопределенностей текстов – устранение опечаток с учетом контекста в современных средствах обработки информации. Была разработана эффективная модель для решения данной проблемы. В ходе разработки модели сформулирована основная терминология проблемы, описаны примеры алгоритмов для реализации модели, даны советы по эффективному использованию модели на практике. При разработке модели были учтены краевые случаи, возникающие при обработке текстов с опечатками, описаны возможные шаблоны поведения при возникновении подобных ситуаций. Применение разработанной модели позволяет разрешать конфликтные ситуации неопределенностей опечаток в текстах на естественном языке, оставляя за конкретной реализацией выбор конкретных алгоритмов и подходов к решению каждого из этапов. В результате был рассмотрен реальный пример снятия неопределенности, позволяющий наглядно представить этапы работы с моделью.

Ключевые слова: естественно-языковой интерфейс, устранение языковых неопределенностей, опечатки.

Введение. Исторически автоматизация решения задач с помощью ЭВМ проводилась в тех областях, где задачи не требовали от исполнителя серьезной умственной либо творческой активности. Однако с ежегодным ростом мощностей компьютерной техники появляется возможность заменять большую часть работы человека автоматизированными системами. Так все больше интеллектуальных компьютерных систем входят в обиход современного человека: умные фитнес-трекеры, «умные» дома, боты-консультанты по юридическим вопросам. Большинство современных компьютерных систем объединяет тот факт, что для них пользователь является основным источником поступления информации [5].

Как известно, человеку гораздо проще выражать свои мысли на естественном языке (ЕЯ). Использование естественно-языковых интерфейсов (Natural language interface – NLI) со стороны клиента позволяет проводить общение с системой на понятном языке [7, с. 1164]. Основными требованиями, которые выдвигаются к NLI, являются глубокое понимание семантики языка, быстрое действие, корректная обработка ситуаций, когда система не может дать однозначный ответ без дополнительных сведений. Таким образом, важной частью решения большого класса задач современного мира является анализ естественно-языковой информации, ее приведение к структурированному виду для дальнейшей обработки системой [4, с. 813].

В модулях обработки ЕЯ информации можно выделить множество проблем. К ним относятся зависимость от конкретного ЕЯ, различные виды неопределенностей, большая вычислительная сложность, быстрое изменение языковой среды. Для решения данных проблем могут быть применены следующие подходы: введение ограничений ЕЯ; привлечение профессиональных лингвистов для построения языковой модели; разработка и применение эффективных современных методов автоматизированной обработки информации и построения языковой модели [2, с. 306]. Основной проблемой NLI является разрешение языковых неопределенностей, самыми популярными из которых являются опечатки.

Целью данной работы является устранение проблем NLI, связанных с языковыми неопределенностями, возникающими из-за опечаток.

Задачи исследования. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать предметную область, введя термин ЕЯ-неопределенности, рассмотреть основные проблемы и стратегии устранения опечаток.
2. Произвести анализ существующих решений для устранения неопределенностей опечаток.
3. Разработать формальную модель разрешения неопределенностей, вызванных опечатками.
4. Привести пример, демонстрирующий достоинства и недостатки формальной модели.

Предлагаемый подход. Будем понимать под неопределенностью, возникающей при анализе текста на естественном языке, ситуацию, когда система, находясь в контексте только данного текста, не может явно сопоставить вложенный автором смысл с предполагаемым смыслом текста.

Опечатки – неверное письменное обозначение желаемой информации – возникают из-за случайных ошибок в наборе текста, при отсутствии некоторых знаний языковых правил. Пример: «солнце» (правильно «солнце»). Основной проблемой обработки опечаток является ситуация, когда слово с опечаткой существует в словаре. В таких случаях единственным критерием неправильного употребления слова является его семантическая неупотребимость в данном контексте [6].

Проанализируем существующие средства разрешения неопределенностей опечаток. Самым популярным из методов решения неопределенностей, вызванных опечатками, является поиск слов в словаре. Основным достоинством данного метода является простота реализации и низкая вычислительная сложность [1, с. 8]. Многие системы хранят статистику запросов и используют ее для разрешения неопределенностей. Данный подход позволяет эффективно разрешать неопределенности, однако не может определить победителя из равнопопулярных вариантов. Система правил часто применяется для решения проблемы опечаток, но описание формальных правил языковой системы требует огромного количества человеческих ресурсов. Примером данного подхода может служить замена связок «жы» на «жи».

Стоит заметить, что существуют опечатки, которые не могут быть исправлены без семантического анализа контекста, а для полного понимания семантики предложения требуется избавиться от опечаток, следовательно, возникает противоречие – устранение опечаток требует анализа, проведение которого требует устранения опечаток.

Определим следующую формальную графовую модель, которая может быть применена для решения подобных задач. Вершинами являются слова, ребрами – связи между словами. Модель оставляет за конкретной реализацией подход к определению связи слов [3, с. 1588]. Возможные разновидности связей представлены на рис. 1 и рис. 2.



Рис. 1. Линейная семантическая связь слов в предложении

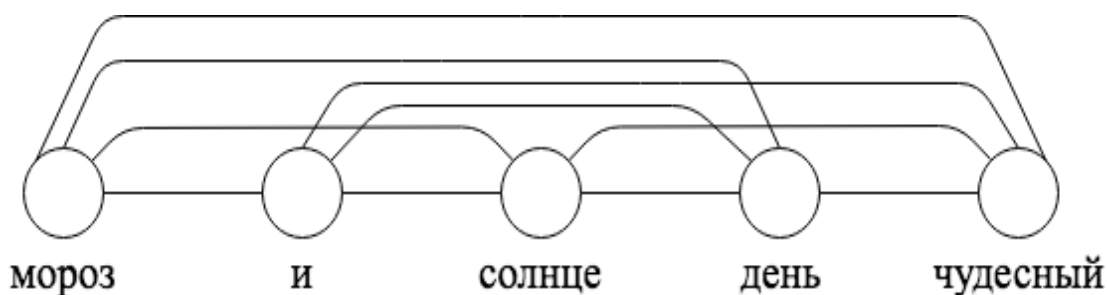


Рис. 2. Полносвязная семантическая связь слов в предложении

Будем понимать под *соответствием* с эталонным значением метрику, которая показывает, насколько заменяемое слово отличается от исходного. Каждое устранение опечаток относительно эталонного значения вычитает из этой величины значение, прямо пропорциональное количеству изменений и обратно пропорциональное вероятности появления этих изменений. Изначально соответствие с эталонным значением всех вершин равно единице.

Результаты исследования. Рассмотрим пример устранения неопределенностей словосочетания «индийский клон». В данном примере возможны только два способа организации связей между словами. Случай, когда слова не имеют связи, неинтересен, поэтому линейно свяжем эти слова. Процесс устранения неопределенностей данного словосочетания приведен в табл 1.

Таблица 1

Устранения неопределенностей словосочетания «индийский клон»

Состояние графа	Описание
	Инициализируем все соответствия с эталонным значением единицей, все релевантности нулями.
	Определяем реальную релевантность ребра. Имеется слишком мало информации по употребимости слов «индийский» и «клон» – определяем новую релевантность ребра 0.1. Определяем релевантности вершин: для вершины «индийский» = 0.1 – слова нет в словаре, для слова «клон» – 1, слово есть в словаре.
	Так как вершина «индийский» имеет малую релевантность, подбираем похожих кандидатов. В данном случае он один, имеет цену погрешности 0.1.
	Новое значение соответствия с эталонным значением = $1 - 0.1 = 0.9$. Новое значение релевантности ребра по-прежнему имеет малое значение (так как слова редко встречаются в контексте).
	Предполагаем, что в слове «клон» допущена опечатка, два равноправных кандидата. Выбираем первый «трон».
	Пересчитываем соответствие с эталонным значением вершины, релевантность ребра не изменяется.
	Пробуем использовать второго кандидата. Релевантность ребра возрастает до единицы. Среднее значение всех величин больше 0.5, следовательно, все неопределенности решены.

Выводы. В данной статье были рассмотрены основные проблемы современных средств обработки естественно-языковых запросов, выделен класс проблем, касающихся неопределенностей.

Проанализированы существующие решения и стратегии, которые позволяют бороться с ЕЯ-неопределенностями.

Разработана собственная модель, позволяющая эффективно разрешать неопределенности и устранять опечатки в тексте. Применимость, а также преимущества предложенного метода были продемонстрированы на конкретном примере.

Список литературы

1. Адитья Б. Грокаем алгоритмы : иллюстрированное пособие для программистов и любопытствующих. СПб. : Питер, 2019. 288 с.
2. Мельцов В. Ю., Нечаев А. А. Семантико-синтаксический анализ предложений на русском языке с помощью нейронных сетей // Фундаментальные исследования. 2017. № 11-2. С. 306–310.
3. Мельцов В. Ю., Страбыкин Д. А. Вывод следствий с построением схемы логического вывода // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-8. С. 1588–1593.
4. Мельцов В. Ю., Чистяков Г. А. Эффективный метод построения оптимизированного дерева грамматического разбора формул темпоральной логики линейного времени // Вестник тамбовского государственного технического университета. 2012. Т. 18. № 4. С. 813–820.
5. Обработка естественного языка. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Обработка_естественного_языка (дата обращения: 02.02.2019).
6. Правила русского языка. URL: <http://www.fio.ru/pravila/leksika> (дата обращения: 02.02.2019).
7. Шипицына А. А., Крутиков А. К., Мельцов В. Ю. Представление знаний в интеллектуальной САТ-системе с ЕЯ-интерфейсом // Общество, Наука, Инновации (НПК-2015). Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция. Киров : ВятГУ. 2015. С. 1164–1167.

On the issue of eliminating ЕЯ-uncertainties in modern means of information processing

V. S. Rusov¹, D. A. Zakharova², V. L. Klukin³

¹master student of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University.
Russia, Kirov. E-mail: vyacheslavrusov96@gmail.com

²master student of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University.
Russia, Kirov. E-mail: zakharovadaria96@gmail.com

³senior lecturer of the Department of electronic computing machines, Vyatka State University.
Russia, Kirov. E-mail: klyukin@vyatsu.ru

Abstract. In this article the main problem of elimination of natural language uncertainties of texts is considered – elimination of typos taking into account a context in modern means of information processing. An effective model has been developed to address this problem. During the development of the model, the basic terminology of the problem is formulated, examples of algorithms for the implementation of the model are described, tips on the effective use of the model in practice are given. During the development of the model the marginal cases arising in the processing of texts with typos were taken into account, possible patterns of behavior in the event of such situations were described. The application of the developed model allows to resolve conflict situations of uncertainty of typos in natural language texts, leaving the specific implementation of the choice of specific algorithms and approaches to solving each of the stages. As a result, a real example of removing uncertainty was considered, which allows to visualize the stages of working with the model.

Keywords: natural language interface, the elimination of language ambiguities, typographical errors.

References

1. Adit'ya B. *Grokaem algoritmy : illyustrirovannoe posobie dlya programmistov i lyubopyststvuyushhih* [Groote algorithms: an illustrated guide for programmers and curious people]. Spb. Piter. 2019. 288 p.
2. Mel'cov V. Yu., Nechaev A. A. *Semantiko-sintaksicheskij analiz predlozhenij na russkom yazyke s pomoshh'yu nejronnyh setej* [Semantic-syntactic analysis of sentences in Russian using neural networks] // *Fundamental'nye issledovaniya* – Fundamental research. 2017. No. 11-2. Pp. 306–310.
3. Mel'cov V. Yu., Strabykin D. A. *Vyvod sledstvij s postroeniem skhemy logicheskogo vyvoda* [Conclusion of consequences with the construction of a logical conclusion scheme] // *Fundamental'nye issledovaniya* – Fundamental research. 2013. No. 11-8. Pp. 1588–1593.
4. Mel'cov V. Yu., Chistyakov G. A. *Effektivnyj metod postroeniya optimizirovannogo dereva grammaticheskogo razbora formul temporal'noj logiki linejnogo vremeni* [An effective method of constructing an optimized tree of grammatical analysis of formulas of temporal logic of linear time] // *Vestnik tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* – Herald of Tambov State Technical University. 2012. Vol. 18. No. 4. Pp. 813–820.
5. *Obrabotka estestvennogo yazyka* – Natural language processing. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Обработка_естественного_языка (date accessed: 02.02.2019).
6. *Pravila russkogo yazyka* – Russian language rules. Available at: <http://www.fio.ru/pravila/leksika> (date accessed: 02.02.2019).
7. Shipicyna A. A., Krutikov A. K., Mel'cov V. Yu. *Predstavlenie znaniy v intellektual'noj CAT-sisteme s EЯ-interfejsom* [Knowledge representation in intelligent CAT system with a ЕЯ-interface] // *Obshchestvo, Nauka, Innovacii (NPK-2015). Vserossiyskaya ezhegodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya* – Society, Science and Innovation (Scientific and practical conference-2015). All-Russian annual scientific and practical conference. Kirov. VyatSU. 2015. Pp. 1164–1167.

Разработка алгоритма прогнозирования времени прибытия общественного транспорта на остановку

А. Е. Гаврилов¹, А. В. Колупаев²

¹студент кафедры систем автоматизации управления, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: martin.mccormick@yandex.ru

²кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: al-kolupaev@yandex.ru

Аннотация. В данной статье приводится разработанный авторами алгоритм прогнозирования времени прибытия общественного транспорта на остановку. Алгоритм работает на основе анализа открытых данных информационной системы городского пассажирского транспорта Центральной диспетчерской службы г. Кирова.

Объектами исследования данной работы являются маршрутная сеть городского пассажирского транспорта г. Кирова и связанная с ней информационная система Центральной диспетчерской службы.

Разработанный алгоритм по функциональности превосходит используемый в системе в данный момент, позволяя спрогнозировать время прибытия всех транспортных единиц всех маршрутов, проходящих через заданную остановку. Точность разработанного алгоритма не уступает по погрешности прогноза используемому, а вблизи конечных остановок превосходит его.

Разработанный алгоритм может быть применен в действующей информационной системе обслуживания пассажиров городского транспорта в г. Кирове.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, информационные системы, прогнозирование, алгоритм, маршрут.

Введение. В настоящее время на автотранспортных предприятиях, которые занимаются пассажирскими перевозками, активно применяются информационные технологии. Они позволяют автоматизировать многие процессы в организации, а также помогают вести учет расхода топлива, отслеживать местоположение транспорта, составлять расписание, планировать маршруты следования и т. д. Через эти системы осуществляется взаимодействие с пользователями пассажирского транспорта: принимаются и обрабатываются заявки, жалобы, предложения, осуществляется информирование населения об изменениях в расписании, маршрутах следования, в деятельности транспортных компаний и т. д.

Самой важной для пассажиров функцией подобных информационных систем является прогнозирование времени прибытия транспорта на остановку. Такая информация доступна диспетчерам автотранспортного предприятия, и часть ее (расписание, местоположение транспорта, при наличии – прогноз прибытия) раскрывается пользователям пассажирского транспорта посредством электронных табло на остановках, веб-интерфейса системы или мобильного приложения.

На данный момент Центральной диспетчерской службой городского пассажирского транспорта г. Кирова для демонстрации на электронных табло остановок общественного транспорта и в мобильных, и веб-приложениях используется алгоритм прогнозирования прибытия на остановку только ближайшей к выбранной остановке единицы общественного транспорта требуемого маршрута. В подобных системах (например, в информационных системах Казани и Самары, в системе «Умный транспорт») прогноз выдается для нескольких единиц общественного транспорта или для нескольких остановок одной единицы общественного транспорта.

Актуальной остается задача прогнозирования времени прибытия всех единиц общественного транспорта всех маршрутов, проходящих через выбранную остановку.

Цель исследования. Целью работы является разработка алгоритма прогнозирования прибытия городского пассажирского транспорта на остановку на основе открытых данных информационной системы Кировской центральной диспетчерской службы.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать имеющиеся открытые данные информационной системы;
- определить набор входных и выходных данных алгоритма;
- разработать модель прогнозирования времени прибытия одной единицы транспорта одного маршрута на остановку;
- масштабировать модель на все единицы общественного транспорта всех маршрутов, проходящих через остановку.

Методы исследования. При написании работы были применены методы анализа исходных данных, синтеза алгоритмов, геометрических преобразований, компьютерного моделирования, сравнения полученных результатов с аналогами.

В результате проведенного анализа открытых данных информационной системы был разработан алгоритм, позволяющий осуществлять прогнозирование времени прибытия каждой транспортной единицы каждого маршрута, проходящего через заданную пользователем остановку. Описание алгоритма прогнозирования прибытия транспорта на остановку для всех единиц одного маршрута приводится ниже.

Для работы данного алгоритма необходим следующий набор входных данных:

- расписание на текущий день для конечных остановок проходящего маршрута;
- упорядоченный список остановок маршрута с их местоположением на карте и принадлежностью к стороне дороги;
- упорядоченный список узлов маршрута с их местоположением на карте и направлением движения транспорта через этот узел. Узлом маршрута называется точка поворота маршрута или точка остановки. Обозначения приведены на рис. 1;
- список точек местоположения транспортных единиц (маркеров) маршрута на карте с углом их поворота и скоростью движения;
- местоположение автобусного парка.

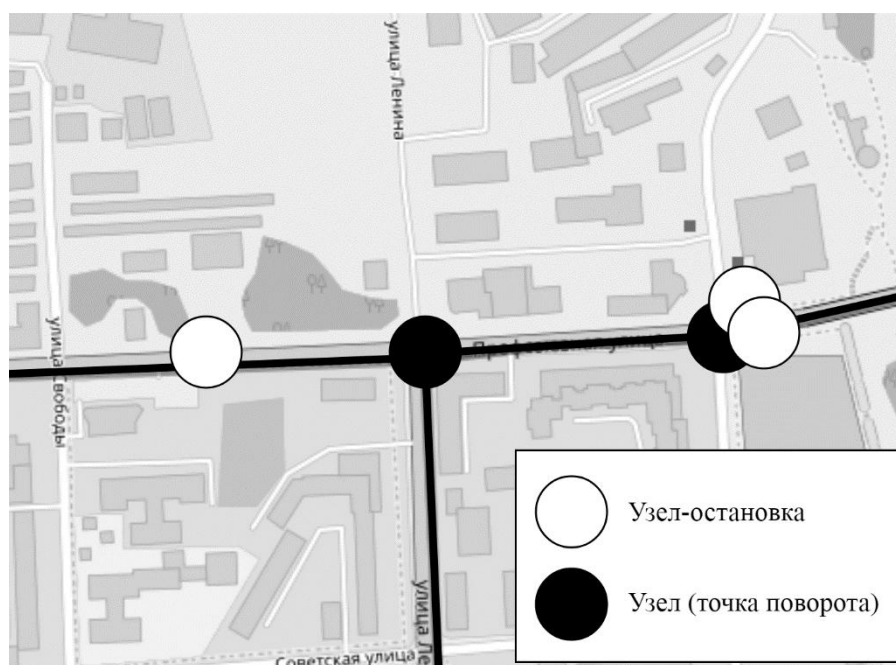


Рис. 1. Обозначения узлов маршрута

Разработанный алгоритм состоит из нескольких этапов (шагов).

Шаг 1. Обработка всех маркеров маршрута

На этом шаге необходимо для каждого маркера выполнить расчет его расстояния до линии маршрута. Это необходимо для того, чтобы отбросить маркеры, которые находятся не на линии (потенциально, сняты с рейса, находятся в парке и т. п.), при этом учитывая максимально возможную погрешность GPS-приемника, равную 50 метрам [2].

Для нахождения расстояния между маркером и линией маршрута применяется геометрическая формула нахождения точки пересечения между четырьмя отрезками, проходящими через центр маркера горизонтально (от -180 до 180 по оси X, по оси Y в точке маркера), вертикально (по оси X в точке маркера, от -90 до 90 по оси Y) и под углом в 45 градусов и линией маршрута. Пересечение отрезков проиллюстрировано на рис. 2 (тонкой черной линией изображена линия маршрута).

Точка пересечения отрезков находится по алгоритму [1, с. 227].

Далее находятся расстояния от точек пересечения до маркера по формуле (1) и выбирается из них кратчайшее (на рис. 2 изображено жирной линией).

$$\Delta\sigma = \arctan\left(\frac{\sqrt{(\cos\phi_2 * \sin\Delta\lambda)^2 + (\cos\phi_1 * \sin\phi_2 - \sin\phi_1 * \cos\phi_2 * \cos\Delta\lambda)^2}}{\sin\phi_1 * \sin\phi_2 + \cos\phi_1 * \cos\phi_2 * \cos\Delta\lambda}\right) \quad (1)$$

Где $\phi_1, \lambda_1; \phi_2, \lambda_2$ – широта и долгота двух точек в радианах;
 $\Delta\lambda$ – разница координат по долготе;
 $\Delta\sigma$ – угловая разница.

Для перевода углового расстояния в метрическое нужно угловую разницу умножить на радиус Земли (6 372 795 метров), единицы конечного расстояния совпадают с единицами, в которых выражен радиус [3].

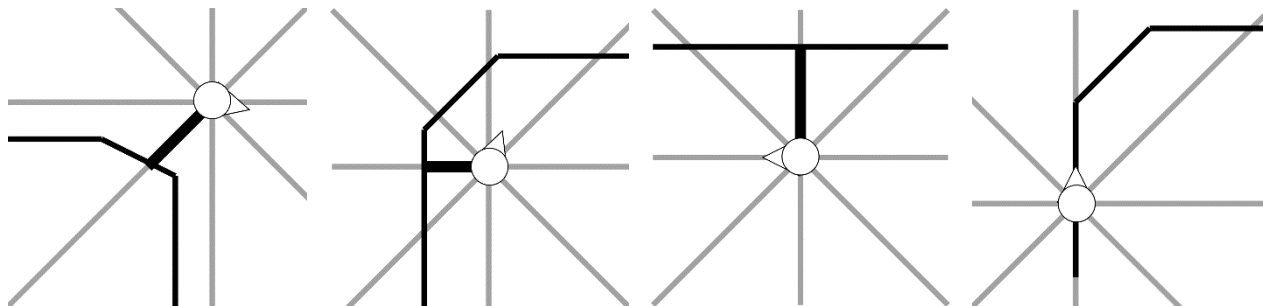


Рис. 2. Определение расстояния между маркером и линией маршрута

Если найденное расстояние превышает выбранное пороговое значение, то рассматриваемый маркер выбывает из списка прогнозируемых.

Шаг 2. Обработка маркеров, оставшихся на линии

На этом этапе необходимо определить направление движения маркера. Для этого вычисляется расстояние от каждого маркера до каждого узла маршрута по прямой и формируются два списка (по стороне дороги) с расстояниями до этих узлов. В этих списках выбирается по два ближайших к маркеру узла.

