

*Журнал «Научное обозрение.
Технические науки»
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440
ISSN 2500-0799*

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,270
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,242**

*Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 410056, Саратовская
область, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56*

**Founder, publisher and edition:
LLC SPC Academy of Natural History,
Post address: 105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address: 410056,
Saratov region, Saratov, V.I. Chapaev Street, 56**

*Подписано в печать 30.06.2022
Дата выхода номера 29.07.2022
Формат 60×90 1/8*

*Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, Саратовская область,
г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 30.06.2022
Release date 29.07.2022
Format 60×90 8.1**

**Typography
LLC SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov region,
Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Доронкина Е.Н.
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2022/3
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

**С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

**Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov**

**Редакционная коллегия (Editorial Board)
А.Н. Курзанов (A.N. Kurzanov)
Н.Ю. Стукова (N.Yu. Stukova)
М.Н. Бизенкова (M.N. Bizenkova)
Н.Е. Старчикова (N.E. Starchikova)
Т.В. Шнуровозова (T.V. Shnurovozova)**

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2022 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
статьи проблемного
и научно-практического характера***

***The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles***

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

СТАТЬИ

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЗАДАЧНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОРСТВА ТЕКСТА НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА КОНКУРЕНТНОГО ВНИМАНИЯ <i>Батурин М.М., Белов Ю.С.</i>	5
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СПОРТИВНЫХ ДИСЦИПЛИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАСКАДА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>Крутиков А.К., Клюкин В.Л., Подковырин В.Д.</i>	10
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ <i>Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С.</i>	15
УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПОРТФЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ <i>Медведев А.В.</i>	21
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ GUI <i>Сарычева Ю.Ю., Белов Ю.С.</i>	26
КРИТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО СТАРТЕРА-ГЕНЕРАТОРА <i>Уразбахтин Р.Р.</i>	31
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ДЕТЕКТОРА <i>Чулин К.В., Белов Ю.С.</i>	36
АВТОМАТИЗАЦИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СЕТЕВЫХ СТРУКТУР <i>Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Смирнов М.Е.</i>	42
МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ <i>Науменко Н.А., Соловьев Н.А.</i>	47
РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВУЗА, ПРОВОДИМОЙ В ДИСТАНЦИОННОМ РЕЖИМЕ <i>Фирсова С.А., Рябухина Е.А.</i>	52

CONTENTS

Technical sciences

ARTICLES

APPLICATION OF MULTITASK LEARNING TO DETERMINE TEXT AUTHORSHIP BASED ON MECHANISM OF COMPETITIVE ATTENTION	5
<i>Baturin M.M., Belov Yu.S.</i>	.....
SOLVING THE PROBLEM OF PREDICTING THE RESULTS OF INDIVIDUAL SPORTS DISCIPLINES USING A CASCADE OF NEURAL NETWORKS	10
<i>Krutikov A.K., Klyukin V.L., Podkovyrin V.D.</i>	.....
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A NEW GENERATION TECHNICAL MEANS FOR MEASURING THE MAIN OCEANOLOGICAL PARAMETERS OF THE MARINE ENVIRONMENT	15
¹ <i>Liskin V.A.</i> , ^{1,2} <i>Rimskiy-Korsakov N.A.</i> , ¹ <i>Russak Yu.S.</i>	.....
INVESTMENT PORTFOLIO MANAGEMENT BASED ON AN OPTIMIZATION MODEL FOR ASSESSING ITS EFFICIENCY	21
<i>Medvedev A.V.</i>	.....
BUILDING A TRAINING MODEL TO GENERATE TEST DATA FOR GUI TESTING	26
<i>Sarycheva Yu.Yu., Belov Yu.S.</i>	.....
CRITICAL OPERATION MODES OF THE INTEGRATED STARTER-GENERATOR	31
<i>Urazbakhtin R.R.</i>	.....
DEVELOPMENT OF A ROAD SIGN RECOGNITION SYSTEM BASED ON A SINGLE-STAGE DETECTOR	36
<i>Chulin K.V., Belov Yu.S.</i>	.....
NETWORK STRUCTURE TOPOLOGY VISUALIZATION AUTOMATION	42
<i>Ilichev V.Yu., Yurik E.A., Smirnov M.E.</i>	.....
ACOUSTIC NOISE MODELING FOR TECHNICAL CONDITION IDENTIFICATION KINEMATIC NODES	47
<i>Naumenko N.A., Solovev N.A.</i>	.....
DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A SOFTWARE AND INFORMATION SYSTEM FOR ACCOUNTING AND MONITORING THE ACADEMIC WORK OF A UNIVERSITY TEACHER CONDUCTED REMOTELY	52
<i>Firsova S.A., Ryabukhina E.A.</i>	.....

СТАТЬИ

УДК 004.89

**ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЗАДАЧНОГО ОБУЧЕНИЯ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОРСТВА ТЕКСТА
НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА КОНКУРЕНТНОГО ВНИМАНИЯ**

Батурин М.М., Белов Ю.С.

*ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
филиал, Калуга, e-mail: k4dys@yandex.ru*

В задачах определения авторства текста ключевую роль играет представление независимого от тематики произведения личного стиля автора. Таким образом, отделение содержания текста от стилистических особенностей письма автора является важной проблемой. Для решения этой проблемы зачастую используются мощные нереалистичные решения, либо вручную определённые параметры стиля текста. В этой статье предлагается применить многозадачное обучение, чтобы отделить тему текста от стиля автора. Цель предложенного подхода состоит в том, чтобы найти отдельные представления стиля и темы текста. Основной задачей является определение авторства текста, дополнительной задачей является аппроксимация темы. Применяемые для получения представлений тем модели обучаются на внешнем корпусе данных. В статье предложены механизмы конкурентного внимания и ограничения разделения-восстановления, при помощи которых двум задачам назначаются разные и конкурирующие между собой внимания, что способствует разделению темы и стиля. По результатам оценок подход, основанный на многозадачном обучении, является многообещающим, особенно при наборе данных с множеством пересекающихся тем. Предложенная модель разделяет тему и стиль вероятностным образом и не требует вмешательства человека.

Ключевые слова: определение авторства текста, аппроксимация темы текста, рекуррентные нейронные сети, конкурентное внимание

**APPLICATION OF MULTITASK LEARNING TO DETERMINE TEXT
AUTHORSHIP BASED ON MECHANISM OF COMPETITIVE ATTENTION**

Baturin M.M., Belov Yu.S.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga, e-mail: k4dys@yandex.ru

In the tasks of determining the authorship of a text, the presentation of the author's personal style, independent of the subject matter, plays a key role. Thus, separating the content of the text from the stylistic features of the author's writing is an important problem. To solve this problem, powerful unrealistic solutions are often used, or manually defined text style parameters. This article proposes to apply multi-task learning to separate the topic of the text from the style of the author. The goal of the proposed approach is to find separate representations of the style and theme of the text. The main task is to determine the authorship of the text, an additional task is to approximate the topic. The models used to obtain representations of topics are trained on an external data corpus. The article proposes the mechanisms of competitive attention and split-recovery constraints, by which two tasks are assigned different and competing attentions, which contributes to the separation of theme and style. Based on the results of the assessments, the multitasking learning approach is promising, especially for a dataset with many overlapping themes. The proposed model separates theme and style in a probabilistic way and does not require human intervention.

Keywords: text authorship attribution, approximation of the topic of the text, recurrent neural networks, competitive attention

Текст можно рассматривать как сочетание темы и стиля. Тема определяет содержание текста, а стиль отражает особый способ автора манипулировать словами. Основная идея этой статьи состоит в том, чтобы изучить отдельное представление темы и представление стиля для данного текста. В этом исследовании предлагается многозадачный подход для совместной оптимизации основной задачи – атрибуции авторства и вспомогательной задачи – аппроксимации темы.

В частности, задача аппроксимации темы состоит в том, чтобы создать представление темы для аппроксимации распределения темы текста. Распределение тем определяется независимыми от задачи моделями, которые обучаются на внешнем корпусе

текстов [1]. Таким образом, наша структура обеспечивает контроль для разделения стилей тем и не требует человеческого вмешательства для аннотирования данных.

Цель исследования – изучить способы определения авторства и аппроксимации темы текста.

*Механизмы конкурентного внимания
и ограничения разделения-восстановления*

Часть разделения стиля темы предназначена для создания распределенных представлений темы и стиля соответственно. Стилизовое представление используется для основной задачи: установления авторства, а тематическое – для вспомогательной задачи: аппроксимации темы.

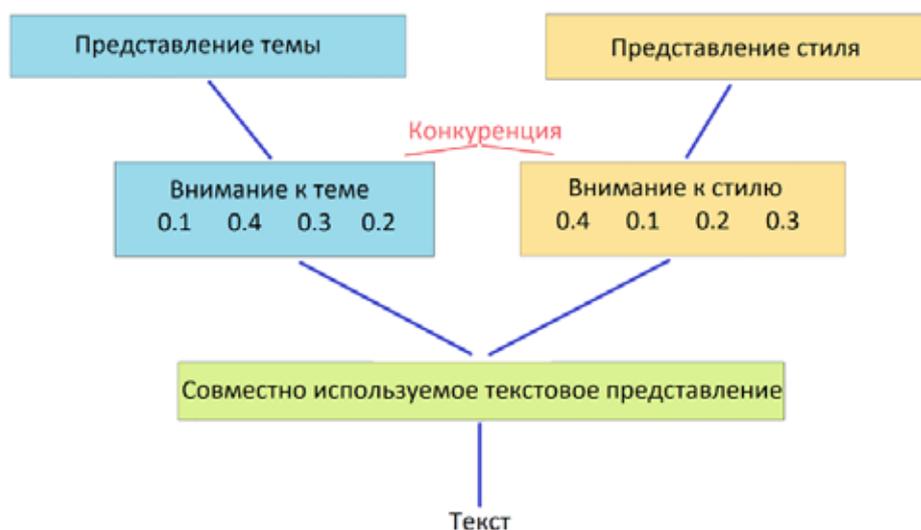


Рис. 1. Механизм конкурентного внимания