Далее необходимо вычислить угол между линией направления «взгляда» маркера и линией между двумя найденными узлами. Для «построения» линий используется формула уравнения прямой с угловым коэффициентом $y = kx + b$, проходящей через заданную точку на плоскости. Острый угол, направленный в сторону узла с большим порядковым номером, свидетельствует о движении в прямом направлении, а направленный в сторону узла с меньшим порядковым номером – о движении в обратном направлении. Если же угол оказывается прямым, то рассматриваемый маркер выбывает из списка прогнозируемых, поскольку нет возможности определить направление его движения. Возможные случаи продемонстрированы на рис. 3 (определяющий направление угол выделен жирной линией).

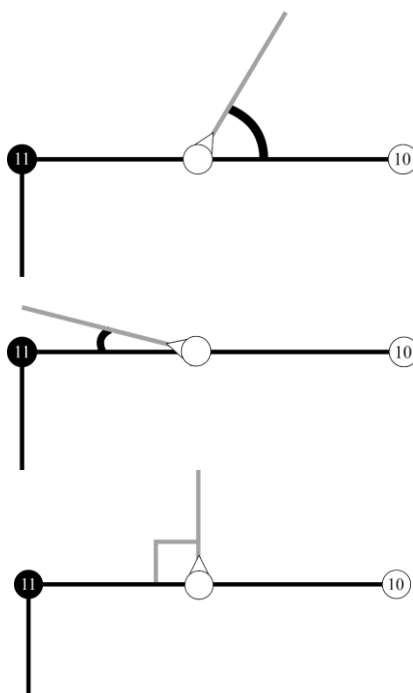


Рис. 3. Определение направления движения маркера

Также на этом шаге маркер может выбыть из списка прогнозируемых, если он едет в противоположном направлении от разрешенного конфигурацией маршрута.

Шаг 3. Формирование очереди прохождения остановок

Перед данным этапом становится известно, между какими двумя узлами маршрута находится маркер и его направление движения. На данном этапе необходимо определить, какой следующий узел-остановка находится по направлению движения маркера. Далее формируется закольцованная очередь прохождения остановок маркером (начиная с текущей остановки до конечной, с конечной в обратном направлении до другой конечной и с нее до текущей остановки). Кольцо необходимо сформировать на тот случай, если пользователь запрашивает прогноз с остановки, через которую уже проехал транспорт, и он единственный на маршруте. Время отправления для конечных остановок учитывается исходя из расписания этой остановки.

Шаг 4. Разбиение списка маркеров

На этом шаге для дальнейшего определения средней скорости движения маркеров необходимо разбить список маркеров на два списка: движущийся и стоящий. Стоящим считается маркер, если скорость его движения меньше или равна 5 км/ч, а расстояние между ним и ближайшим узлом-остановкой меньше 30 метров.

Расчет расстояния между двумя точками на карте также осуществляется по формуле (1).

Шаг 5. Обработка движущихся маркеров. Расчет протяженности маршрута

На данном шаге рассчитывается расстояние между всеми узлами маршрута и вычисляется время, необходимое для прохождения требуемой части маршрута. Расчет расстояния между узлами маршрута производится по формуле (1), начиная с позиции маркера. Скорость движения каждого маркера принимается постоянной (равной текущей скорости маркера) на всем протяжении маршрута. Время перемещения определяется делением длины требуемой части маршрута на скорость движения. Дополнительным параметром в расчете является время простоя на промежуточной остановке. В ходе статистического анализа данных было установлено, что среднее время простоя занимает около 15 секунд. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений времени простоя транспорта на остановке

№ транспорта	Время простоя
1	19
2	14
3	53
4	9
5	9
6	12
7	15
8	20
9	13
10	5
11	7
12	7
13	8
14	14
15	16
16	21
17	13
18	5
19	23
20	37
21	10
22	12
Среднее время:	15,545

Время простоя на конечной остановке можно найти как разницу в расписании между интервалами прибытия и отправки с остановок, одна из которых является конечной, а другая – отправной, скорректированное с учетом рассчитанного времени прибытия. Таким образом, достигнув в процессе прогнозирования конечной остановки, можно получить приблизительное время прибытия транспорта в данное место и отправления с него. Если время отправления находится близко к последнему интервалу промежуточной конечной остановки, то при прогнозировании времени про-

хождения остановок маркером для него будет выставляться пометка «последний рейс», что сигнализирует о том, что посадка пассажиров уже не гарантируется. Если время прибытия на последнюю конечную остановку маршрута близко к последнему интервалу расписания, то из очереди прохождения отбрасываются все следом идущие остановки, т. к. транспорт уйдет в парк.

Шаг 6. Обработка стоящих маркеров

Первым шагом на данном этапе проводится дополнительная фильтрация маркеров, которые стоят в парке, если сам парк находится достаточно близко к маршрутной линии. Рассчитывается расстояние между стоящими маркерами и местоположением парка по формуле (1). Если маркер находится в радиусе 50 метров от центра парка, то он выбывает из списка прогнозируемых.

Для оставшихся стоящих маркеров скорость устанавливается как средняя скорость движущихся маркеров, после чего ведется расчет времени проезда маршрута как для движущегося.

Результаты исследований. Ниже, в табл. 2, приведено сравнение по различным критериям действующего алгоритма с разработанным.

Таблица 2

Сравнение алгоритмов

Критерий	Действующий алгоритм	Разработанный алгоритм
Количество прогнозируемых единиц транспорта на маршрут	1 ближайшая к остановке	n ближайших к остановке
Используемый набор данных	Используются статистические данные и данные текущего состояния системы	Используются только данные текущего состояния системы
Максимальная разница между фактическими данными и прогнозом	1-3 минуты	1-4 минуты
Погрешность прогнозов вблизи конечных остановок	2-6 минут	1-2 минуты
Время прогнозирования	Нет данных	5-7 секунд

В табл. 3 приведены результаты тестирования разработанного алгоритма. Последний тест выполнялся для конечной остановки маршрута.

Таблица 3

Результаты тестирования алгоритма

№ теста	Временная отметка в системе ЦДС	Скорость движения транспорта, км/ч	Расстояние до остановки, км	Прогнозируемое время по алгоритму ЦДС, мин.		Прогнозируемое время по разработанному алгоритму, мин.		Фактическое время
1	16:52:23	18	4,02	7	16:59:23	13,4	17:05:47	17:02:39
2	17:04:40	20	2,35	12	17:16:40	7,05	17:11:43	17:13:01
3	17:19:33	10	3,17	18	17:37:33	13,58	17:33:08	17:35:53
4	12:31:15	21	0,74	1	12:32:15	2,1	12:33:21	12:32:30
5	12:40:56	30	0,57	1	12:41:56	1,14	12:42:04	12:41:27
6	18:21:34	0	1,68	5	18:26:34	2,77	18:24:20	18:24:28

Выводы. Разработанный алгоритм позволяет спрогнозировать время прибытия всех транспортных единиц всех маршрутов, проходящих через заданную пользователем остановку на основе анализа открытых данных информационной системы Центральной диспетчерской службы г. Кирова (расписание, местоположение транспортных средств, линия маршрута, скорость движения).

Результаты сравнения показывают, что разработанный алгоритм не уступает по погрешности прогноза используемому в данный момент, а вблизи конечных остановок значительно превосходит его.

Данный алгоритм может быть применен в действующей информационной системе обслуживания пассажиров городского транспорта в г. Киров.

Список литературы

1. Окулов С. М. Программирование в алгоритмах. М., 2002. 341 с.
2. Переосмысление GPS: Разработка системы позиционирования нового поколения в Uber / Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/353978> (дата обращения: 21.04.2018).
3. GIS-Lab: Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере. URL: <http://gis-lab.info/qa/great-circles.html> (дата обращения: 30.10.2018).

Development of an algorithm for forecasting the time of arrival of public transport at the bus stop

A. E. Gavrilov¹, A. V. Kolupaev²

¹student of the Department of control automation systems, Vyatka State University.

Russia, Kirov. E-mail: martin.mccormick@yandex.ru

²PhD of technical sciences, associate professor of the Department of control automation systems, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: al-kolupaev@yandex.ru

Abstract. This article presents an algorithm developed by the authors to predict the time of arrival of public transport to the bus stop. The algorithm works on the basis of the analysis of open data of information system of city passenger transport of the Central dispatch service of Kirov.

The objects of the study of this work are the route network of urban passenger transport in Kirov and the associated information system of the Central dispatch service.

The developed algorithm surpasses the functionality used in the system at the moment, allowing to predict the arrival time of all transport units of all routes passing through a given stop. The accuracy of the developed algorithm is not inferior to the prediction error used, and well, near the end stops exceeds it.

The developed algorithm can be applied in the current information system of public transport passenger service in Kirov.

Keywords: urban passenger transport, information systems, forecasting, algorithm, route.

References

1. Okulov S. M. *Programmirovaniye v algoritmah* [Programming in algorithms]. M. 2002. 341 p.
2. *Pereosmysleniye GPS: Razrabotka sistemy pozicionirovaniya novogo pokoleniya v Uber / Habr* – Rethinking GPS: Development of the positioning system of the new generation of Uber / Habr. Available at: <https://habr.com/ru/post/353978> (date accessed: 21.04.2018).
3. *GIS-Lab: Vychisleniye rasstoyaniya i nachal'nogo azimuta mezhdu dvumya tochkami na sfere* – GIS-Lab: Calculation the distance and initial azimuth between two points on a sphere. Available at: <http://gis-lab.info/qa/great-circles.html> (date accessed: 30.10.2018).

Метод шумоподавления в речевых сигналах с помощью нейронной сети

С. Г. Лялин

аспирант кафедры электронных вычислительных машин, преподаватель кафедры систем автоматизации управления, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: lyalinstas@gmail.com

Аннотация. Задача идентификации диктора по голосу имеет широкую сферу применения. В частности, это может быть обеспечение безопасного входа на веб-сайт. В этом случае идентифицирующая сторона не может контролировать звукозаписывающее оборудование и шумовую обстановку пользователя, поэтому речевые сигналы могут оказаться зашумленными и не пригодными для принятия достоверного решения. Появляется необходимость в предварительной фильтрации входных данных от помех. Подвергаемые фильтрации цифровые данные должны сохранить максимум значимой информации, используемой для вычисления голосовых признаков. Одним из вариантов создания цифровых фильтров сегодня является применение искусственных нейронных сетей.

В данной статье описан метод фильтрации голосовых записей от шума с помощью искусственной нейронной сети. Разработанный метод протестирован на базе голосовых записей, записанных в различных реальных условиях, и показал свою эффективность. Он может применяться в любой сфере, где требуется фильтрация помех в речевых сигналах.

Ключевые слова: речевой сигнал, подавление шума, искусственная нейронная сеть, машинное обучение, задача предсказания.

Введение. Наличие помех в речевых данных может существенно осложнять задачу идентификации диктора по голосу, так как голосовые признаки по этим данным могут быть вычислены неверно. В результате точность идентификации будет низкой и система будет не пригодна к использованию. В то же время в реальных системах далеко не всегда есть возможность контролировать звукозаписывающее оборудование и шумовую обстановку, в которой осуществляется запись речевых данных, поэтому единственным вариантом решения проблемы остается фильтрация сигнала после записи. Кроме того, в реальных сигналах АЧХ шума распределена неравномерно, и от диктора к диктору она может сильно отличаться. Поэтому задача фильтрации сигнала является нетривиальной.

Цель исследования. Целью данного исследования является разработка универсального метода автоматической фильтрации речевых данных от шума, учитывающего особенности шумовой обстановки для каждой голосовой записи.

Задачи исследования. В процессе исследования необходимо разработать метод фильтрации голосовых записей от помех, подготовить базу голосовых данных для настройки и тестирования алгоритма, провести соответствующие эксперименты.

Методы исследования. Исходными данными в задаче являются голосовые данные. Они представляют собой одноканальные wav-файлы с частотой дискретизации 16 кГц и длительностью порядка 3-5 секунд. Файлы содержат речевые данные на английском языке реальных пользователей различной национальности, пола и возраста. Данные были получены с сайта voxforge.org. Эти голосовые записи сформированы непосредственно пользователями с учетом собственного записывающего оборудования, поэтому на многих файлах присутствует шум. Из множества записей было отобрано 20 файлов для настройки и тестирования метода.

Идея метода состоит в следующем. Как правило, диктор начинает говорить не сразу в момент включения записи и выключает запись не сразу по окончании фразы. Поэтому в начале и конце голосовой записи присутствуют участки, на которых отсутствует речь, но ясно различим шум. Эти участки могут использоваться для построения модели шума. Шум, извлеченный из этих участков, может быть наложен поверх исходной голосовой записи. Тогда можно считать, что исходная запись – это некий эталон, а запись с наложенным поверх шумом – зашумленный сигнал, который требуется научиться фильтровать, то есть приводить его к эталону. Таким образом, полученные данные могут являться обучающими для некоторого алгоритма машинного обучения, который по зашумленному сигналу учится восстанавливать эталонный. Результатом будет являться обученная модель, применив которую к исходному (эталонному) сигналу, можно получить очищенный от шумов сигнал. Обученная модель в данном случае будет выступать неким нелинейным цифровым фильтром.

Рассмотрим далее приведенный выше алгоритм более подробно.

Изначально голосовая запись подвергается процедуре стандартизации. Эта процедура выравнивает амплитуду сигнала, центрируя среднее значение амплитуды и устанавливая средне-квадратическое отклонение, равное единице (1).

$$x = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Необходимость процедуры стандартизации амплитуды вызвана тем, что исходные данные в голосовых записях не нормированы (могут быть очень малы или очень велики, различны для всех пользователей). По этой причине задавать универсальные пороговые значения невозможно, без стандартизации они будут разными для всех пользователей. Стандартизация решает эту проблему. На рисунке 1 приведен исходный речевой сигнал и тот же сигнал после процедуры стандартизации.

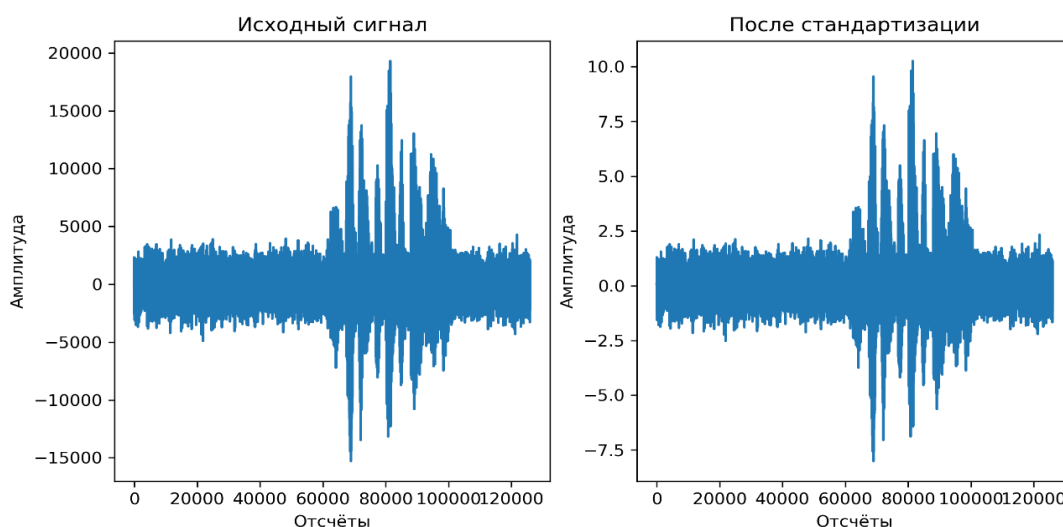


Рис. 1. Сигнал до и после процедуры стандартизации

Следующий этап алгоритма состоит в поиске участков шума в начале и конце файла. Для этого строится огибающая сигнала, по которой затем путем сравнения с некоторым пороговым значением выбираются участки, соответствующие шуму. Для вычисления огибающей выполняется свертка модуля отсчетов сигнала с прямоугольным окном длительностью 30 мс. Данная длительность получена эмпирически, путем наблюдения за файлами из выборки. Если задать значение меньше, огибающая будет подвержена локальным всплескам мощности сигнала. Если задать значение больше, будут сглажены важные фрагменты сигнала. На рисунке 2 слева показан сигнал, вычисленная для него огибающая и выбранное пороговое значение. На том же рисунке справа показан увеличенный фрагмент графика. Значения, меньшие порога, из начала и конца файла принимаются за шум. На рисунке 2 эти участки выделены прямоугольниками.

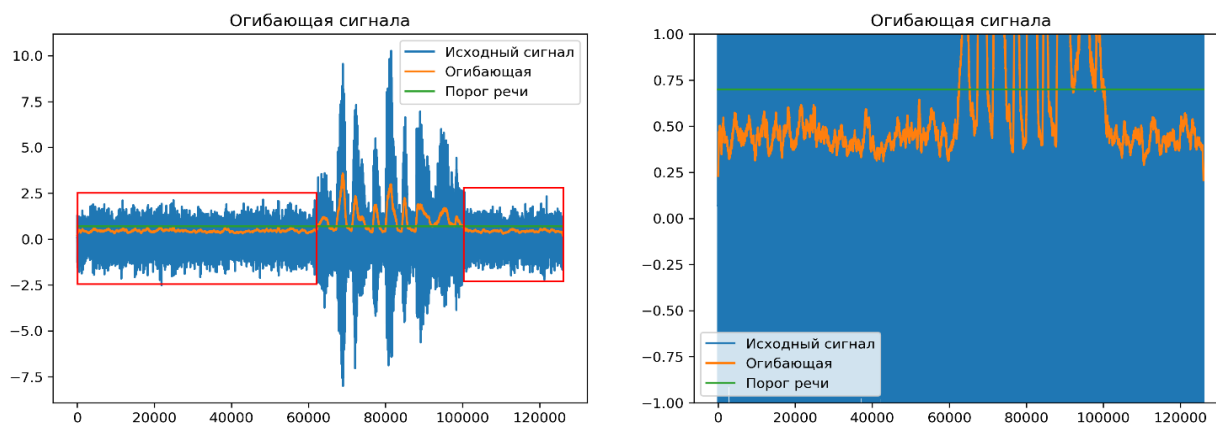


Рис. 2. Огибающая сигнала и порог отсека шума

В качестве порога отсека шума выбрано значение 0.7. Значение также выбрано эмпирически после исследования всех файлов выборки.

На следующем шаге алгоритма участок шума увеличивается по длительности до размера исходного сигнала, чтобы его можно было наложить поверх исходного сигнала, который будет выступать эталоном при обучении.

Далее выполняется фильтрация шума ФНЧ с частотой среза 4 кГц. Используется фильтр Баттерворта порядка 8. Данный фильтр нужен для того, чтобы исключить из фильтрации нейронной сетью неинформативную область высоких частот. Применение фильтра дает следующий эффект. Область высоких частот (от 4 кГц) не содержит информации о речи, частотная полоса которой обычно не превышает 3 кГц [1], поэтому при итоговой фильтрации сигнала нейронной сетью эту область можно игнорировать. Когда к исходному (эталонному) сигналу добавляется шум, пропущенный через ФНЧ, сигнал в области высоких частот у обоих сигналов будет одинаковым. Тогда нейронная сеть при обучении будет обращать внимание только на значимую область низких частот, не изменяя высокочастотную область. Это не имеет принципиального значения для технического анализа голосовых записей, но дает меньше искажений при восприятии отфильтрованного сигнала «на слух».

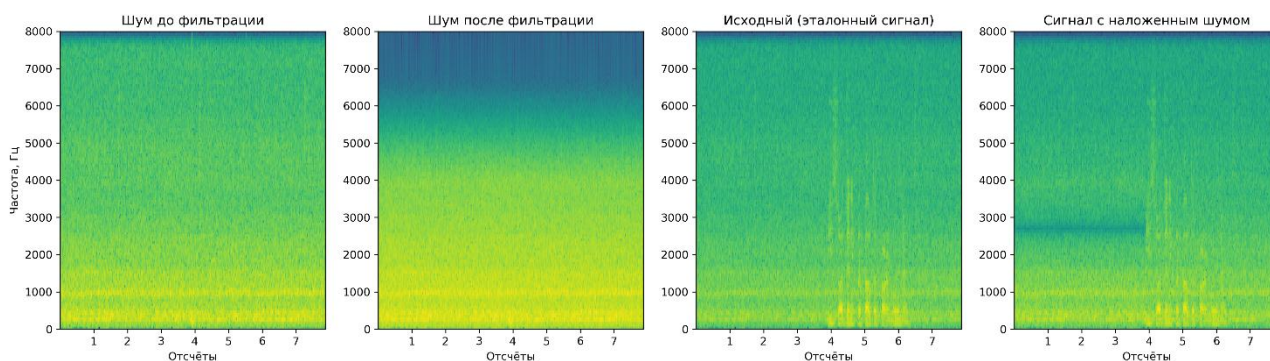


Рис. 3. Шум, отфильтрованный шум, эталонный сигнал и сигнал с наложенным шумом

На рисунке 3 показан шум, извлеченный из исходной записи, затем шум, пропущенный через ФНЧ с полосой 4 кГц, затем исходный (эталонный) сигнал и тот же сигнал, но с добавленным шумом.

На следующем этапе формируется обучающая выборка для алгоритма машинного обучения. В данном случае решается задача предсказания амплитуды отсчета по амплитудам p предыдущих отсчетов. Матрица входов будет иметь размер $m \times p$, где m – количество примеров, p – количество отсчетов из зашумленного сигнала, по которым будет предсказываться отсчет в отфильтрованном сигнале. Вектор выходов имеет размерность $m \times 1$ и содержит значения амплитуды отсчетов из эталонного сигнала. Рисунок 4 поясняет процесс формирования выборки.

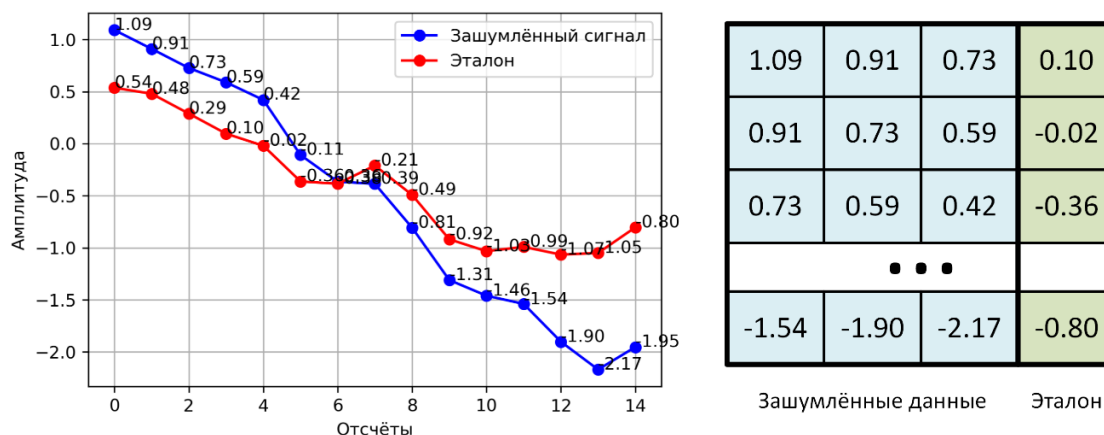


Рис. 4. Формирование выборки для алгоритма машинного обучения

На рисунке 4 приведен пример формирования выборки для $p = 3$. 3 первых отсчета зашумленного сигнала являются вектором признаков первого обучающего примера. Четвертый отсчет эталонного сигнала является целевым значением первого обучающего примера. Затем выполняется сдвиг на один отсчет и формируется следующая строка таблицы, и так до тех пор, пока не будет

достигнут конец файла. В результате получается матрица признаков, содержащая данные из зашумленного сигнала, и вектор ответов, содержащий данные из эталонного (исходного) сигнала.

Затем все примеры выборки случайным образом перемешиваются и делятся в отношении 70% на 30%. Первая часть используется в качестве обучающих примеров, вторая – в качестве контрольных при кросс-валидации.

После того как исходные данные подготовлены, выполняется построение модели. Существует большое количество методов машинного обучения, решающих задачу регрессии. В данной работе выбрана искусственная нейронная сеть (многослойный персептрон), так как данная модель является обобщением более простых моделей (линейной и логистической регрессий) и способна моделировать сложные нелинейные зависимости. На рисунке 5 приведена архитектура нейронной сети.

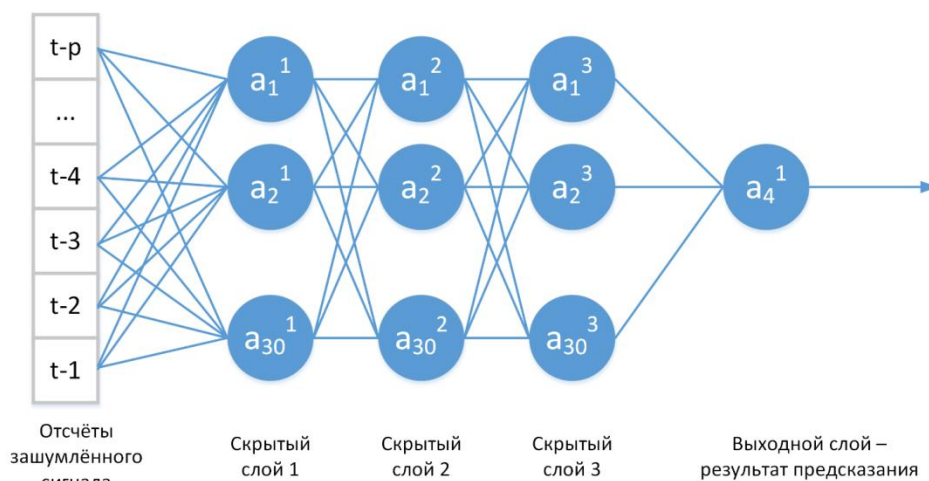


Рис. 5. Архитектура нейронной сети

Архитектура состоит из 5 слоев. Первый слой – входной. Сюда поступают значения из выборки – зашумленные значения, которые сеть должна научиться фильтровать. Затем следуют 3 скрытых слоя по 30 нейронов в каждом с функцией активации LeakyReLU, которая является усовершенствованным вариантом функции активации ReLU. Для ReLU характерны простота реализации, эффективность и отсутствие проблемы затухания градиентов при обучении сети. LeakyReLU считается улучшенной версией ReLU и дает большую точность на большинстве тестов [2]. Последний слой – выходной – содержит один нейрон с линейной функцией активации, так как сеть должна предсказывать непрерывное значение целевой переменной – амплитуду очищенного от шума сигнала.

Кроме того, при обучении сети использовался подход EarlyStopping, который препятствует переобучению модели. Суть его заключается в том, что обучение останавливается в тот момент, когда на кривой обучения ошибка на кросс-валидационной (контрольной) выборке, достигнув плато, начинает увеличиваться, в то время как ошибка на обучающей выборке стабильно снижается. Еще одним достоинством такого подхода является ускорение процесса обучения. Типичный график кривой обучения приведен на рисунке 6.

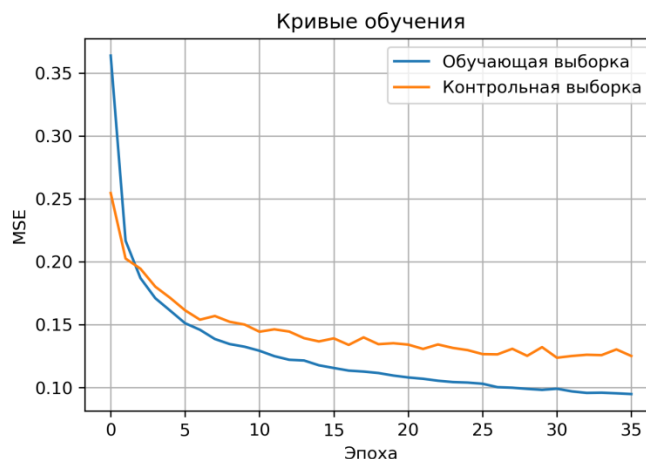


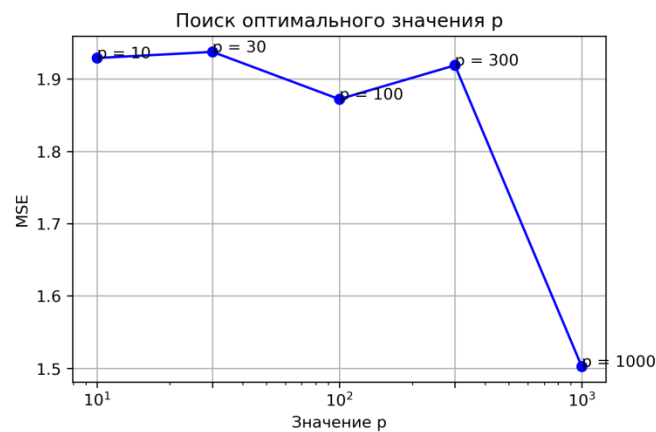
Рис. 6. Кривые обучения

Как было показано выше, предсказание отфильтрованного отсчета выполняется по предыдущим отсчетам. При этом чем выше значение p , тем большая предыстория учитывается при построении прогноза. Для поиска оптимального значения параметра p были рассмотрены значения из ряда (10, 30, 100, 300, 1000). Для каждого значения на каждом из файлов выборки была посчитана среднеквадратическая ошибка (MSE) между фактическими значениями эталонного сигнала и теми значениями, которые предсказала нейронная сеть. Очевидно, что чем меньше MSE, тем лучше модель предсказывает значения, иными словами, тем лучше она отфильтровывает шум. Данные поиска оптимального значения p , усредненные по всем файлам выборки, приведены в таблице 1 и на рисунке 7.

Таблица 1

MSE для зашумленного и отфильтрованного сигнала при разных p

Значение	10	30	100	300	1000
MSE	1.928935	1.937442	1.872025	1.918838	1.502585

Рис. 7. MSE для зашумленного и отфильтрованного сигнала при разных p

Результаты исследований, их обсуждение. Таким образом, точнее всего прогноз получается при значении $p = 1000$. Именно с этим значением далее проводилось тестирование алгоритма для различных файлов.

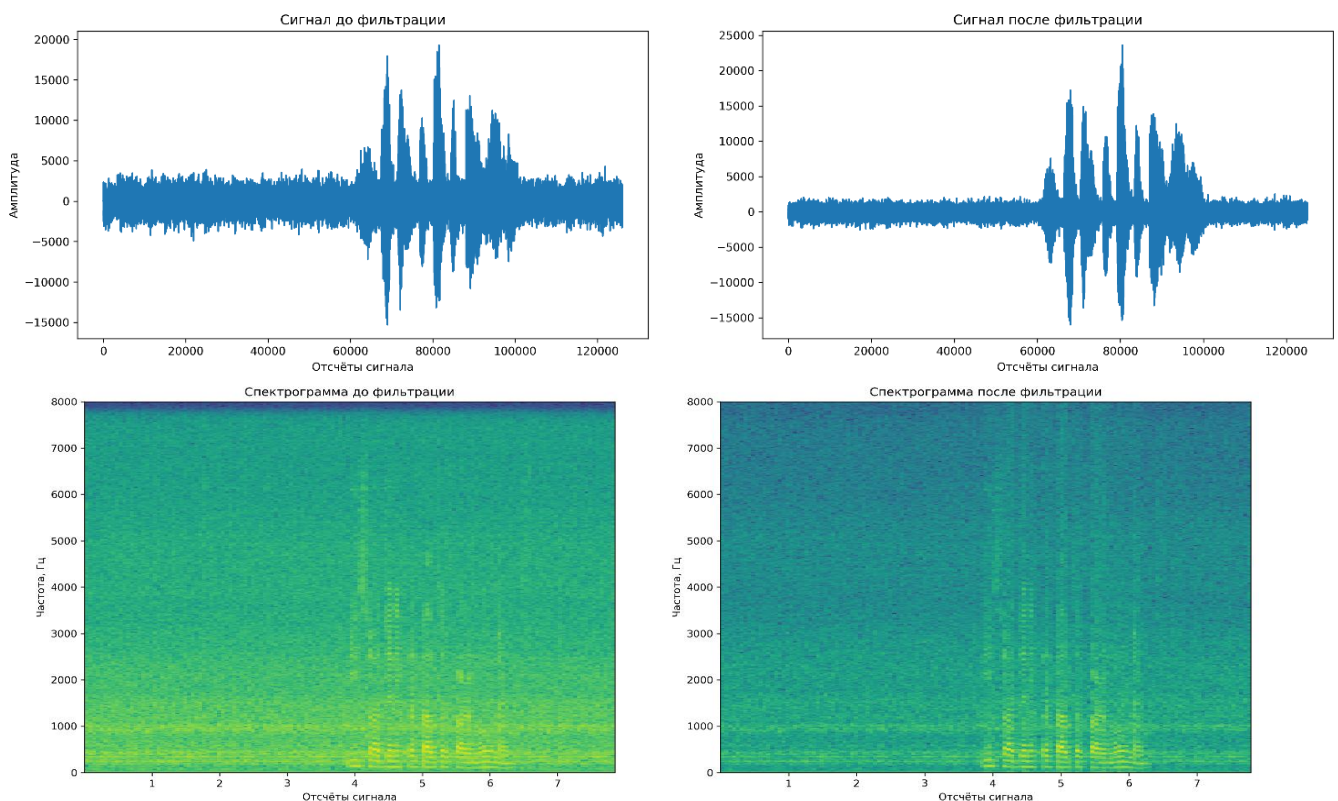


Рис. 8. Результат фильтрации сигнала

На рисунке 8 отчетливо видно, что уровень шума уменьшился, при этом значимая информация сохранилась.

Кроме того, одним из вариантов тестирования сигнала является проверка на искусственно сгенерированном эталонном сигнале. В качестве такого искусственного сигнала выступает синусоида с частотой 1 кГц. К этому сигналу сначала добавляется шум, а затем выполняется фильтрация зашумленного сигнала обученной моделью. Результат фильтрации показан на рисунке 9. Видно, что, несмотря на высокий уровень шума, исходная синусоида была хорошо восстановлена. На спектрограмме отфильтрованного сигнала, кроме того, видны дополнительные частоты с шагом 1 кГц, которых не было в исходном эталонном сигнале. Природа этого явления пока неясна. Тем не менее можно сделать вывод, что модель работоспособна и справляется с задачей фильтрации речевого сигнала.

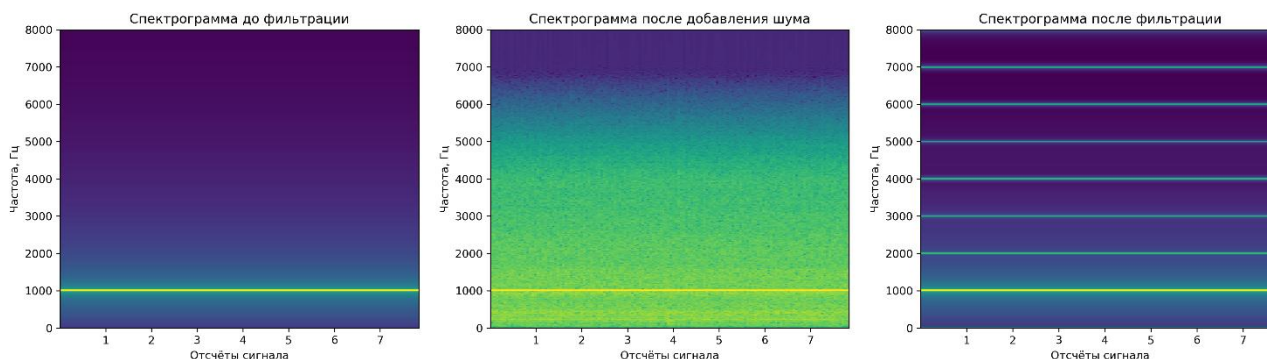


Рис. 9. Проверка модели на искусственно сгенерированной синусоиде с частотой 1 кГц

Выводы. В данной работе был описан метод фильтрации голосовых сигналов с помощью искусственной нейронной сети. Метод является универсальным и полностью автоматическим. Метод был протестирован на базе из 20 сигналов, записанных в разных условиях с использованием разного оборудования, и показал свою эффективность – уровень шума снижается, при этом вся значимая информация сохраняется.

К недостаткам метода можно отнести появление некоторых артефактов, которые отсутствовали в исходном сигнале (см. рис. 9). Кроме того, процесс обучения модели выполняется довольно долго – на процессоре Intel Core i3 6 поколения – порядка 20 секунд на 3-5 секундный файл. В качестве мер по повышению производительности метода можно предложить обучать модель не на всех данных, а на некотором их подмножестве, а также упростить архитектуру сети. Еще одним потенциальным улучшением метода может стать итеративная фильтрация – запуск фильтрации на одном файле несколько раз подряд для более существенного подавления шума.

В целом, разработанный метод является универсальным и подходит для использования в широком спектре систем, например, при очистке от шума записей телефонных разговоров.

Список литературы

1. Частота голоса. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Частота_голоса (дата обращения: 10.02.2019).
2. Это нужно знать: Ключевые рекомендации по глубокому обучению (Часть 2). URL: <http://datareview.info/article/eto-nuzhno-znat-klyuchevyye-rekomendatsii-po-glubokomu-obucheniyu-chast-2> (дата обращения: 10.02.2019).

Noise reduction method in speech signals using neural network

S. G. Lyalin

post-graduate student of the Department of electronic computing machines,
lecturer of the Department of control automation systems, Vyatka State University.
Russia, Kirov. E-mail: lyalinstas@gmail.com

Abstract. The task of speaker identification by voice has a wide scope of application. In particular, it can be used to provide a secure login to the website. In this case, the identifying party cannot control the recording equipment and the noise environment of the user, so the voice signals may be noisy and not suitable for making a reliable decision. There is a need to pre-filter the input data from interference. Subjected to the filtering of digital data need to maintain maximum meaningful information used to evaluate voice characteristics. One of the options for creating digital filters today is the use of artificial neural networks.

This article describes a method of filtering voice recordings from noise using an artificial neural network. The developed method is tested on the basis of voice recordings recorded in various real conditions, and has shown its effectiveness. It can be used in any field where noise filtering in speech signals is required.

Keywords: speech signal, noise suppression, artificial neural network, machine learning, prediction problem.

References

1. *Chastota golosa* – The frequency of the voice. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Частота_голоса (date accessed: 10.02.2019).
2. *Eto nuzhno znat': Klyuchevye rekomendacii po glubokomu obucheniyu (Chast' 2)* – This should be known: Key recommendations for deep learning (Part 2). Available at: <http://datareview.info/article/eto-nuzhno-znat-klyuchevye-rekomendatsii-po-glubokomu-obucheniyu-chast-2> (date accessed: 10.02.2019).

Уравнение баланса энергии в численных моделях с учетом вихревых токов в сердечниках магнитопровода

С. Н. Запольских

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: zapose@mail.ru

Аннотация. С целью повышения точности расчета с помощью численных моделей рассматривается уравнение баланса энергетических характеристик для электромеханических систем, в котором учитываются магнитные потоки, создаваемые вихревыми токами в листах электротехнической стали. Из этого уравнения получаются все энергетические характеристики в виде дифференциальных уравнений, включая магнитные потери в сердечниках магнитопровода. Полученные таким образом дифференциальные уравнения могут быть включены в общую систему дифференциальных уравнений численных моделей. К таким электромагнитным системам, для которых можно использовать полученные результаты, относятся электромеханические преобразователи энергии, в них осуществляется накопление магнитной энергии, а энергопреобразование происходит при постоянном потокоцеплении. Сюда также можно отнести импульсные трансформаторы, в которых вначале происходит накопление магнитной энергии от источника электрического тока, а затем отдача накопленной магнитной энергии в виде мощного импульса тока при подключении нагрузки. Для этих целей не подходят методы, используемые в системах переменного тока. Для учета влияния вихревых токов необходимо использовать именно дифференциальные уравнения, которые и позволяют учесть влияние магнитного потока вихревых токов на основной магнитный поток и получить таким образом более точные результаты. Уравнение для потерь энергии представлено не в интегральном, а в дифференциальном виде, что позволит включить это уравнение в общую систему дифференциальных уравнений численных моделей, исключить, таким образом, интерполяцию дискретных данных, получаемых при численном решении дифференциальных уравнений, и ускорить работу используемых для этих целей компьютерных математических систем.

Ключевые слова: электромеханические системы, дифференциальные уравнения, численное моделирование, накопители магнитной энергии, системы с постоянным потокоцеплением.

Введение. С развитием компьютерных средств и появлением математических пакетов программ, которые могут решать дифференциальные уравнения, появилась возможность разрабатывать численные модели, с помощью которых можно получать гораздо больше информации об исследуемом и разрабатываемом объекте, чем с помощью теоретических и экспериментальных исследований. Наиболее точно и полно физические законы отображаются именно дифференциальными и интегральными уравнениями, в частности это относится к механике и электромагнетизму, и все это можно использовать для технических целей. Разработка численных моделей является многоэтапным процессом, и разработку численной модели лучше всего начинать с простой абстрагированной модели, уравнения которой могут решаться аналитическими методами, не прибегая к программным средствам. По мере накопления данных численная модель уточняется, приближаясь к реальной системе. Результаты, которые дают численные модели, уже получены и представлены, например, в работе [1]. С помощью численных моделей получено значительное увеличение энергетических характеристик электромеханических систем с постоянным потокоцеплением, которое подтверждают экспериментальные данные, например, полученные в работе [2]. На данном этапе продолжается исследование, связанное с уточнением численных моделей.

Цель исследования. Целью работы является уточнение численных моделей электромеханических систем с постоянным потокоцеплением путем учета влияния магнитного поля вихревых токов в листах электротехнической стали на основной магнитный поток. Другой целью является представление в качестве примера, как можно дополнять новой информацией и совершенствовать такие численные модели.

Задачи исследования. Задачами работы является получение уравнений, способных учесть влияние магнитных потоков, создаваемых вихревыми токами и пригодных для использования в численных моделях.

Уравнение баланса энергий. Правильность учета энергетических характеристик в численных моделях электромеханических систем может быть проверена с помощью уравнения баланса энергетических характеристик. Например, в электрических двигателях с постоянным потокоцеплением работа, совершаемая источником питания, должна равняться энергии потерь в проводах, магнитным потерям, накопленной магнитной энергии как в рабочих зазорах, так и в сердечниках магнитопровода, магнитных потоках рассеяния и работе электромагнитной силы. Уравнение баланса энергий получается из основных уравнений электромагнетизма, которые обычно используются при расчете характеристик и параметров электромеханических устройств. Из уравнения баланса энергий также получаются все выражения для энергетических характеристик в виде функциональных зависимостей, позволяющие рассчитать энергетические характеристики в любой момент и в любом положении вторичной части электромеханического преобразователя. Уравнение баланса энергий использовалось в работе [1] при расчете характеристик импульсных электрических двигателей, в которых осуществляется предварительное накопление магнитной энергии, а энергопреобразование осуществляется при постоянном потокоцеплении. В этой работе не учитывалось влияние магнитных потоков, создаваемых вихревыми токами в листах электротехнической стали, на основной магнитный поток, создаваемый обмоткой, и поэтому энергия магнитных потерь не входила в уравнение баланса энергии. Она рассчитывалась отдельно и затем учитывалась в окончательных результатах. В этой работе с целью повышения точности расчета характеристик импульсных электромеханических систем влияние магнитных потоков, создаваемых вихревыми токами на основной магнитный поток, учитывается. Основные уравнения электромагнетизма, представленные в виде уравнений электрических цепей и магнитной цепи, запишутся:

$$U - Ri = w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

$$-r_F i_F = \frac{1}{n_F} \cdot \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2)$$

$$(R_{M\delta} + R_{MM})\Phi = R_M \Phi = w i + i_F \quad (3)$$

где Φ – магнитный поток, проходящий через пакет электротехнической стали; i – электрический ток в обмотке; w – число витков обмотки; i_F – электрический ток в листе электротехнической стали; n_F – число листов электротехнической стали в пакете; $R_{M\delta}$ и R_{MM} – магнитные сопротивления рабочего зазора и магнитного материала для пакета электротехнической стали; R_M – полное магнитное сопротивление магнитной цепи.

Чтобы получить уравнение баланса энергий уравнение (1) нужно умножить на idt , а уравнение (2) – на $i_F dt$. Затем левые и правые части полученных выражений сложить:

$$U i dt - R i^2 dt - n_F r_F i_F^2 dt = (w i + i_F) d\Phi. \quad (4)$$

В левой части уравнения (4) стоят дифференциал работы источника питания, дифференциал потерь в проводниках обмотки и в стальных сердечниках магнитопровода.

Энергетические характеристики. Проинтегрировав значение этих переменных до момента времени t , получим в виде:

$$W_E = \int_0^t U i dt, \quad (5)$$

$$W_{Dg} = R \int_0^t i^2 dt, \quad (6)$$

$$W_F = n_F r_F \int_0^t i_F^2 dt. \quad (7)$$

Целесообразнее представить эти выражения в дифференциальной форме и полученные выражения включить в общую систему дифференциальных уравнений численных моделей:

$$\frac{dW_E}{dt} = U i, \quad (8)$$

$$\frac{dW_{Dg}}{dt} = R i^2, \quad (9)$$

$$\frac{dW_F}{dt} = n_F r_F i_F^2. \quad (10)$$

Вывод формул для магнитных потерь в сердечниках и работы электромагнитной силы. В правую часть выражения (7) входит дифференциал, включающий магнитную энергию и работу электромагнитной силы.

$$(wi + i_F)d\Phi = id\Psi_M + i_F d\Psi_F = dW_M + dA_M + dW_F + dA_F,$$

где $\Psi_M = w\Phi$ и $\Psi_F = \Phi$ – потокосцепление обмотки с числом витков w с полным магнитным потоком Φ и потокосцепление вихревого тока i_F , который представляется протекающим по одному эквивалентному витку с магнитным потоком Φ ; W_M и W_F – магнитная энергия магнитного поля, создаваемая электрическим током обмотки и вихревым током; A_M и A_F работа электромагнитной силы, связанная с электрическим током обмотки и вихревым током.

Дифференциалы магнитной энергии и работы электромагнитной силы вычисляются по известным формулам:

$$\begin{aligned} dW_M &= \frac{1}{2} id\Psi + \frac{1}{2} \Psi di = \frac{1}{2} wid\Phi + \frac{1}{2} w\Phi di, \\ dW_F &= \frac{1}{2} i_F d\Psi_F + \frac{1}{2} \Psi_F di_F = \frac{1}{2} i_F d\Phi + \frac{1}{2} \Phi di_F, \\ dA_M &= \frac{1}{2} id\Psi - \frac{1}{2} \Psi di = \frac{1}{2} wid\Phi - \frac{1}{2} w\Phi di, \\ dA_F &= \frac{1}{2} i_F d\Psi_F - \frac{1}{2} \Psi_F di_F = \frac{1}{2} i_F d\Phi - \frac{1}{2} \Phi di_F. \end{aligned}$$

Из этих уравнений с учетом (3) следует, что дифференциалы полной магнитной энергии и полной работы электромагнитной силы равны:

$$\begin{aligned} dW_{\Sigma M} &= dW_M + dW_F = \frac{1}{2} (wi + i_F) d\Phi + \frac{1}{2} \Phi d(wi + i_F) = \frac{1}{2} R_M \Phi d\Phi + \frac{1}{2} \Phi d(R_M \Phi) = \\ &= R_M \Phi d\Phi + \frac{1}{2} \Phi^2 dR_M. \end{aligned} \quad (11)$$

$$dA_{\Sigma} = dA_M + dA_F = \frac{1}{2} (wi + i_F) d\Phi - \frac{1}{2} \Phi d(wi + i_F) = \frac{1}{2} R_M \Phi d\Phi - \frac{1}{2} \Phi d(R_M \Phi) = -\frac{1}{2} \Phi^2 dR_M. \quad (12)$$

Для работы электромагнитной силы была получена аналогичная формула [1], в которой получается то же магнитное сопротивление, но магнитный поток теперь уже состоит из двух магнитных потоков, магнитного потока, создаваемого током обмотки, и магнитного потока, создаваемого вихревыми токами сердечников, и эти два магнитных потока направлены противоположно.

Дифференциальные уравнения для магнитной энергии и работы электромагнитной силы, таким образом, запишутся:

$$\frac{dW_{\Sigma M}}{dt} = R_M \Phi \frac{d\Phi}{dt} + \frac{1}{2} \Phi^2 \frac{dR_M}{dt}, \quad (13)$$

$$\frac{dA_{\Sigma}}{dt} = -\Phi^2 \frac{dR_M}{dt}. \quad (14)$$

Уравнения (1), (2) и (3) применяются непосредственно к расчету электромеханических систем, работающих в режиме электрического двигателя с постоянным потокосцеплением, исследованием которых у нас в настоящее время и занимаются. Для электромеханических систем, работающих в режиме электрического генератора, эти уравнения тоже могут быть использованы с небольшой доработкой. Электрический генератор с постоянным потокосцеплением отличается от подобного электрического двигателя тем, что в нейтральном положении вторичной части, когда магнитное сопротивление рабочего зазора минимальное, в обмотку поддается импульс тока возбуждения, а затем при перемещении вторичной части работа внешних сил преобразуется в магнитную энергию. В конце такта, когда магнитное сопротивление рабочего зазора становится максимальным, накопленная магнитная энергия при подключении нагрузки преобразуется в электриче-

скую энергию, например в тепло на активном сопротивлении. Поэтому в уравнение (1) импульс напряжения силового источника питания надо заменить импульсом напряжения возбуждения малой энергии. Так как работа совершается внешними силами, которые направлены противоположно электромагнитной силе, то работы, совершаемые внешними силами и электромагнитной силой, надо брать с противоположным знаком. Кроме того, систему уравнений (1) и (2) при вычислении энергии, отдаваемой нагрузке, надо дополнить аналогичной системой с параметрами нагрузки, например активным сопротивлением нагрузки. При необходимости все это может быть проанализировано и более подробно изложено в отдельной публикации.

Результаты исследования, их обсуждение. Получены дифференциальные уравнения для магнитной энергии и работы электромагнитной силы, учитывающие влияние магнитных потоков, создаваемых вихревыми токами, и пригодные для использования в численных моделях.

Выводы. Учет магнитных потоков, создаваемых вихревыми токами, позволит повысить точность результатов, даваемых численными моделями. Полученные результаты можно использовать для электромеханических преобразователей энергии, в которых осуществляется накопление магнитной энергии, а энергопреобразование происходит при постоянном потокосцеплении. Сюда также можно отнести импульсные трансформаторы, в которых вначале происходит накопление магнитной энергии от источника электрического тока, а затем отдача накопленной магнитной энергии в виде мощного импульса тока при подключении нагрузки. Эти уравнения могут быть включены в общую систему основных дифференциальных уравнений численных моделей, а само уравнение баланса энергий использовано для проверки правильности учета энергетических характеристик.

Список литературы

1. Запольских С. Н. Импульсные системы с индуктивными накопителями энергии / С. Н. Запольских. Киров : ПРИП ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2012. 121 с.
2. Ряшенцев Н. П., Угаров Г. Г., Львицин А. В. Электромагнитные прессы. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1989. 216 с.

Energy balance equation in numerical models taking into account eddy currents in magnetic cores

S. N. Zapolsky

PhD of technical sciences, associate professor of the Department of engineering physics, Vyatka State University.
Russia, Kirov. E-mail: zapose@mail.ru

Abstract. In order to improve the accuracy of the calculation with the help of numerical models, the equation of the balance of energy characteristics for electromechanical systems is considered, which takes into account the magnetic fluxes generated by eddy currents in the sheets of electrical steel. From this equation all energy characteristics are obtained in the form of differential equations, including magnetic losses in the cores of the magnetic circuit. Thus obtained differential equations can be included in the general system of differential equations of numerical models. Such electromagnetic systems for which it is possible to use the obtained results are electromechanical energy converters in them is the accumulation of magnetic energy, and energy formation is carried out at constant flux linkage. This also includes pulse transformers, in which the first accumulation of magnetic energy from the source of electric current occurs, and then the return of the accumulated magnetic energy in the form of a powerful current pulse when the load is connected. For these purposes, the methods used in AC systems are not suitable. To take into account the influence of eddy currents, it is necessary to use differential equations, which allow to take into account the influence of the magnetic flux of eddy currents on the main magnetic flux and thus obtain more accurate results. The equation for energy losses is presented not in integral, but in differential form, which will allow to include this equation in the general system of differential equations of numerical models, to exclude, thus, interpolation of discrete data obtained by numerical solution of differential equations, and to accelerate the work of computer mathematical systems used for this purpose.

Keywords: electromechanical systems, differential equations, numerical modeling, magnetic energy storage, systems with constant flow coupling.

References

1. Zapol'skih S. N. *Impul'snye sistemy s induktivnymi nakopitelyami energii* [Pulse systems with inductive energy storage] / S. N. Zapolsky. Kirov. VyatSU. 2012. 121 p.
2. Ryashencev N. P., Ugarov G. G., L'vicin A. V. *Elektromagnitnye pressy* [Electromagnetic presses]. Novosibirsk. Nauka. Sib. department. 1989. 216 p.

Исследование температурного поля коллектора электрической машины

Н. М. Малышева¹, Н. В. Тимина²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и аппаратов,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: nm_malysheva@vyatsu.ru
²доцент кафедры электрических машин и аппаратов, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: timina@vyatsu.ru

Аннотация. Коллектор и щетки выполняют важные функции в электрической машине, обеспечивают ее работоспособность, определяют ее надежность. Цель исследования – получить картину температурного поля коллектора в стационарном и нестационарном режиме, провести расчетно-теоретический анализ влияния различных факторов на нагрев коллектора. Поставлена задача расчета температурного поля, предложена расчетная область определения температуры коллектора и щеток. Расчет выполнен численным методом конечных элементов. Представлены результаты исследования температурного поля коллектора, проведено исследование влияния щеток на нагрев коллектора в нестационарном режиме, а также потерь в щетках и их охлаждения на тепловой режим коллектора. Результаты можно использовать для расчета коллекторов машин как постоянного, так и переменного тока. Результаты работы можно использовать при исследовании узлов токосъема турбогенераторов, гидрогенераторов и других электрических машин, имеющих скользящие контакты.

Ключевые слова: нагрев, охлаждение, щетка, электрическая машина.

Введение. Коллектор и щетки выполняют следующие основные функции в электрических машинах: обеспечивают передачу электрической энергии со щеток на коллектор и наоборот; участвуют в коммутационном процессе секций и обеспечивают выполнение двух предыдущих функций во время коммутации.

Надежность таких машин во многом определяется надежностью работы щеточно-коллекторного узла. При высоких значениях потерь в скользящем контакте при повышенной плотности тока под щетками и окружной скорости увеличивается нагрев элементов коллектора, контактных колец и щеток. При повышенном нагреве изменяются физико-механические свойства щеток, происходит их температурное расширение, ускоренный износ, повреждение изоляции, нарушение цилиндрической формы и монолитности коллектора, возникают температурные напряжения в элементах контактного устройства и нарушения коммутации.

Метод расчета температуры коллектора представлен в [3, с. 111], расчет температурного поля в стационарном режиме – [1, с. 5–16], в работах не учитывают влияние щеток на нагрев коллектора.

Цель исследования – получить картину температурного поля коллектора в стационарном и нестационарном режиме, провести расчетно-теоретический анализ влияния различных факторов на нагрев коллектора.

На рис. 1 показаны тепловые потоки, от которых зависит нагрев коллектора и щеток.

При расчете температурного поля коллектора следует учесть, что при работе машины в момент времени τ только часть коллекторных пластин находится в контакте со щетками. Время контакта щетки с коллекторной пластиной ограничено периодом коммутации, то есть только в этот период между ними происходит теплообмен. Расчетная область в период коммутации имеет вид, представленный на рис. 2, а в межкоммутационный период – на рис. 3. При этом изменяются дифференциальные уравнения теплопроводности и граничные условия, которые описывают процесс нагревания.

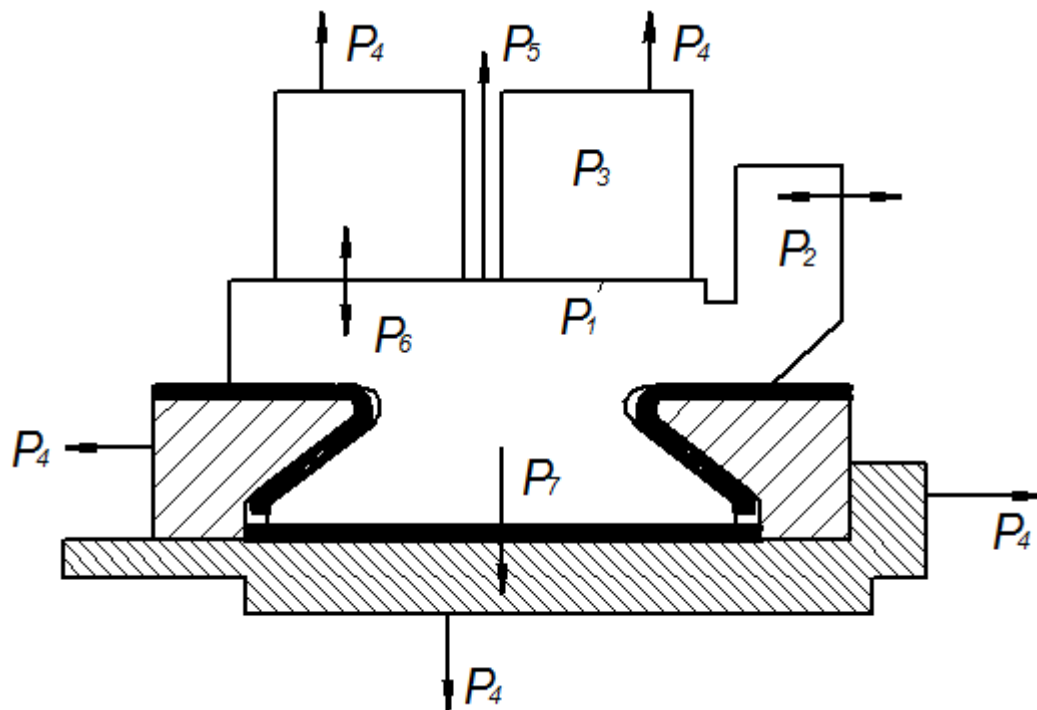


Рис. 1. Тепловые потоки щеточно-коллекторного узла:

P_1 – потери в скользящем контакте; P_2 – тепловой поток между обмоткой якоря и коллектором;
 P_3 – потери в щетках от прохождения электрического тока; P_4 – конвективный тепловой поток;
 P_5 – тепловой поток, обусловленный излучением; P_6 – тепловой поток, обусловленный теплообменом со щетками; P_7 – тепловой поток в элементы крепления

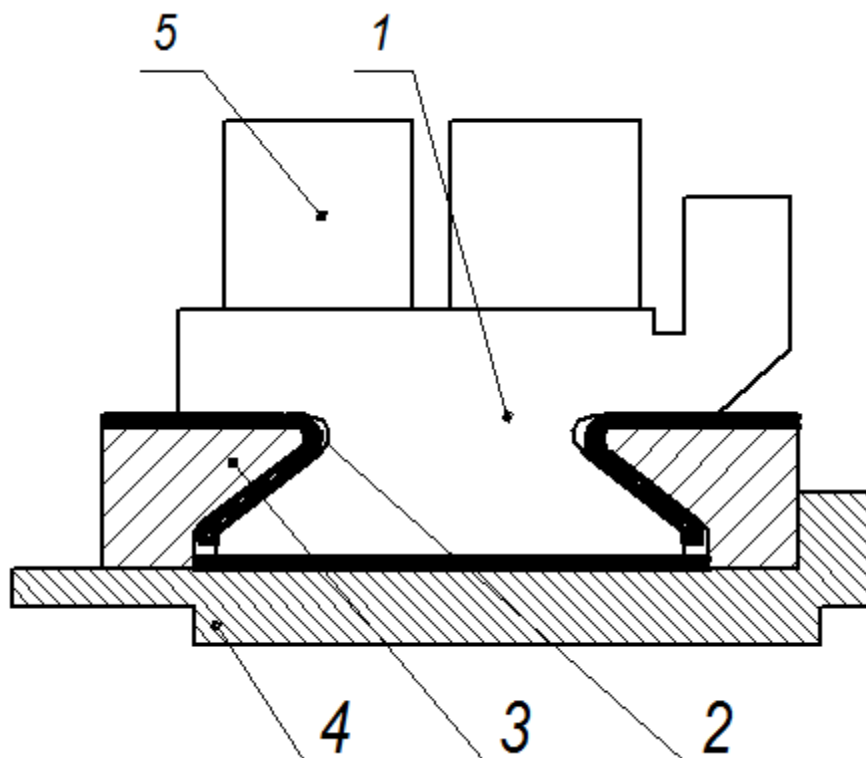


Рис. 2. Расчетная область в коммутационный период: 1 – коллекторная пластина; 2 – корпусная изоляция; 3 – нажимной конус; 4 – втулка; 5 – щетка

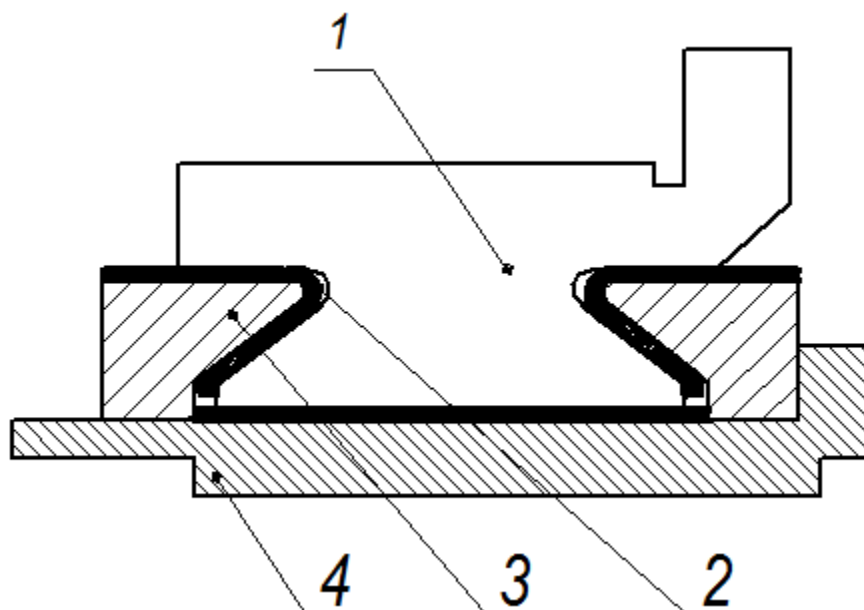


Рис. 3. Расчетная область в межкоммутационный период: 1 – коллекторная пластина; 2 – корпусная изоляция; 3 – нажимной конус; 4 – втулка

Для расчета температурного поля была разработана расчетная область с эквивалентной щеткой, которая находится в непрерывном контакте с коллекторной пластиной, с эквивалентными граничными условиями и эквивалентными потерями. При расчете эквивалентной щетки отражено ее участие в теплообмене с коллекторными пластинами, которое характеризуется ее теплоемкостью, теплопроводностью, потерями и условиями теплообмена с окружающей средой. Размеры эквивалентной щетки рассчитывались по следующим формулам.

Высота щетки рассчитывалась из условия постоянства объема реальной и эквивалентной щетки.

$$hэ = R_{нар} - D_k / 2,$$

$$\text{где } R_{фод} = \sqrt{\frac{2pbh}{2} + \left(\frac{D_k}{2}\right)^2},$$

$R_{нар}$ – наружный диаметр расчетной области; D_k – диаметр коллектора; $2p$ – число полюсов, равное количеству щеточных брикетов; b – тангенциальный размер щетки; h – радиальный размер щетки.

В связи с изменением размеров щетки необходимо изменить коэффициент теплообмена верхней поверхности щетки

$$\alpha_{энар} = \frac{\alpha_{щ}pb}{\pi R_{нар}},$$

где $\alpha_{щ}$ – реальный коэффициент теплообмена щетки.

Коэффициент теплообмена боковых поверхностей щетки

$$\alpha_{эбок} = \alpha_{щ} + \alpha_{щ} \cdot K_1,$$

где K_1 – коэффициент для учета теплообмена передней и задней лицевых граней щетки; a – аксиальный размер щетки.

Потери в щетке от прохождения тока определялись по формуле:

$$q_5 = j^2 \gamma,$$

где γ – удельное электрическое сопротивление; j – плотность тока в щетке.

Удельные поверхностные потери в области контакта щетки с коллектором рассчитывались по формуле:

$$P_k' = P_k / (\pi D_k n_{щ} a),$$

где P_k – потери на коллекторе; $n_{щ}$ – количество щеток на брикете.

Расчетная область представлена на рис. 4.

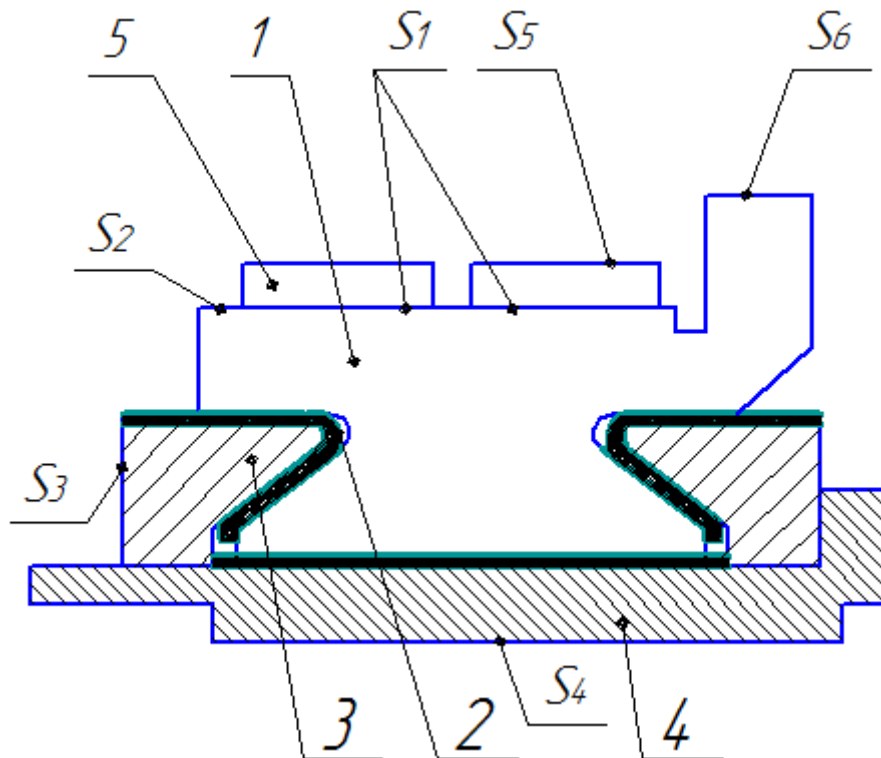


Рис. 4. Расчетная область в коммутационный период: 1 – коллекторная пластина; 2 – корпусная изоляция; 3 – нажимной конус; 4 – втулка; 5 – эквивалентная щетка

Расчет температурного поля сводится к решению системы дифференциальных уравнений относительно превышения температуры T :

$$\begin{cases} c_i \cdot \rho_i \frac{\partial T_i}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial z} \right), i = 1, \dots, 4 \\ c_5 \cdot \rho_5 \frac{\partial T_5}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial z} \right) + q_5 \end{cases},$$

где c – удельная теплоемкость материалов, ρ – плотность, λ – коэффициент теплопроводности, q_5 – потери в щетке.

Граничные условия

$$\begin{aligned} \text{на } S_1 \quad \lambda_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial n} \right)_{S_1} &= -\alpha'_1 \cdot T_{s_1} + p'_k; \quad \text{на } S_2 \quad \lambda_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial n} \right)_{S_2} = -\alpha_1 \cdot T_{s_1}; \\ \text{на } S_3, S_4 \quad \lambda_i \left(\frac{\partial T_i}{\partial n} \right)_{S_i} &= -\alpha_i \cdot T_{s_i}, i=3,4; \quad \text{на } S_5 \quad \lambda_5 \left(\frac{\partial T_5}{\partial n} \right)_{S_5} = -\alpha'_5 \cdot T_{s_5}; \\ \text{на } S_6 \quad \lambda_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial n} \right)_{S_6} &= p_{\hat{e}\hat{i}\hat{y}}. \end{aligned}$$

Начальное условие $T_i(r, z, 0) = T_0$.

Поставленная задача решена методом конечных элементов.

Для оценки математической модели температурного поля коллектора проведено сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными [2, с. 504].

Результаты исследований. Результаты исследования температурного поля коллектора представлены на рис. 5 и 6.

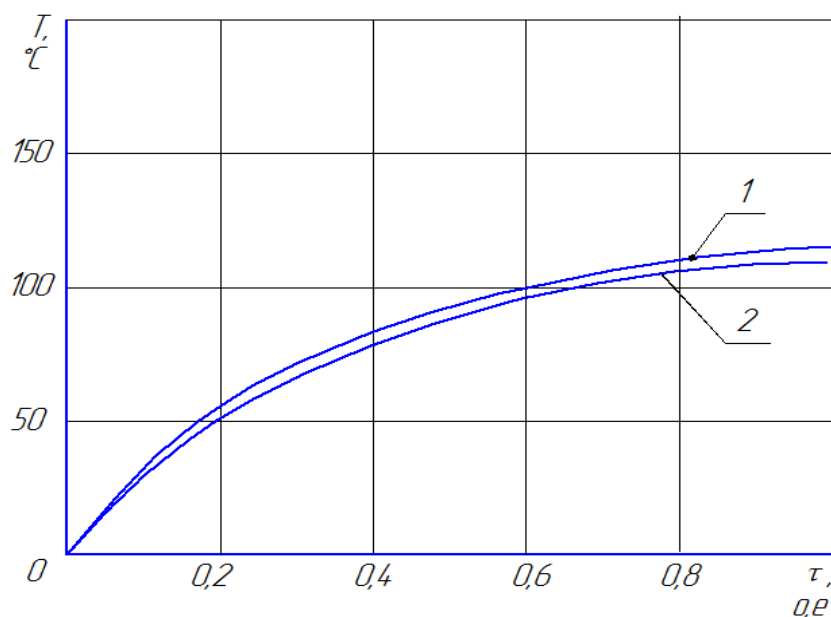


Рис. 5. Нагрев коллектора во времени: 1 – с учетом щетки; 2 – без учета щетки

Результаты расчетов и анализ стационарного температурного поля с учетом влияния щеток на нагрев коллектора представлены в [2, с. 506]. Влияние щетки в нестационарном режиме показано на рис. 5, откуда видно, что щетка ускоряет рост температуры во времени. Влияние щетки на температурное поле коллектора зависит от потерь в ней и условий ее охлаждения. Результаты численных экспериментов представлены на рис. 8. По графикам видно, что при каждом значении потерь в теле щетки есть определенное значение коэффициента теплообмена щетки, при котором тепло, выделившееся в скользящем контакте, отходит в щетку и рассеивается ею в окружающую среду. По данному рисунку можно определить значение установившейся температуры коллектора при различных соотношениях потерь и условий охлаждения щетки.

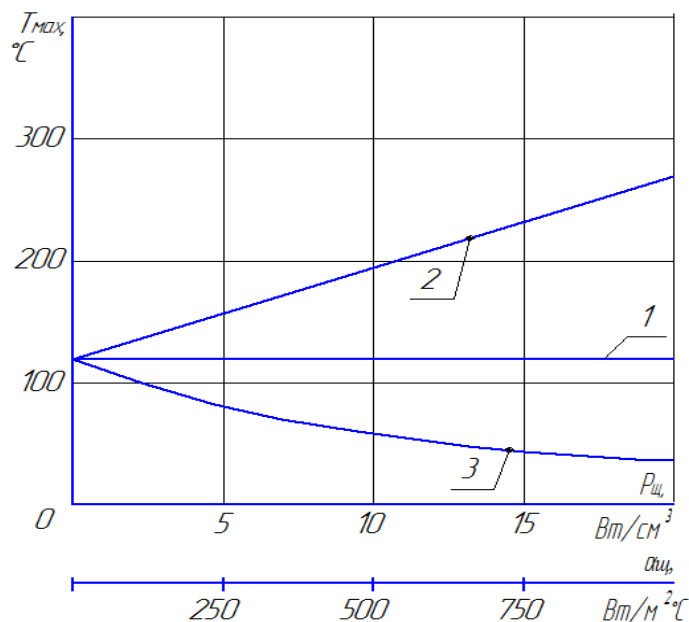


Рис. 6. Влияние потерь в щетке и ее теплоотдачи на нагрев коллектора:

- 1 – максимальная температура коллектора без учета влияния щеток;
2 – расчет при $\alpha_{\text{щ}}=0$, $p_{\text{щ}}=\text{var}$; 3 – расчет при $p_{\text{щ}}=0$, $\alpha_{\text{щ}}=\text{var}$

Выводы. Предложена расчетная область определения температуры коллектора и щеток; проведенные исследования показали существенное влияние щеток на нагрев коллектора, особенно при большой плотности тока, когда потери в щетках возрастают. Результаты можно использовать для расчета коллекторов машин постоянного и переменного тока, а также других электрических машин, имеющих скользящие контакты.

Список литературы

1. Дуюн Т. А. Математическое моделирование теплового и напряженно-деформированного состояния коллектора машины постоянного тока : автореф. дис. ... канд. наук. Белгород : БГТУ, 2000. 16 с.
2. Малышева Н. М., Тимина Н. В. Исследование температурного поля коллектора машины постоянного тока // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : сб. ст. Т. 2. Технические и физико-математические науки. Киров : Изд-во ВятГУ, 2018. С. 550–557.
3. Проектирование электрических машин / под ред. И. П. Копылова. М. : Юрайт, 2015. 766 с.

Investigation of temperature field of a collector of electric machine

N. M. Malysheva¹, N. V. Timina²

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of electrical machines and apparatus, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: nm_malysheva@vyatsu.ru

²associate professor of the Department of electrical machines and apparatus, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: timina@vyatsu.ru

Abstract. Collector and brushes perform important functions in an electric machine, ensure its performance, determine its reliability. The purpose of the study is to obtain a picture of the temperature field of the collector in stationary and non-stationary mode, to conduct a theoretical analysis of the influence of various factors on the heating of the collector. The task of calculating the temperature field is set, the calculated area of determining the temperature of the collector and brushes is proposed. The calculation is performed by the numerical finite element method. The results of the study of the temperature field of the collector, the study of the effect of brushes on the heating of the collector in a non-stationary mode, as well as losses in the brushes and their cooling on the heat regime of the collector are represented. The results can be used to calculate the collectors of both direct and alternating current machines. The results of the work can be used in the study of current collector units of turbo generators, hydro generators and other electric machines with sliding contacts.

Keywords: heating, cooling, brush, electric machine.

References

1. Duyun T. A. *Matematicheskoe modelirovanie teplovogo i napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kollektora mashiny postoyannogo toka : avtoref. dis. ... kand. nauk* [Mathematical modeling of thermal and stress-strain state of the collector of a DC machine: abstr. dis. ... PhD]. Belgorod. BSTU. 2000. 16 p.
2. Malysheva N. M., Timina N. V. *Issledovanie temperaturnogo polya kollektora mashiny postoyannogo toka* [Study of the temperature field of the collector of the DC machine] // Society. Science. Innovation (NPK (Scientific and practical conference)-2018): collection of articles. Vol. 2. Technical and physics and mathematical sciences. Kirov. Publ. house of VyatSU. 2018. Pp. 550–557.
3. *Proektirovanie elektricheskikh mashin* – The design of electrical machines / edited by I. P. Kopylov. M. Yurayt. 2015. 766 p.

Стенд для испытания редукторов

М. В. Симонов¹, М. С. Ситников²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: simaksim@mail.ru

²магистрант кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: sitnikovmichael91@gmail.com

Аннотация. Электромагнитные приводы, редукторы и двигатели широко используются в различных промышленных отраслях, таких как станочное оборудование, тяжелое и легкое машиностроение, автомобильная техника, авиационная техника и так далее. Для вновь разрабатываемых изделий на стадии внедрения в производство необходимо проводить испытания изделий на специальном оборудовании.

В статье представлена схема стенда для испытания редукторов новой конструкции. Конструкция стенда позволяет создавать и контролировать необходимый тормозной момент на валу испытываемого редуктора, обеспечивать повторно-кратковременный режим работы, изменять направление вращения испытываемого редуктора.

Стенд новой конструкции включает в себя следующие составные элементы: электродвигатель, муфту сцепления-торможения, реверсивную коробку передач, датчик измерения крутящего момента, порошковую тормозную муфту.

Применение стенда разработанной конструкции позволит проводить испытания редукторов на предмет их соответствия установленным техническим требованиям.

Ключевые слова: испытания, испытательный стенд, редуктор, муфта, нагрузка.

Введение. Электромагнитные приводы, редукторы и двигатели широко используются в различных промышленных отраслях, таких как станочное оборудование, тяжелое и легкое машиностроение, автомобильная техника, авиационная техника и так далее. Для вновь разрабатываемых изделий на стадии внедрения в производство необходимо проводить испытания изделий на специальном оборудовании. На АО «ЛЕПСЕ» разработана новая конструкция редукторов, которые отличаются своей высокой надежностью и прочностью.

Цель исследования. В соответствии с техническим заданием разработать конструкцию стенда для испытания редукторов.

Задача исследования. Подобрать и обосновать применение в составе стенда конструктивных элементов, необходимых и достаточных для выполнения предъявляемых к стенду требований.

Результаты и обсуждение. С целью проверки соответствия новой конструкции редукторов предъявляемым к ним требованиям выдано техническое задание на разработку испытательного стенда (табл. 1).

Таблица 1

Основные технические требования к стенду для испытания редукторов

Требование	Значение
Противодействующий момент на выходном валу	98,0 Н·м ±10%
Направление вращения	реверсивное
Частота вращения входного вала	2950 ± 150 мин ⁻¹
Режим работы	повторно-кратковременный
Время вращения вправо	2 с
Время торможения	5 с
Время вращения влево	2 с

На основании технического задания предложена новая конструкция стенда для испытания редукторов (рис. 1).

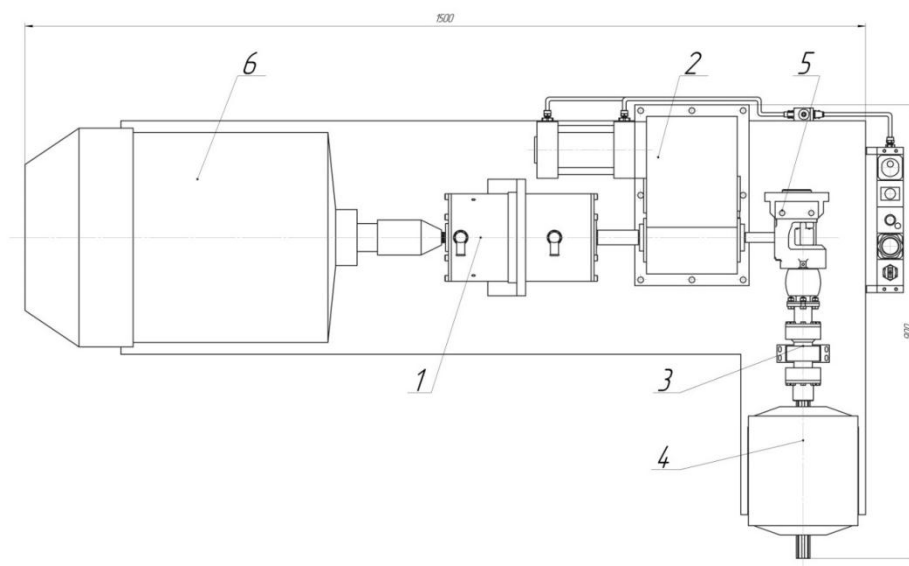


Рис. 1. Общий вид испытательного стенда: 1 – муфта сцепления-торможения; 2 – реверс-коробка передач; 3 – датчик крутящего момента М40; 4 – порошковая муфта ПТ16М1; 5 – испытуемый редуктор; 6 – электродвигатель АИР180М2

Для обеспечения работы стенда в повторно-кратковременном режиме в его конструкции предложено использовать электромагнитную муфту сцепления-торможения (рис. 2).

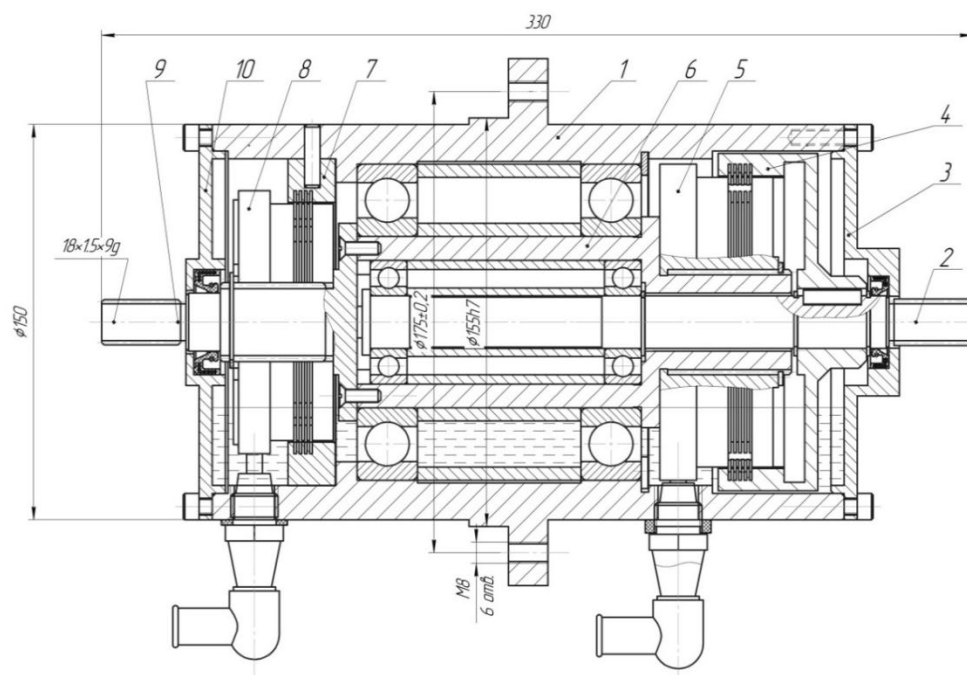


Рис. 2. Муфта сцепления-торможения: 1 – корпус; 2 – входной вал; 3 – крышка входного вала; 4 – стакан; 5 – муфта ЭТМ-092; 6 – шлицевый вал; 7 – тормозное кольцо; 8 – муфта ЭТМ-072; 9 – выходной вал; 10 – крышка выходного вала

Муфты электромагнитные серии ЭТМ с вынесенными дисками предназначены для автоматического и дистанционного управления приводами различных машин и механизмов. Такой тип муфт применяется при совершении разгона, торможения, позволяет реверсировать нагрузки, регулировать частоту вращения [6].

Муфта служит для передачи крутящего момента от электродвигателя к реверсивной коробке передач. Муфта сцепления-торможения подключается через шлицевый вал к электродвигателю, на валу которого закреплен стакан муфты ЭТМ-092. Стакан муфты вращается вместе с валом электродвигателя.

Муфта работает следующим образом. При подаче электропитания включается муфта сцепления, крутящий момент передается на внешний стакан и далее на выходной вал. Для принудительного торможения отключается электропитание муфты сцепления и подается питание на муфту торможения ЭТМ-072, при срабатывании которой выходной вал тормозит с помощью штифтов в корпусе электромагнитной муфты сцепления-торможения [3, с. 5].

Для изменения направления вращения входного вала испытываемого редуктора крутящий момент передается на реверс-коробку передач с автоматическим пневмопереключением (рис. 3).

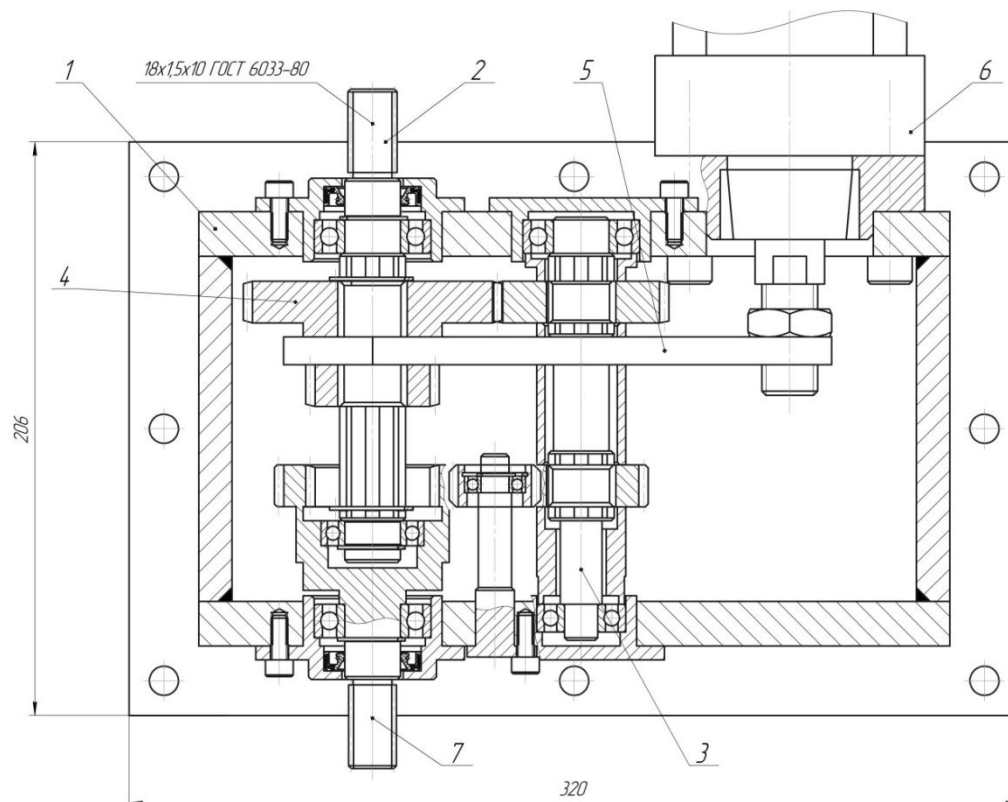


Рис. 3. Реверс-коробка передач: 1 – корпус; 2 – входной вал; 3 – вал; 4 – блок-шестерня; 5 – вилка; 6 – пневмоцилиндр; 7 – выходной вал

Для передачи крутящего момента в прямом направлении вращения шток пневмоцилиндра выдвигается, блок-шестерня передвигается с помощью вилки и входит в прямое зацепление с выходным валом [2, с. 25]. Для изменения направления вращения выходного вала коробки передач шток пневмоцилиндра задвигается, передача крутящего момента происходит через блок-шестерню на вал реверса и далее через малую шестерню на выходной вал. Все переключения необходимо осуществлять только при полной остановки реверс-коробки передач [1, с. 153].

К выходному валу реверс-коробки передач подключается испытуемый редуктор. Для контроля значения передаваемого на редуктор крутящего момента на выходной вал испытуемого редуктора устанавливается датчик крутящего момента М40 [5].

Датчики крутящего момента М40 измеряет крутящий момент от 0,1 Н·м до 300 кН·м и осуществляет работу при частотах вращения до 20 000 мин⁻¹.

Датчик состоит из статора и ротора, между ними нет щеточных контактов и подшипников. В роторе находится упругий тензoeлемент, мало чувствительный к воздействию изгибающего момента.

Статор имеет составную конструкцию, и это обеспечивает быструю и удобную установку датчика на испытательную станцию.

Для создания необходимой нагрузки (98,0 Н·м) к выходному валу испытываемого редуктора подключается порошковая тормозная муфта ПТ16М1.

Электромагнитные порошковые нагрузочные тормоза серии ПТ [7] являются комплектующими изделиями стендов, они обеспечивают постоянный или изменяемый нагрузочный момент на валу испытательного изделия.

Для того чтобы избежать неточности изготовления и монтажа соединительных валов, на испытательном стенде предусмотрена установка компенсирующих муфт на всех составных элементах. Конструкция этих муфт позволяет убрать дополнительную нагрузку на валах и подшипниках благодаря свободе перемещения в некоторых составных частях этих муфт.

Весь процесс испытания автоматизирован с помощью электромагнитной муфты сцепления-торможения и реверс-коробки передач с пневмопереключением. Испытательный стенд обеспечен датчиком крутящего момента М40 с возможностью визуального наблюдения и регистрации полученных данных на ПК в реальном времени.

Вывод. Таким образом, применение стенда разработанной конструкции позволит проводить испытания редукторов на предмет их соответствия установленным техническим требованиям. Кроме того, испытательный стенд разработанной конструкции возможно применять и для испытаний других узлов и агрегатов машин.

Список литературы

1. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Шнейдерович Р. М. Расчет на прочность деталей машин. М. : Машиностроение, 1966. 612 с.
2. Ильенко М. С., Гребенюк А. И., Никольский Д. Н. Расчет и проектирование зубчатых и червячных передач и редукторов. М. : Машгиз, 1953. 588 с.
3. Орлов П. И. Основы конструирования. В 3 т. Т. 2. М. : Машиностроение, 1977. 574 с.
4. Проектирование механических передач / С. А. Чернавский и др. М. : Машиностроение, 1976. 600 с.
5. Тензометрическая техника. Датчик крутящего момента М40. URL: http://www.donpribor.ru/sites/default/files/field/file/m40_2015.pdf (дата обращения: 12.01.2019).
6. Электромагнитные муфты серии ЭТМ. URL: <http://electra-hvac.ru/rashifrovka-etm.html> (дата обращения: 10.01.2019).
7. Электромагнитные порошковые нагрузочные тормоза серии ПТ. URL: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/0710230.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

Reducer test board

M.V. Simonov¹, M. S. Sitnikov²

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: simaksim@mail.ru

²master student of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: sitnikovmichael91@gmail.com

Abstract. Electromagnetic drives, reducers and motors are widely used in various industrial industries, such as machine tools, heavy and light machinery, automobile machinery, aviation machinery and so on. For newly developed products at the stage of introduction into production it is necessary to carry out tests of products on special equipment.

The article presents the scheme of the test board for reducers of new design. The design of the board allows you to create and control the necessary brake torque on the shaft of the tested reducer, to provide a re-short-term operation, to change the direction of rotation of the tested unit.

The board of the new design includes the following components: electric motor, clutch-braking coupler, reverse gearbox, torque measurement sensor, powder brake coupler.

The use of the board of the developed design will allow testing of reducers for their compliance with the established technical requirements.

Keywords: tests, test board, reducer, coupler, load.

References

1. Birger I. A., Shorr B. F., Shneiderovich R. M. *Raschet na prochnost' detalej mashin* [Strength calculation of machine parts]. M. Mashinostroenie (Machinery engineering). 1966. 612 p.
2. Il'enko M. S., Grebenyuk A. I., Nikol'skij D. N. *Raschet i projektirovanie zubchatykh i chervyachnykh peredach i reduktorov* [Calculation and design of gears and worm gears and reducers]. M. Mashgiz. 1953. 588 p.
3. Orlov P. I. *Osnovy konstruirovaniya* [Design basics]. In 3 vol. Vol. 2. M. Mashinostroenie (Machinery engineering). 1977. 574 p.
4. *Proektirovanie mekhanicheskikh peredach* – Designing mechanical gears / S. A. Chernavskiy, etc. M. Mashinostroenie (Machinery engineering). 1976. 600 p.
5. *Tenzometricheskaya tekhnika. Datchik krutyashchego momenta M40.* – Strain gauge technique. The torque sensor M40. Available at: http://www.donpribor.ru/sites/default/files/field/file/m40_2015.pdf (date accessed: 12.01.2019).
6. *Elektromagnitnye mufty serii ЭТМ* - Electromagnetic clutches of ЭТМ series. Available at: <http://electra-hvac.ru/rashifrovka-etm.html> (date accessed: 10.01.2019).
7. *Elektromagnitnye poroshkovye nagruzochnye tormoza serii ПТ* – Load electromagnetic powder brake series ПТ. Available at: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/0710230.pdf> (date accessed: 15.01.2019).

Исследование структуры и свойств марганцевомедного сплава, легированного цирконием

О. Б. Лисовская¹, И. Н. Теребихина²

¹кандидат технических наук, заведующая кафедрой материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: ob_lisovskaya@vyatsu.ru

²аспирант кафедры материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: Ira112012@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время происходит стремительное развитие техники, увеличение скоростей и мощности машин и оборудования. Это приводит к увеличению роста вредных шумов и вибраций, которые негативно сказываются на условиях труда. В этих условиях борьба с шумами и вибрациями является актуальной. Это может быть достигнуто посредством изоляции источника вибраций от основной конструкции, увеличением жесткости конструкции, применением различных устройств. Одним из высокоэффективных способов уменьшения вредных шумов и вибраций является использование демпфирующих материалов. К этой группе материалов относятся сплавы системы марганец-медь. В ряде случаев этот способ является единственным возможным способом уменьшения шумов. Поэтому разработка и исследование новых материалов, дающих новые возможности их применения, является актуальным. Цель статьи – изучение свойств сплава, легированного цирконием, никелем, железом, алюминием. В процессе исследования применялись метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии, метод испытаний материала на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы. Исследована структура сплава до и после термообработки, определен химический состав, измерены твердость и микротвердость, определен коэффициент износостойкости. Результаты могут быть применены для определения направления дальнейших разработок в области конструкционных материалов.

Ключевые слова: сплавы медь-марганец, структура и свойства марганцевомедных сплавов, легирование цирконием, алюминием, никелем, железом, испытания на износостойкость.

Введение. В настоящее время сплавы системы марганец-медь являются востребованными при изготовлении конструкций, работающих в условиях циклического нагружения.

Сплавы системы марганец-медь занимают особое место среди других сплавов из-за уникального сочетания свойств. Марганцевомедные сплавы обладают весьма ценным, не встречающимся среди сплавов других систем комплексом физико-механических свойств, определяющих их значительную техническую важность для ряда отраслей промышленности. Они характеризуются высокой демпфирующей способностью при малых и при значительных амплитудах деформаций ($\psi = 7 - 10\%$ при $\gamma = 1 \cdot (10^{-6} - 10^{-7})$; $\psi = 30 - 40\%$ при $\gamma = 1 \cdot 10^{-3}$), а также достаточной прочностью ($\sigma_b = 350 - 500$ МПа) при хорошей пластичности ($\delta = 20 - 30\%$), большим электрическим сопротивлением, малым, а для некоторых сплавов даже отрицательным температурным коэффициентом электросопротивления, низкой теплопроводностью и немагнитностью [6, с. 37].

Характеристики марганцевомедных сплавов зависят от структуры, химического состава сплава и технологии получения, а также от термической обработки.

Для слитков марганца характерна ярко выраженная дендритная структура, которая является более грубой в отливках, полученных литьем в землю и по выплавляемым моделям, и более измельченной в кокильных отливках. [5, с. 21].

Легирующие элементы существенно влияют как на положение линий равновесия на диаграмме состояния марганец-медь, так и на кинетику фазовых превращений при термической обработке сплавов этой системы [6, с. 88].

Цирконий является редким металлом и впервые был выделен только в 1824 году. Затем, только в двадцатом столетии, удалось получить чистый цирконий, свободный от примесей. Цирконий часто используют в качестве легирующего элемента в черной и цветной металлургии, так как он обладает высокой коррозионной стойкостью. Сплавы циркония с медью отличаются повышенной прочностью и электропроводностью.

Марганцевомедные сплавы, легированные железом при содержании его до 2,5% Fe, показывают дендритную структуру и не обнаруживают новых структурных превращений [3, с. 523].

В четверных сплавах системы Mn-Cu-Ni-Al влияние никеля, замедляющего процессы распада, можно уравновесить алюминием при соотношении никеля к алюминию 2:1. Образование фазы

Ni-Al могло бы дополнительно упрочнить сплав. Легирование элементами, не образующими с основными компонентами сплавов марганец-медь твердых растворов и химических соединений хотя и не влияет на характер и кинетику структурных превращений в матрице, но может заметным образом изменить сам характер структуры сплавов [6, с. 91].

Целью исследования является изучение свойств сплава, легированного цирконием, никелем, железом, алюминием. Сопоставление результатов с литературными данными, изучение закономерностей изменения структуры и свойств в зависимости от состава и термообработки, позволит сделать выводы о создании новых сплавов для использования в зависимости от условий работы конструкции.

Задачи исследования. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определить химический состав сплава;
- изучить микроструктуру сплава;
- измерить твердость и микротвердость;
- определить относительную износостойкость.

Методы исследования. Объектом исследования являлись образцы марганцевомедного сплава, легированного цирконием никелем, железом, алюминием. Химический состав определялся с помощью рентгеновского флуоресцентного энергодисперсионного спектрометра EDX-900HS.

Изучение микроструктуры производили на микроскопе НЕОРНОТ-21. Образцы вырезали из заготовки диаметром 20 мм, высотой 12 мм. Далее изготавливались шлифы образцов с использованием механической шлифовки, а затем – полировки. Полировка стала конечной ступенью в процессе изготовления гладкой зеркальной поверхности. Получение такой поверхности является необходимым условием для проведения металлографического анализа.

Заключительной стадией изготовления шлифов являлось химическое травление. Оно производилось методом протирания образца реактивом до тех пор, пока не выявится структура. После окончания травления образец промывали под струей воды, затем в спирте и сушили с помощью фильтровальной бумаги [4, с. 152].

Для устранения дендритной неоднородности и улучшения свойств был применен высокотемпературный гомогенизационный отжиг.

Испытания на износостойкость были проведены в соответствии с ГОСТ 23.208-79 «Методика испытаний материала на износостойкость при трении о жестко закрепленные абразивные частицы» [2].

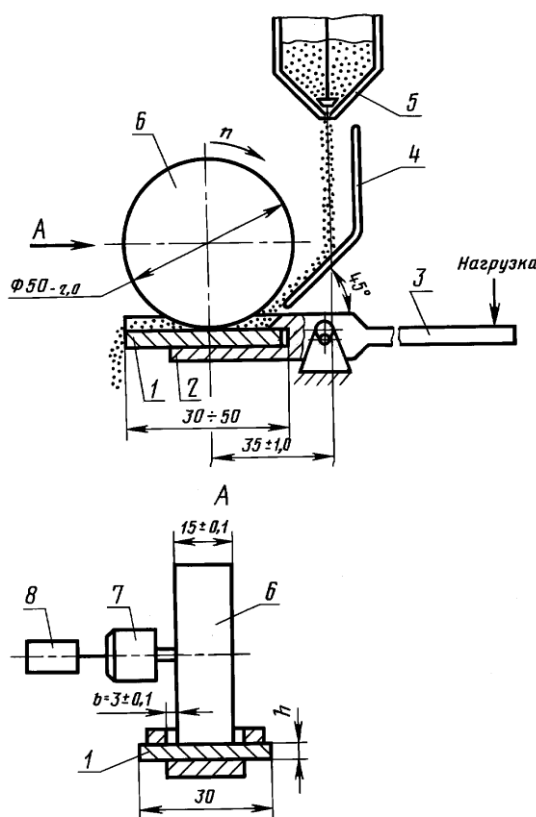


Рис. 1. Схема установки: 1 – образец; 2 – образец-держатель; 3 – рычаг; 4 – направляющий лоток; 5 – дозирующее устройство; 6 – резиновый ролик; 7 – привод

Испытания проводили на установке, приведенной на рис. 1, обеспечивающей вращение вокруг горизонтальной оси резинового ролика, который прижимается к исследуемому образцу. Между роликом и образцом непрерывно подается абразивный материал. Оценка износостойкости производится по результатам взвешивания образца до и после испытаний определения средне-арифметического значения потери массы исследуемого образца и эталона.

Результаты исследования. Результаты определения химического состава представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемого образца

№	Сплав	Содержание элементов								
		Cu	Mn	Fe	Si	S	Zr	Cr	Al	Ni
1	Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	27.40	61.37	1.63	0.03	0.06	0.5	0.18	0.9	2.21

В процессе исследования были выявлены структуры, приведенные на рис. 2–3.



Рис. 2. Микроструктура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр после полировки и травления, x250

В соответствии с диаграммой равновесия структура марганцевомедного сплава, содержащего 75% марганца и 25% меди, при комнатной температуре состоит из γ -твердого раствора с решеткой ГЦК и α -марганца. Однако вследствие очень медленного протекания диффузионных фазовых превращений в марганцевомедных сплавах структура реальных литых сплавов значительно отличается от равновесной.

Структура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр является дендритной с обогащенными марганцем (85–90%) темными областями и обедненными марганцем (55–60%) светлыми участками. Новых структурных изменений не выявлено. Данные выводы аналогичны литературным данным.

Результаты металлографического анализа после отжига при 840 °С приведены на рис. 3.

Анализ приведенных микроструктур свидетельствует о том, что диффузионные процессы при гомогенизации сплава идут очень медленно. Дендриты стали иметь менее четкие границы, но полностью не исчезли.

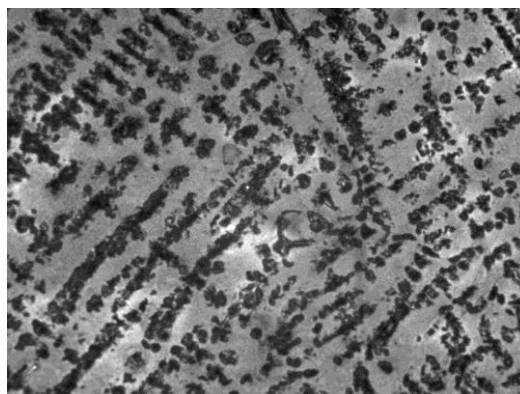


Рис. 3. Микроструктура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр после термообработки, полировки и травления, x250

Степень дендритной неоднородности сплава может быть определена также по различию в значениях микротвердости дендрита и междендритных участков. Можно предположить, что чем меньше разница в значении микротвердости, тем выше химическая однородность сплава. Таким образом, метод измерения микротвердости может быть использован для быстрого контроля результатов гомогенизационного отжига.

Измерения микротвердости светлых и темных участков структуры показали более высокую твердость составляющей, обогащенной марганцем (темные участки на шлифе). Измерения микротвердости этих участков структуры литого сплава (литье в металлическую изложницу, затемковка при температуре 700-800 °С и отжиг по режиму, указанному выше) приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты измерения твердости

	HRB	HV
Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	95	226

Таблица 3

Результаты измерения микротвердости образца Г61Д27Н2Ж2ЮЦр

	HV (кг/мм ²) междендритных зон (светлых участков)	HV(кг/мм ²) дендритов (темных участков)
Г61Д27Н2Ж2ЮЦр	107-110	141-152

При испытании на износостойкость изменение массы образца до и после испытаний в течение 10 минут приведены в табл. 4.

Таблица 4

Относительная износостойкость (Ки)

Номер образца	Марка	Потеря массы образцов g, г	Относительная износостойкость (Ки)
Эталон	сталь 45(91 HRB)	0,015	-
Образец	Г61Д23Ж1,6Ю3,3Н2,2Ц3	0,008	1,95

Расчет относительной износостойкости производился по формуле:

$$\bar{g}_{\text{э}} = \frac{\sum_{i=1}^3 g_{\text{э}i}}{3};$$

$$\bar{g}_{\text{и}} = \frac{\sum_{i=1}^m g_{\text{и}i}}{m},$$

где $g_{\text{э}i}$, $g_{\text{и}i}$ – значение потерь массы при испытаниях эталонных образцов и образцов исследуемого материала, г;

m – количество образцов исследуемого материала.

Относительную износостойкость вычисляли по формуле:

$$K_{\text{и}} = \frac{\bar{g}_{\text{э}} \rho_{\text{и}} N_{\text{и}}}{\bar{g}_{\text{и}} \rho_{\text{э}} N_{\text{э}}},$$

где $\rho_{\text{и}}$ и $\rho_{\text{э}}$ – плотность исследуемого и эталонного образца;

В результате относительный коэффициент износостойкости:

$$K_{\text{из}} = (0,015 \cdot 7,7) / (0,008 \cdot 7,4) = 1,95$$

Выводы

1. Установлены общие закономерности в структурообразовании марганцевомедного сплава, легированного цирконием, после различных способов литья и режимов термической обработки. Структура сплава Г61Д27Н2Ж2ЮЦр является дендритной, новых фаз не выявлено; влияние циркония носит модифицирующий характер.

2. Полученные результаты испытаний на износостойкость сплава, легированного цирконием, дают основания для дальнейших исследований в области разработки новых сплавов на основе Mn-Cu.

Список литературы

1. Блантер М. С. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях. М. : Metallurgy, 1991. 248 с.
2. ГОСТ 23.208-79. Методика испытаний материала на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы. М. : Стандартинформ, 2005.
3. Лисовская О. Б., Теребихина И. Н. Структура и свойства сплавов высокого демпфирования системы марганец-медь // Общество, наука, инновации (НПК-2018) : всерос. ежегод. науч-практ. конф. ; сб. статей 2-28 апреля 2018 г. / ВятГУ. Киров, 2018. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 517–524 (РИНЦ).
4. Панченко Е. В. Лаборатория металлографии. М. : Metallurgy, 1965. 251 с.
5. Рахштадт А. Г., Фавстов Ю. К., Кочеткова Л. П. Структурные превращения в марганцевомедных сплавах с высокой демпфирующей способностью // Митом. 1973. № 2. С. 19–23.
6. Фавстов Ю. К. Металловедение высокодемпфирующих сплавов / Ю. Н. Шульга, А. Г. Рахштадт. М. : Metallurgy, 1980. 272 с.

The study of the structure and properties of manganese-copper alloy doped with zirconium

O. B. Lisovskaya¹, I. N. Terebihina²

¹PhD of technical sciences, head of the Department of material science and fundamentals of design, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: ob_lisovskaya@vyatsu.ru

²postgraduate student of the Department of material science and fundamentals of design, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: Ira112012@yandex.ru

Abstract. Currently, there is a rapid development of technology, increase of the speed and power of machines and equipment. This leads to an increase in the growth of harmful noises and vibrations that have a negative impact on working conditions. In these conditions, the fight against noise and vibration is relevant. This can be achieved by isolating the vibration source from the main structure, increasing the rigidity of the structure, using various devices. One of the highly effective ways to reduce harmful noises and vibrations is the use of damping materials. This group of materials includes alloys of manganese-copper. In some cases, this method is the only possible way to reduce noise. Therefore, the development and research of new materials, giving new opportunities for their application, is relevant. The purpose of the article is to study the properties of the alloy doped with zirconium, nickel, iron, aluminum. In the course of the study, the method of x-ray fluorescence spectroscopy, the method of testing the material for wear resistance in friction against non-rigidly fixed abrasive particles were used. The structure of the alloy before and after heat treatment was studied, the chemical composition was determined, hardness and microhardness were measured, the wear resistance coefficient was determined. The results can be used to determine the direction of further development in the field of structural materials.

Keywords: manganese-copper alloys, structure and properties of manganese-copper alloys, zirconium alloying, aluminum, nickel, iron, wear resistance tests.

References

1. Blanter M. S. *Metod vnutrennego treniya v metallovedcheskih issledovaniyah* [Method of internal friction in metal studies]. M. Metallurgy. 1991. 248 p.
2. GOST 23.208-79. *Metodika ispytaniy materiala na iznosostojkost' pri trenii o nezhestko zakreplennye abrazi-vnye chasticy* – GOST 23.208-79. The method of testing the material for wear resistance when friction on loosely fixed abrasive particles. M. STANDARTINFORM. 2005.
3. Lisovskaya O. B., Terebihina I. N. *Struktura i svojstva splavov vysokogo dempfirovaniya sistemy marganec-med'* [Structure and properties of high damping alloys of the system manganese-copper] // *Obshchestvo, nauka, innovacii (NPK-2018): vseros. ezhegod. nauch-prakt. konf.; sb. statej 2-28 aprelya 2018 g.* – Society, science and innovation (NPK (Scientific and practical conference)-2018): all-Russia yearly scientific practic. conf.; collection of articles 2-28 April 2018 / VyatSU. Kirov. 2018. 1 electron. opt. disc (CD-ROM). Pp. 517–524 (RSCI).
4. Panchenko E. V. *Laboratoriya metallografii* [Metallography laboratory]. M. Metallurgy. 1965. 251 p.
5. Ruhstadt A. G., Favstov Yu. K., Kochetkova L. P. *Strukturnye prevrashcheniya v margancevomednyh splavah s vysokoj dempfiruyushchej sposobnost'yu* [Structural transformations in manganese-copper alloys with high damping capacity] // *MiTOM – Mitom*. 1973. No. 2. Pp. 19–23.
6. Favstov Yu. K. *Metallovedenie vysokodemfiryushchih splavov* [Metallurgy of high-damping alloys] / Y. N. Shulga, A. G. Ruhstadt. M. Metallurgy. 1980. 272 p.

Совершенствование средств технологического оснащения процессов СПФ деталей и сборочных единиц

Ю. Л. Апатов¹, Р. Р. Фасхутдинов², К. Ю. Апатов³

¹кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения,

Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: apatov.yu@yandex.ru

²магистрант кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: rinatinho67@yandex.ru

³кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: usr03913@vyatsu.ru

Аннотация. Актуальность данного направления заключается в необходимости получения теоретических и практических основ разработки новых и перспективных видов средств оснащения процессов сверхпластической формовки (СПФ).

Целью работы послужило теоретическое и экспериментальное изучение и обоснование нового подхода к проектированию специальных устройств – автономных штамповых блоков, которые позволяют повысить эффективность процесса, а также расширить его технологические возможности.

Методика исследований заключалась в проведении экспериментов на опытной технологической оснастке с варьированием основных параметров процесса СП-формовки: материала заготовки, температуры, давления сжатого газа и времени протекания – с теоретическим анализом полученных данных.

Появились практические доказательства возможности ведения указанного процесса по предложенной нами схеме: вне прессы большой мощности на автоматизированных установках с разбиением процесса на отдельные этапы. Разработан способ формовки изделий с неразъемными соединениями деталей.

Материалы данной статьи предназначены, главным образом, конструкторам-разработчикам новой техники в области создания средств технологического оснащения штамповочного автоматизированного производства.

Ключевые слова: сверхпластичность, штамповый блок, формообразование детали, беспрессовая формовка, соединение, моделирование оснастки.

Вступление. Общеизвестны расширенные технологические возможности метода сверхпластической формовки (СПФ) объемных деталей из листа [1]. Практическое использование этого явления позволяет изготавливать самые разнообразные по размерам, форме и профилю поверхности полые детали, в том числе с нанесением на них художественно-декоративного микрорельефа.

Однако следует отметить, что в ходе конструкторской проработки экспериментальных средств оснащения исследований и последующего углубленного изучения полученных образцов с учетом определения реологических характеристик поведения материала заготовки при варьировании режимами процесса были выявлены недостатки метода и не до конца решенные проблемы. Так, например, невысокая производительность при использовании известной (прессовой) схемы, обусловленной большим основным технологическим временем проведения процесса, которое может достигать 10–15 мин. в расчете на одну отформованную деталь. Также для осуществления самого процесса требовалось мощное и дорогостоящее прессовое оборудование.

На кафедре технологии машиностроения ВятГУ совместно и под руководством специалистов головного института (тогда МИСиС г. Москвы) были проведены экспериментальные исследования процесса формообразования деталей-оболочек в условиях СП-формовки из тонколистовых заготовок [2]. В дальнейшем на основании полученных результатов исследования в этом направлении были продолжены и осуществлялись опытно-конструкторские работы по совершенствованию средств технологического оснащения, повышению производительности и универсальности указанного метода.

Цель статьи. Теоретические и экспериментальные исследования средств технологического оснащения процесса СП-формовки, направленные на обоснование нового подхода к проектированию специальных устройств – автономных штамповых блоков, которые позволяют повысить производительность процесса, расширяют его возможности и создают предпосылки для его автоматизации.

Задачи исследования:

1. Разработка новых путей повышения производительности метода СП-формовки посредством прогрессивных видов оснастки.

2. Прочностные расчеты автономного штампового блока на основе 3D-моделирования и анализ полученных данных при варьировании режимами.

3. Предложения по совершенствованию конструкций штамповых блоков для получения многокомпонентных изделий с неразъемными соединениями деталей из листовых заготовок, в том числе и многономенклатурных.

Бедущий подход. Специально спроектированная и изготовленная оснастка для проведения в широком диапазоне варьирования технологических параметров позволила получить большой объем данных, которые подтвердили широкие возможности изучаемого метода и перспективы его практического использования. После проведения экспериментов нам удалось предложить новое направление использования листовой СП-формовки – способ получения многокомпонентных изделий, признанный изобретением [3].

При его практическом использовании получается неразъемное соединение, которое образуется из общей базовой детали (выполненной из материала со свойствами сверхпластичности) и нескольких присоединяемых деталей-компонентов. Как выяснилось, последние могут выполняться из материалов и не обладающих свойством сверхпластичности, в том числе и неметаллических (например, из керамики). Физическая основа соединения заключается в обтекании материалом заготовки специально предусмотренных элементов, удерживающих в осевом и круговом направлениях входящие в изделие детали.

Особенно перспективна, на наш взгляд, возможность соединений тонкостенной корпусной детали с крепежными деталями типа винтов, гаек, втулок и т. п., которые затруднительно и даже невозможно получить другим путем (например, сваркой или склеиванием), если учитывать разнородность материалов, из которых изготовлены эти детали. Вторым положительным моментом таких соединений является сохранение ими герметичности внутри изделия.

Результаты исследований и их обсуждение. Новым подходом к проектированию средств технологического оснащения была апробированная в экспериментальной части исследований беспрессовая схема СПФ. Стало возможным применение прессы с кратковременным и небольшим усилием для первоначального смыкания частей штампового блока (матрицы и крышки) с целью образования на заготовке герметизирующих рифтов по периметру формообразующей полости матрицы.

Предлагаемая схема позволяет избежать применения в общепринятых процессах СПФ мощного прессового оборудования, когда пресс постоянно удерживает крышку штампового блока в закрытом состоянии, в то время как на нее воздействует весьма значительное усилие, которое легко рассчитывается, исходя из известной площади заготовки в плане и удельного давления сжатого газа, выполняющего в данном случае функцию пуансона.

Более того, такой подход позволяет разбивать операцию СП-формовки, характеризующуюся большим временем протекания, на отдельные технологические переходы, что способствует использованию основных принципов автоматизации при создании автоматизированных установок, с целью значительного увеличения производительности самого изучаемого процесса.

По итогам проведенных теоретических исследований работ и дальнейшей экспериментальной проверки метода сверхпластичной листовой формовки нам удалось предложить новый способ, позволяющий получать многокомпонентные изделия, когда одна из деталей (базовая) выполняется из материала со сверхпластическими свойствами, а другие детали-компоненты изделия могут быть выполнены из иных материалов, в том числе и неметаллических. Получаемые соединения являются постоянными (неразъемными). В этом случае изделие состоит из тонкостенной детали-оболочки, в которой посредством неразъемного термомеханического соединения закреплены другие детали. При этом отпадает необходимость проведения последующих операций по соединению их в изделие, например, в виде пайки, сварки, склеивания и т. п.

Необходимо наличие у этих деталей элементов, образующих поднутрения, служащих для удержания их постоянном положении в готовом изделии, в том числе исключающие их вращение. Так, например, для винтов разность диаметральных размеров головки и стержня образует конструктивный элемент профиля, удерживающего их в осевом направлении, а шлиц служит элементом, предохраняющим винт от его поворота вокруг вертикальной оси.

Для осуществления данного способа листовая заготовка укладывается на корпус штампового блока, в котором при наладке устанавливается сменная матрица нужной конфигурации и требуемого поверхностного рельефа. В матрицу, в специально выполненные отверстия, устанавливаются фиксирующие стержни, на которые помещаются присоединяемые детали-компоненты будущего изделия. Обязательным условием является наличие на этих деталях поднутрений и других элементов профиля, находящегося в зоне будущего соединения. В других случаях детали-компоненты стержневой формы могут устанавливаться непосредственно в отверстия матрицы.

Устройство накрывается крышкой с отверстием для подачи сжатого газа и подвергается обжиму заготовки по периферии матрицы для получения герметизирующих рифтов, обеспечивающих герметичность пространства между крышкой блока и заготовкой. Закрываются поворотные кулачковые замковые механизмы и производится нагрев в соответствующей зоне установки для СП-формовки. После прогрева штампового блока и находящейся в нем заготовки до температуры возникновения явления сверхпластичности, через отверстие в крышке подается сжатый газ, после чего начинается свободное выпучивание заготовки в направлении матрицы и деталей-компонентов, закрепленных в ней. По мере опускания заготовки происходит обтекание ее материалом выступающих элементов деталей-компонентов в зоне их поднутрений, что приводит к образованию прочных неразъемных соединений.

Были предложены конструкции автономных штамповых блоков (рис. 1).

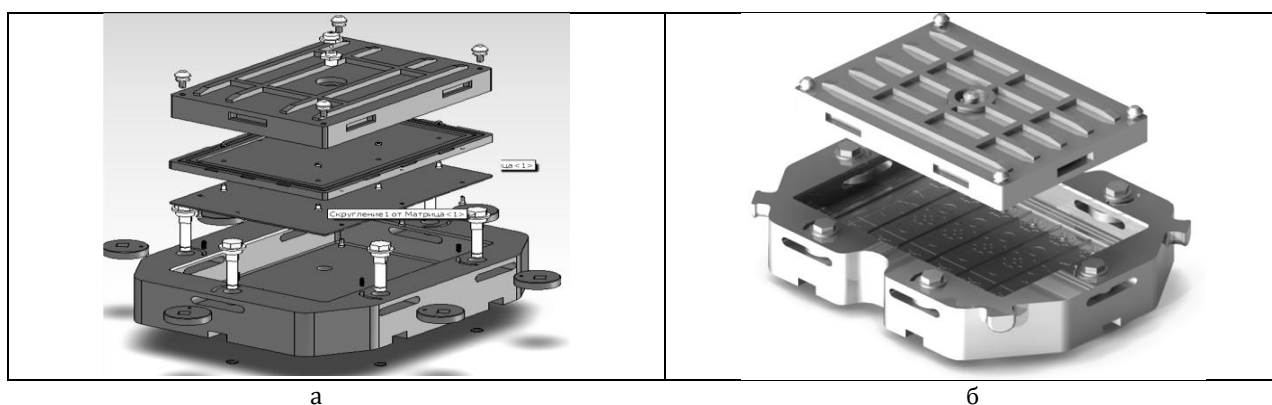


Рис. 1. Трехмерные модели автономных штамповых блоков для процесса СП-формовки: а – многокомпонентного изделия; б – получения плоской детали

При использовании штампового блока с применением принципа автоматизации процесс легко разбивается на отдельные технологические переходы:

- загрузка листовой заготовки в штамповый блок;
- сборка блока с запиранием замковых механизмов;
- передвижение штампового блока в зону нагрева;
- подача сжатого газа (углекислого либо одного из инертных) под заданным давлением в герметичную полость над заготовкой;
- прогрев до требуемой температуры и выдержка по времени;
- возврат блока для разборки и извлечения готовой детали (изделия).

Для этого достаточно использования простых стержневых выталкивателей, которые воздействуют на изделие в наиболее прочных его частях (под деталями-компонентами) во избежание прорыва листа основной детали.

Предложенный способ был апробирован в экспериментальных исследованиях, когда в качестве деформирующей среды использовался углекислый газ с рабочим давлением в пределах 0,5–1,5 МПа. Температурный режим процесса поддерживался в интервале 550–700 °С (в зависимости от материала основной детали), материалом которой служила латунь марки Л63 (модифицированная 0,13% Si). Применялась в экспериментах также латунь марки ЛЖМц 59-1-1 по ГОСТ 15527-70. Время выдержки заготовки под давлением целенаправленно изменялось в пределах от 5 до 15 минут. Предварительной термообработки листов в диапазоне толщин 0,4–0,6 мм нами не производилось.

Ниже, на рис. 2, приведены фотоснимки полученных образцов соединений базовой детали из листовой заготовки с крепежными резьбовыми деталями.

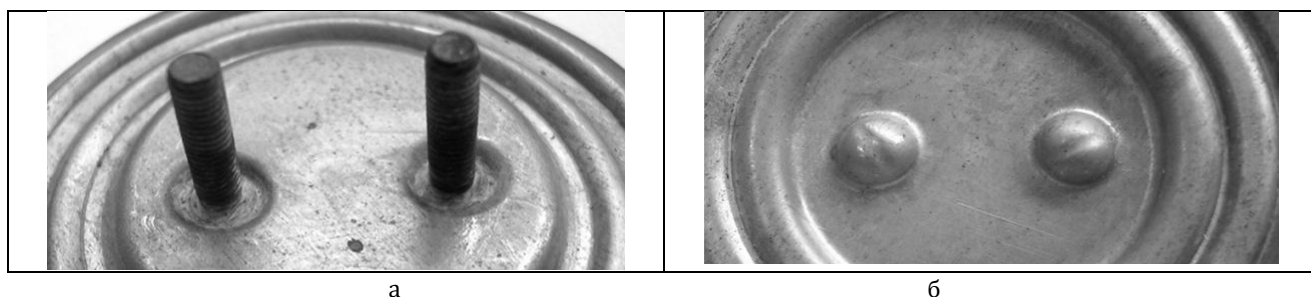


Рис. 2. Пример одного из полученных образцов многокомпонентных изделий: а – корпус – два винта М4 х 20 ГОСТ 17474 – 82; б – его обратная сторона

Полученные образцы позволили выявить основные этапы процесса, характер распределения металла и оценить достигаемую прочность соединения.

Блок проверялся с помощью программных средств Cosmos Desing STAR, начиная с построения 3D-модели матрицы, крышки, замковых механизмов в Solid Works. Потребовалась оптимизация конструкции по критериям минимально допустимых толщин стенок, минимизации деформаций, а также равномерного распределения температурных полей. Эти параметры обуславливают уменьшение металлоемкости конструкции, сокращение времени прогрева до заданной температуры и, в целом, снижение энергоемкости всего процесса.

Ответственным конструктивным элементом автономных штамповых блоков являются их замковые механизмы, которые призваны удерживать элементы блока в постоянном положении друг относительно друга в течение всего процесса формовки. Нами были предложены замки на основе торцевых поворотных эксцентриковых кулачков с углом самоторможения на рабочих опорных поверхностях. Для проверки прочности кулачков прикладывалось усилие, возникающее при давлении в 1,5 МПа, приложенном ко всей площади рабочей части крышки. Результаты показали, что деформация кулачка в экспериментальной конструкции блока чрезвычайно мала и не превышает 0,05 мкм с запасом прочности до 15 крат, что также дает возможность пересмотреть и минимизировать его размеры в последующих вариантах конструкции блока.

Можно также привести в качестве примера возможные варианты компоновки автоматизированной установки для СП-формовки по предлагаемым схемам в виде эскиза, показанного на рис. 4. Она позволяет совмещать по времени выполнение отдельных технологических переходов. Компоновка по рис. 4а включает в себя пресс 1, служащий для герметизации рабочей полости штампового блока, поворотный многопозиционный стол 2, печь 3 для нагрева блоков, позицию 4 с механизмом раскрытия замков, непосредственно штамповый блок 5, крышку 6 блока (круглая, показана в снятом положении) и рабочее место 7.

Оператор в рабочей позиции 7 извлекает из штампового блока готовое изделие, наносит защитное разделительное покрытие матрицы с помощью пульверизатора. Затем он берет новую заготовку (щипцами, учитывая рабочую температуру процесса) из накопителя заготовок и укладывает ее на матрицу.

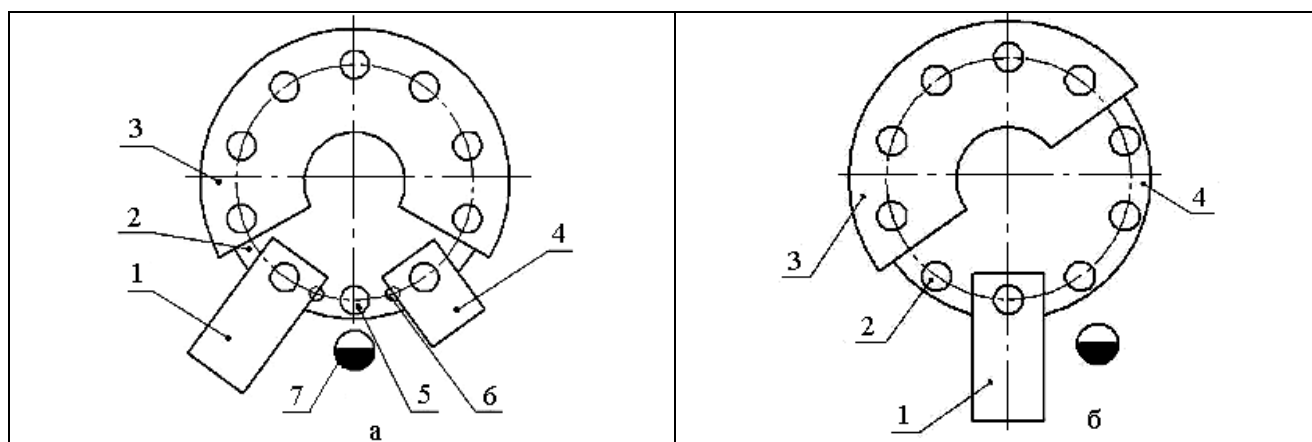


Рис. 4. Примеры компоновок автоматизированных установок для СП-формовки:
а – с разделенными позициями закрывания и раскрытия замков штампового блока;
б – вариант с совмещенной позицией

Выводы. В статье приведены результаты исследований с выходом на повышение производительности и эффективности СП-формовки. Предложены новые схемы проведения таких операций, даны конструктивные решения штамповых блоков с приведением результатов прочностных расчетов в широком диапазоне режимов формовки. Кроме того, дано подробное описание нового способа формообразования с получением многокомпонентных изделий.

Материалы, приведенные в статье, могут быть полезными специалистам, занятым разработкой нестандартной технологической штамповой оснастки.

Список литературы

1. Чумаченко Е. Н., Смирнов О. М., Цепин М. А. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии. М. : Ком. книга, 2005. 320 с.
2. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Апатов Ю. Л., Поляков С. М. Устройство для листовой формовки в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на полезную модель № 54541 МКИ В21D26/22. 2006.

3. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Африкантов А. А., Апатов Ю. Л. Способ получения изделий из листовых заготовок в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на изобретение № 2306996 МКИ B21D26/02. 2007.

Improvement of means of technological equipment of SPF processes of parts and assembly units

Y. L. Apatov¹, R. R. Faskhutdinov², K. Y. Apatov³

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: apatov.yu@yandex.ru

²master student of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: rinatinho67@yandex.ru

³PhD of technical sciences, associate professor of the Department of engineering graphics, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: usr03913@vyatsu.ru

Abstract. The relevance of this direction is the need to obtain theoretical and practical foundations for the development of new and promising types of equipment for superplastic forming processes (SPF).

The aim of the work was the theoretical and experimental study and justification of a new approach to the design of special devices – autonomous die blocks, which can improve the efficiency of the process, as well as to expand its technological capabilities.

The research method was in carrying out experiments on experimental tooling with varying the main parameters of the SP-forming process: the workpiece material, temperature, pressure of the compressed gas and the flow time – with a theoretical analysis of the data.

Practical evidence of the ability to conduct a specified process in our proposed scheme - outside the press of high power for automated installations by splitting the process into separate stages - appeared. A method of forming products with permanent joints of parts is worked out.

Materials of this article are intended, mainly, to designers-developers of new equipment in the field of creation of means of technological equipment of stamping automated production.

Keywords: superplasticity, die block, part forming, pressure-free forming, connection, tooling modeling.

References

1. Chumachenko E. N., Smirnov O. M., Cegin M. A. *Sverhplastichnost': materialy, teoriya, tekhnologii* [Superplasticity: materials, theory, technology]. M. Com. kniga. 2005. 320 p.
2. Apatov K. Yu., Cegin M. A., Apatov Yu. L., Polyakov S. M. [Device for sheet forming in superplasticity state. Russian patent for utility model № 54541 МКИ B21D26/22]. 2006.
3. Apatov K. Yu., Cegin M. A., Afrikantov A. A., Apatov Yu. L. [Method of obtaining products from sheet blanks in a state of superplasticity. Russian patent for invention № 2306996 МКИ B21D26/02]. 2007.

Анализ надежности режущего инструмента

В. Б. Чернявский¹, П. В. Булычев²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: vb_chernyavskiy@vyatsu.ru

²магистрант кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: bulychev_p@mail.ru

Аннотация. Развитие инструментального производства неразрывно связано с повышением надежности процесса обработки. От качества, работоспособности и надежности режущих инструментов в значительной степени зависит точность обрабатываемой детали, производительность и эффективность процесса обработки, в особенности при автоматизированном производстве в условиях гибких производственных систем.

Целью статьи является оценка надежности режущего инструмента, выраженной через вероятность обеспечения требуемого уровня стойкости режущего инструмента. Задача заключается в разработке математической модели зависимости оценки надежности режущего инструмента от параметров резания. Ведущим подходом в построении математической модели зависимости оценки показателя надежности является аппарат прикладной теории вероятностей. В результате получены соотношения, позволяющие на основе интерпретации параметров резания как случайных величин, а определяющего надежность параметра как функции случайных величин производить анализ надежности процесса резания. Указанные соотношения позволяют ставить и решать обратную задачу, а именно, задавшись определенным требуемым уровнем надежности, определять оптимальные параметры процесса резания.

Ключевые слова: надежность режущего инструмента, режимы резания, обрабатываемый материал, материал инструмента, случайные величины и их числовые характеристики, вероятность.

Введение. Развитие инструментального производства является одной из важнейших задач машиностроения. От качества, работоспособности и надежности режущих инструментов в значительной степени зависит точность обрабатываемой детали, производительность и эффективность процесса обработки, в особенности при автоматизированном производстве в условиях гибких производственных систем.

При работе в условиях автоматизированного производства необходимо обеспечить заданную производительность процесса резания с минимальными затратами и высоким уровнем его надежности. Высокий уровень надежности достигается различными методами. Например, нанесение износостойких покрытий, нанесение антифрикционных покрытий, гальванические методы, химические методы, химико-термические методы, физические методы, физико-термические методы, механические методы, термомеханические методы, доводка и заточка, метод электроискрового упрочнения и наращивания инструмента. Все они достаточно широко применяются в промышленности, особенно нанесение износостойких покрытий, химико-термические и механические методы. Повышение режущей способности инструментов возможно несколькими методами одновременно или последовательно для получения наибольшего эффекта.

Одним из важных показателей, характеризующих надежность режущего инструмента, является стойкость. Основными параметрами, от которых зависит стойкость, являются: скорость резания, обрабатываемый материал, материал резца, глубина резания, подача, геометрия резца, охлаждение резца, жесткость станка, приспособления резца и заготовки. В связи с этим для решения задачи обеспечения высокого уровня надежности обработки резанием необходима ее количественная оценка.

Цель исследования. Целью исследования является оценка надежности режущего инструмента, выраженной через вероятность обеспечения требуемого уровня стойкости режущего инструмента.

Задача исследования. Задача исследования заключается в разработке математической модели зависимости оценки надежности режущего инструмента от параметров резания.

Ведущий подход. Задачу будем решать в вероятностной постановке, поскольку как стойкость режущего инструмента, так и параметры, ее определяющие, имеют случайную природу. Как правило, зависимость стойкости режущего инструмента от параметров резания определяются опытным путем. В частности, в качестве такой зависимости известна эмпирическая зависимость скорости резания от остальных параметров резания [3, с. 261]:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (1)$$

Отсюда следует, что стойкость режущего инструмента, а именно токарного резца, можно рассчитать по формуле:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v}{v \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v} \quad (2)$$

где v – скорость резания, мм/мин.; t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об.; C_v – коэффициент для расчета скорости резания; K_v – коэффициент, учитывающий условия обработки; y – показатель степени, учитывающий интенсивность влияния s на период стойкости инструмента; x – показатель степени, учитывающий интенсивность влияния t на период стойкости инструмента; m – показатель относительной стойкости.

Коэффициент K_v рассчитывается по формуле:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\varphi} \cdot K_r \quad (3)$$

где K_{pv} – коэффициент, учитывающий состояния поверхности; K_{iv} – коэффициент, учитывающий материал инструмента; $K_{\varphi v}$ – коэффициент, учитывающий углы в плане; K_{rv} – коэффициент, учитывающий радиус при вершине; $K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^n$ – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки, K_r , n – коэффициенты, учитывающие материал заготовки и инструмента [3, с. 261].

Таким образом, стойкость можно записать как функцию

$$Y = F(\bar{x}) \quad (4)$$

где $\bar{x} = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$ – вектор параметров процесса резания (скорость резания, подача, степенные показатели в формуле стойкости резания). В дальнейшем стойкость Y будем называть определяющим параметром, вектор $\bar{x}$ – вектором первичных параметров. Сделаем ряд предположений относительно Y и $\bar{x}$.

1) определяющий параметр Y является случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Тогда функция плотности распределения вероятностей данной величины будет равна [1, с. 117]:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad (5)$$

где m_y – математическое ожидание и σ_y – среднее квадратическое отклонение случайной величины Y .

2) элементы вектора первичных параметров $(x_1, x_2 \dots x_n)$ являются независимыми случайными величинами, также распределенными по нормальному закону распределения с заданными математическими ожиданиями m_i и средними квадратическими отклонениями σ_i , $i = \overline{1, n}$.

Задача сводится к определению параметров распределения (5) по заданным значениям числовых характеристик распределений первичных параметров $\bar{m} = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ и $\bar{\sigma} = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$.

Для определения параметров случайной величины $Y - (m_y, \sigma_y)$ разложим функцию $F(\bar{x})$ в ряд Тейлора [4, с. 386] и оставим члены разложения до второго порядка включительно как наиболее значимые:

$$F(\bar{x}) = F(\bar{m}) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F(\bar{x})}{\partial x_i} \right)_{\bar{m}} \cdot (x_i - m_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial^2 F(\bar{x})}{\partial x_i \partial x_j} \right)_{\bar{m}} \cdot (x_i - m_i)(x_j - m_j) \quad (6)$$

Тогда, с учетом того, что все x_i независимы и для нормального закона распределения все нечетные центральные моменты равны нулю, а $M[(x_i - m_i)^4] = 3M[(x_i - m_i)^2]^2 = \sigma_i^4$, $(i = \overline{1, n})$ [1, с. 121], получим:

$$m_y = M[Y] = M[F(\bar{x})] = F(\bar{m}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 F(\bar{x})}{\partial x_i^2} \right)_{\bar{m}} \cdot \sigma_i^2 \quad (7)$$

$$\sigma_y^2 = M[(Y - m)] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F(\bar{x})}{\partial x_i} \right)_{\bar{m}}^2 \sigma_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial^2 F(\bar{x})}{\partial x_i \partial x_j} \right)_{\bar{m}} \sigma_i^2 \sigma_j^2 \quad (8)$$

Таким образом, для вычисления значений m_y , σ_y необходимо определиться с конкретными условиями обработки (выбором числовых характеристик $\bar{m} = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ и $\bar{\sigma} = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$) и произвести вычисления по формулам (7) и (8) путем подстановки вместо функции $F(x)$ правой части формулы (2).

Результаты исследования. В качестве примера для расчетов примем: заготовка – сталь 45 ГОСТ 1050-88 HB=170МПа, $\sigma_B = 640$ МПа. Сортамент по ГОСТ2590-2006 прутки $\varnothing 100_{-1,7}^{+0,6}$ мм. Инструмент – проходной резец, материал режущей части T15K6, $\varphi = 45^\circ$, $r = 1$ мм [3, с. 261]. Оборудо-

вание – универсальный станок, компоновка коробки скоростей которого с геометрическим рядом $\phi = 1,26$. Тогда допустимая погрешность частоты вращения $\pm 2,6\%$ [2, с. 6]. Значения коэффициентов и параметров резания приведены в табл. 1

Таблица 1

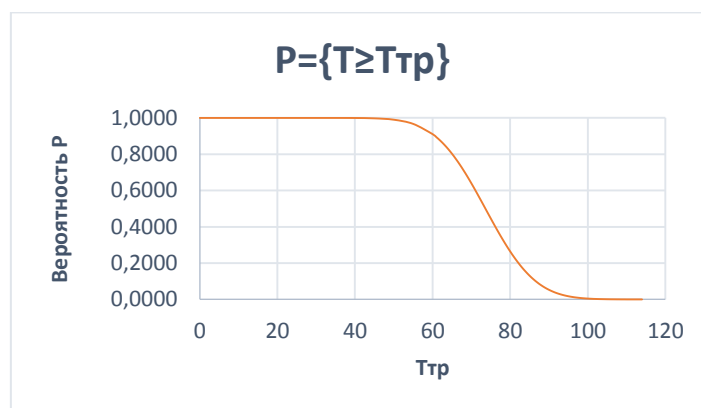
Значения коэффициентов и режимов резания	
C_v	350
K_v	1,21
x	0,15
y	0,35
m	0,2
$v(x_1)$	180
$t(x_2)$	5
$s(x_3)$	0,5
σ_1	4,966
σ_2	0,38
σ_3	0,01

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\phi} \cdot K_r = 1,17 \cdot 0,9 \cdot 1,15 = 1,21$$

где $K_{pv} = 0,9$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности; $K_{iv} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента; $K_{\phi} = 1$ – коэффициент, учитывающий углы в плане; K_{rv} – коэффициент, учитывающий радиус при вершине; $K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^n = 1 \cdot \left(\frac{750}{640}\right)^1 = 1,17$ – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки, K_r , n – коэффициенты, учитывающие материал заготовки и инструмента. Коэффициенты C_v, K_v, x, y, m ввиду сугубо эмпирической природы в модели расчетов были приняты неслучайными константами. В качестве элементов вектора первичных параметров $\bar{x} = \{x_1, x_2, x_3\}$ были приняты параметры v, t и s соответственно.

Вычисление значений m_y и σ_y по формулам (7) и (8) позволяет определить функцию распределения случайной величины Y – стойкости резца. В свою очередь, это приводит к возможности определения показателя надежности резца, определенного ранее в виде вероятности события $\{T \geq T_{тр}\}$, где $T_{тр}$ – некоторое наперед заданное требуемое значение стойкости.

Анализ проведенных расчетов для заданного примера показывает, что с ужесточением требований к стойкости, т.е. с увеличением значения $T_{тр}$, показатель надежности процесса резания естественным образом падает. Например, для $T_{тр} = 55$ мин показатель надежности составляет более 95%, в то время как для $T_{тр} = 80$ мин составляет уже менее 25%. Расчетная стойкость по формуле (2) составляет 72 мин.

Рис. 1. График зависимости показателя надежности от $T_{тр}$

Выводы. Изложенный в статье подход позволяет производить оценку показателя надежности процесса резания на основе интерпретации параметров резания как случайных величин, а определяющий надежность параметр – как функцию случайных величин. Используя в дальнейшем полученные расчетные соотношения относительно показателей надежности процесса резания, можно

ставить и решать обратную задачу, а именно, задавшись определенным требуемым уровнем надежности, определять оптимальные параметры процесса резания. Иными словами, определять оптимальные режимы резания там, где необходима наиболее высокая надежность процесса обработки. Например, при проектировании гибких автоматизированных линий на базе станков с ЧПУ.

Список литературы

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М. : Наука, 1969. 564 с.
2. Гуртяков А. М. Расчет и проектирование металлорежущих станков : учебное пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 136 с.
3. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2. М. : Машиностроение, 1985. 496 с.
4. Смирнов В. И. Курс высшей математики. Т. 1. М. : Наука, 1974. 480 с.

Analysis of cutting tool reliability

V. B. Chernyavskiy¹, P. V. Bulychev²

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of information technology in machine building, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: vb_chernyavskiy@vyatsu.ru

²master student of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: bulychev_p@mail.ru

Abstract. The development of tool production is inextricably linked with improving the reliability of the processing process. The quality, efficiency and reliability of the cutting tools largely determine the accuracy of the workpiece, the productivity and efficiency of the machining process, especially in automated production in flexible production systems.

The purpose of the article is to assess the reliability of the cutting tool, expressed through the probability of providing the required level of resistance of the cutting tool. The task is to develop a mathematical model of the dependence of the reliability of the cutting tool on the cutting parameters. The leading approach in the construction of a mathematical model of the dependence of the reliability index is the apparatus of applied probability theory. As a result, the relations obtained allow to analyze the reliability of the cutting process on the basis of the interpretation of cutting parameters as random variables, and determining the reliability of the parameter as a function of random variables. These relations allow us to set and solve the inverse problem, namely, given a certain required level of reliability, to determine the optimal parameters of the cutting process.

Keywords: reliability of the cutting tool, cutting conditions, processed material, tool material, random variables and their numerical characteristics, probability.

References

1. Ventzel E. S. *Teoriya veroyatnostej* [Probability theory]. M. Nauka. 1969. 564 p.
2. Gurtyakov A. M. *Raschet i proektirovanie metallovezhushchih stankov: uchebnoe posobie* [Calculation and design of machine tools: tutorial]. Tomsk. Publishing house of Tomsk Polytechnic University. 2011. 136 p.
3. Kosilova A. G., Meshcheryakov R. K. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Handbook of mechanical engineer]. In 2 vol. Vol. 2. M. Mashinostroyeniye (Machine building). 1985. 496 p.
4. Smirnov V. I. *Kurs vysshej matematiki* [Course of higher mathematics]. Vol. 1. M. Nauka. 1974. 480 p.

Направления применения экологичных изделий из древесно-композиционных материалов на основе отходов деревообработки

В. С. Паскарь¹, О. А. Рублева²

¹аспирант кафедры машин и технологии деревообработки, Вятский государственный университет.
Россия, г. Киров. E-mail: usr08476@vyatsu.ru

²кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологии деревообработки,
Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: olga_ru@vyatsu.ru

Аннотация. Ресурсосберегающие технологии – инновационное направление в области переработки. К рациональным направлениям использования древесных отходов относятся технологии изготовления изделий из древесно-композиционных материалов (далее ДКМ). Целью данного исследования является анализ направлений использования материалов на основе древесных отходов с учетом экологичности получаемых изделий. ДКМ могут быть применены в производстве сувенирной, декоративной продукции, в производстве мебели и столярно-строительных изделий. ДКМ на основе отходов деревообработки и нетоксичных связующих отвечает требованиям, предъявляемым к декоративным мебельным элементам, по показателям твердости, шероховатости и др. Невыразительная текстура изделий из ДКМ требует облагораживания с применением технологий декорирования. Проведен анализ существующих приемов декорирования поверхностей изделий из древесины и древесных материалов и предложены оптимальные варианты декорирования изделий и ДКМ, в частности облицовывание и роспись. Предложенные решения отвечают современным требованиям в области дизайна мебели.

Ключевые слова: переработка отходов, ресурсосберегающие технологии, древесно-композиционные материалы, декорирование фасадов.

Введение. В современной перерабатывающей промышленности акцент делается на применение технологий, которые направлены на регенеративное экологически чистое производство: обращение, потребление, утилизацию твердых отходов и создание новых продуктов из вторсырья. Данные подходы распространяются и на производство древесных материалов. Технологические процессы, связанные с проектированием и изготовлением новых современных материалов с улучшенными свойствами, такими как высокие показатели прочности, долговечности, влагостойкости и экологичности из древесных отходов, являются актуальными направлениями исследований в области переработки отходов древесины, так как стратегией современной экономики является переход к чистому производству и ресурсосберегающим технологиям.

Цель исследования. Целью данного исследования является анализ направлений использования материалов на основе отходов деревообработки.

Задачи исследования. В задачи исследования входило проведение анализа применения деталей из древесно-композиционных материалов на основе измельченной древесины, известных современных приемов декорирования поверхностей изделий из древесины и древесных материалов; обоснование применения деталей из древесно-композиционного материала, изготовленного на основе отходов деревообработки и нетоксичных связующих, в качестве декора фасадных поверхностей мебельных, столярно-строительных и других изделий.

Ведущий подход. В данной работе проведен анализ и обобщение известных направлений использования отходов деревообработки, проанализирована нормативная документация на материалы на основе измельченной древесины. На основе полученных данных классифицированы (систематизированы) свойства древесно-композиционных материалов и обоснован новый способ изготовления изделий из древесно-композиционных материалов на основе отходов деревообработки и нетоксичных связующих. Проведено сравнение известных рельефных и плоских видов декорирования, их современных аналогов, выявлены преимущества и недостатки каждого из способов и предложен новый способ декорирования фасадов с помощью деталей из древесно-композиционного материала.

Результаты исследований и их обсуждение. Наиболее распространены технологии переработки отходов в древесные плиты, строительные блоки, изделия из древесно-композиционных материалов, топливные пеллеты и брикеты.

Топливные пеллеты и брикеты – это биотопливо. В данном случае древесина, как ценный сырьевой ресурс, в итоге преобразуется в продукцию разового использования. С точки зрения регенеративного производства более рациональным использованием древесных отходов является производство древесных плит. Они находят широкое применение в мебельной и строительной промышленности, так как являются востребованными традиционными, универсальными материалами. В последнее время ужесточились экологические требования к плитным материалам, что вынуждает производителей совершенствовать технологию их производства, уменьшая содержание токсичных веществ [8, с. 51].

Другим направлением использования отходов деревообработки является изготовление сувенирной продукции из древесно-композиционных материалов на основе древесных опилок. Известны центры, где подобная технология применялась ранее. К примеру, в Днепропетровской области Украины в 80-х годах XX века изготавливались декоративные изделия с росписью. Прессованные детские игрушки изготавливались в г. Слободском Кировской области в 1980–90-х гг. на производственном объединении «Вятка», а также производили сувениры в Ковернинском районе Нижегородской области. Примерный состав пресс-массы: древесные опилки и нетоксичные связующие [7, с. 462].

В настоящее время ведется разработка технологии изготовления декоративных элементов из древесно-композиционных материалов на основе отходов деревообработки и нетоксичных связующих. Разрабатываются требования к древесно-композиционному материалу на основе анализа нормативной документации и стандартов на материалы на основе измельченной древесины. Для ДКМ применимы испытания как для композитов полимерных, так и для древесных плит и мебельных деталей по причине схожести показателей качества ДКМ с указанными группами изделий. В связи с этим требования, предъявляемые к испытываемым образцам ДКМ, разрабатывали исходя из следующих стандартов: ГОСТ 11368-89, ГОСТ 5689-79, ГОСТ 33345-2015, ГОСТ 32274-2013, ГОСТ 10633-2018 [2, с. 4; 5, с. 2; 4, с. 8; 3, с. 4; 1, с. 6]. К ним относятся, в частности, следующие показатели: твердость, шероховатость, ударная вязкость, плотность и др. Поэтому в производстве изделий из древесно-композиционных материалов нормируются две группы показателей: 1) для оценки качества древесно-клеевой смеси – фракционный состав, однородность, отсутствие посторонних примесей и др.; 2) для оценки готовых изделий – твердость, плотность, ударная вязкость, шероховатость, водопоглощение и др.

Подобные элементы могут быть использованы как самостоятельные художественные изделия, а также как детали для декорирования фасадных поверхностей столярно-строительных, мебельных и иных изделий. Невыразительная текстура изделий из ДКМ требует его облагораживания с применением технологий декорирования.

Одним из немаловажных эстетических показателей качества современной мебели является характер декоративно-художественной отделки, которая предусматривает оформление изделий при помощи декоративных средств. На данный момент существуют разнообразные виды декорирования фасадных поверхностей: за счет создания рельефных и плоских изображений. Их можно подразделить на следующие виды:

- орнаментальный декор, к которому относятся традиционные росписи, техника декалькомании, применение цифровой печати;
- рельефный декор, к которому относят различные виды резьбы, тиснение;
- наборный декор, который выполняется при помощи фигурных вставок из древесины, кости, рога, пластмассы, стекла, фарфора, керамики и других материалов.

Большое значение уделяется прогрессивным технологиям декорирования древесины и древесных материалов, которые позволяют снижать трудозатраты процесса формирования декора на изделиях, а также создавать аналоговые техники декоративной обработки древесины более эффективные и менее энергозатратные. К примеру, одним из популярных видов объемного декорирования является резьба. Она подразделяется на различные виды и техники исполнения: плосковыемчатая, рельефная, прорезная, скульптурная. Резьба применяется для декора сувениров, а также деталей мебели, выполненных в историческом стиле, и иных интерьерных предметов. Однако серийное производство резных изделий затруднительно, выполнение декора требует высокой квалификации резчика и особых инструментов, и невозможно для плитных материалов, таких как ДВП и ДСтП. Следовательно, данная технология дорогостояща и трудоемка применительно к современным условиям производства. Альтернативой резьбе могут выступать лазерная резка или тиснение, но и у них есть свои плюсы и минусы [6, с. 694].

Технология лазерной резки может имитировать элементы прорезной резьбы, усложнять их. Она может быть применима в серийном производстве, но требует дополнительной отделки, так как в процессе лазерной резки края рисунка на деталях обугливаются. Следует учитывать породу дерева, а для фанеры – вид клея и структуру шпона, так как изделия могут легко повреждаться.

Тиснение осуществляется путем прессования, при этом рельефный рисунок создается при помощи пуансона в результате деформации волокон древесины. Оно позволяет имитировать различные материалы: ткань, кожа, плетение. Однако к инструменту предъявляется ряд требований, обеспечивающих четкость рисунка. Качество декорирования напрямую зависит от скорости деформирования древесины, времени прессования, поэтому увеличиваются затраты по времени [7, с. 460].

Наборный декор – это техники декорирования, к которым относятся мозаика, интарсия, наборное фанерование, инкрустация, маркетри. Это очень трудоемкие техники, предназначенные для декорирования предметов мебели, деталей интерьера и иных предметов быта, выполненных в историческом стиле. Вариантами крепления деталей орнаментального набора к декорируемой поверхности являются наклеивание или врезание. Альтернативой этим трудоемким техникам является облицовывание декорируемых деталей шпоном или бумагой, пропитанной смолами, а также синтетическими пленками, которые применяются для имитации ценных пород дерева или иных материалов. Минусами облицовывания являются ограничение в выборе цветовой гаммы, рисунков и недолговечность покрытий.

Орнаментальный декор, к которому относится роспись изделий из древесины и древесных материалов, – оригинальный вариант декорирования. Он дает возможность вариативности при составлении рисунка или орнамента с учетом формы поверхности, для которой и создается композиция. К минусам данного способа можно отнести то, что выполнение росписи – это ручная работа, поэтому довольно трудоемкая, а качество отделки напрямую зависит от профессиональных умений мастера, умения владеть традиционными приемами кистевой росписи, а также от качества последующей обработки поверхности лакокрасочными материалами. К аналогам такого способа декорирования относятся: облицовка шпоном, бумагой, нанесение цветного изображения на поверхность при помощи цифровой печати, нанесение рисунков на изделия способом декалькомании. Декалькомания предполагает нанесение рисунков на изделия путем перевода рисунка, отпечатанного на бумаге, с калькомы на поверхность горячей напрессовкой.

Применение в декорировании фасадных поверхностей изделий объемных фигурных деталей из древесно-композиционного материала на основе древесных отходов может быть оправдано в современных условиях мебельного производства как аналог рельефного декора для имитации исторической мебели и для современных, модернистских дизайнерских подходов. Способ дает хорошую степень вариативности, направленной на повышение эстетической и художественной ценности изделий из древесины и древесных материалов и спроса на них.

Элемент из древесно-композиционного материала формируется путем горячего прессования из древесно-прессовочной массы, состоящей из древесных опилок и нетоксичных связующих. Готовый элемент крепится на фасад изделия. При необходимости совершенствования дизайнерских и технологических подходов возможна одновременная облицовка элемента с лицевой стороны декоративного изделия облицовочными материалами, а также может быть применена роспись.



Рис. 1. Вариант декоративного элемента из древесно-композиционного материала на основе древесных отходов

Выводы. Применение в производстве технологий по использованию отходов деревообработки, в том числе деталей сложной конфигурации из измельченной древесины, актуально и востребовано. Одним из рациональных направлений использования древесных отходов является способ изготовления изделий из древесно-композиционного материала. Его применение возможно в виде

декора в дизайне мебельного ансамбля или интерьера. Для повышения художественной ценности фасадных поверхностей изделий их подвергают декоративной обработке, применяя различные виды декорирования: создания рельефов, мозаики, окраски, росписи, облицовки материалами и т. п. При создании современных, модернистских дизайнерских подходов декорирование фасадных поверхностей с помощью объемных фигурных деталей из ДКМ может быть удачно вписано в современные условия мебельного производства как аналог рельефного декора.

Список литературы

1. ГОСТ 10633-2018. Плиты древесно-стружечные и древесно-волокнистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. М. : Стандартинформ, 2018. 14 с.
2. ГОСТ 11368-89. Массы древесные прессовочные. Технические условия. М. : Издательство стандартов, 1989. 24 с.
3. ГОСТ 32274-2013. Плиты древесные моноструктурные. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 12 с.
4. ГОСТ 33345-2015. Композиты полимерные. Производство пластин для изготовления образцов для испытаний. Общие технические требования. М. : Стандартинформ, 2015. 28 с.
5. ГОСТ 5689-79. Массы прессовочные фенольные. Технические условия. М. : Издательство стандартов, 1989. 24 с.
6. Паскарь В. С., Рублева О. А. Способы декорирования изделий из древесины // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : материалы всерос. ежегод. науч.-практ. конф., 2-28 апр. 2018. С. 693.
7. Рублева О. А., Паскарь В. С. Вопросы применения изделий из древесно-клеевых масс для декорирования фасадов изделий // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем : материалы междунар. науч.-практ. конф., 4-6 октября 2018 г. Воронеж, 2018. С. 458-465.
8. Хасанишин Р. Р. Обзор современных исследований по снижению токсичности древесно-клеевых материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 6. С. 51-53.

Directions of application of eco-friendly products from wood-composite materials based on wood waste

V. S. Paskar¹, O. A. Rubleva²

¹postgraduate student of the Department of machines and woodworking technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: usr08476@vyatsu.ru

²PhD of technical sciences, associate professor of the Department of machines and woodworking technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: olga_ru@vyatsu.ru

Abstract. Resource-saving technologies are an innovative direction in the field of wood processing. The rational directions of use of wood waste include manufacturing technology of products from wood-composite materials (hereinafter WCM). The purpose of this study is to analyze the use of materials based on wood waste, taking into account the environmental friendliness of the products. WCM can be applied in production of souvenir, decorative production, in production of furniture and joinery-construction products. WCM on the basis of wood waste and non-toxic binders meets the requirements for decorative furniture elements, in terms of hardness, roughness, etc. Inexpressive texture of products from WCM requires ennobling with the use of decoration technologies. The analysis of existing methods of decorating the surfaces of wood products and wood materials and proposed the best options for decorating products and WCM, in particular cladding and painting. The proposed solutions meet modern requirements in the field of furniture design.

Keywords: waste processing, resource-saving technologies, wood-composite materials, decoration of facades.

References

1. GOST 10633-2018. *Plity drevesno-struzhechnye i drevesno-voloknistye. Obshchie pravila podgotovki i provedeniya fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy* – GOST 10633-2018. Wood-chip and wood-fibrous slabs. General rules for the preparation and conduct of physical and mechanical tests. M. Standardinform. 2018. 14 p.
2. GOST 11368-89. *Massy drevesnye pressovochnye. Tekhnicheskie usloviya* – GOST 11368-89. Wood pressing masses. Technical conditions. M. Publishing house of standards. 1989. 24 p.
3. GOST 32274-2013. *Plity drevesnye monostrukturnye. Tekhnicheskie usloviya* – GOST 32274-2013. Wood monostructural slabs. Technical conditions. M. Standardinform. 2014. 12 p.
4. GOST 33345-2015. *Kompozity polimernye. Proizvodstvo plastin dlya izgotovleniya obrazcov dlya ispytaniy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* – GOST 33345-2015. Polymer composites. Production of slabs for the manufacture of samples for testing. General technical requirements. M. Standardinform. 2015. 28 p.
5. GOST 5689-79. *Massy pressovochnye fenol'nye. Tekhnicheskie usloviya* – GOST 5689-79. Phenolic molding mass. Technical conditions. M. Publishing house of standards. 1989. 24 p.

6. Paskar' V. S., Rubleva O. A. *Sposoby dekorirovaniya izdelij iz drevesiny* [Ways of decorating wood products] // *Obshchestvo. Nauka. Innovacii (NPK-2018) : materialy vsenos. ezhegod. nauch.-prakt. konf., 2-28 apr.* – Society. Science. Innovations (NPK-2018): materials of all-Russia yearly scient.-pract. conf., 2-28 Apr. 2018. P. 693.

7. Rubleva O. A., Paskar' V. S. *Voprosy primeneniya izdelij iz drevesno-kleevykh mass dlya dekorirovaniya fasadov izdelij* [Issues of application of products from wood-adhesive masses for the decoration of the facades products] // *Ekologicheskie i biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti i ustojchivosti prirodnih i iskusstvenno vozobnovlennykh lesnykh ekosistem : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 4-6 oktyabrya 2018* – Environmental and biological bases of improvement the productivity and sustainability of natural and artificially regenerated forest ecosystems: proceedings of the international. scient.-pract. conf. from 4 to 6 October 2018, Voronezh. 2018. Pp. 458–465.

8. Hasanshin R. R. *Obzor sovremennykh issledovaniy po snizheniyu toksichnosti drevesno-kleevykh materialov* [Review of modern research on reducing the toxicity of wood-glued materials] // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* – Herald of Kazan Technological University. 2014. No. 6. Pp. 51–53.

Advanced science

Научный журнал № 2(13) (2019)

16+

Научное издательство Вятского государственного университета,
610000, г. Киров, ул. Московская, 36
(8332) 208-964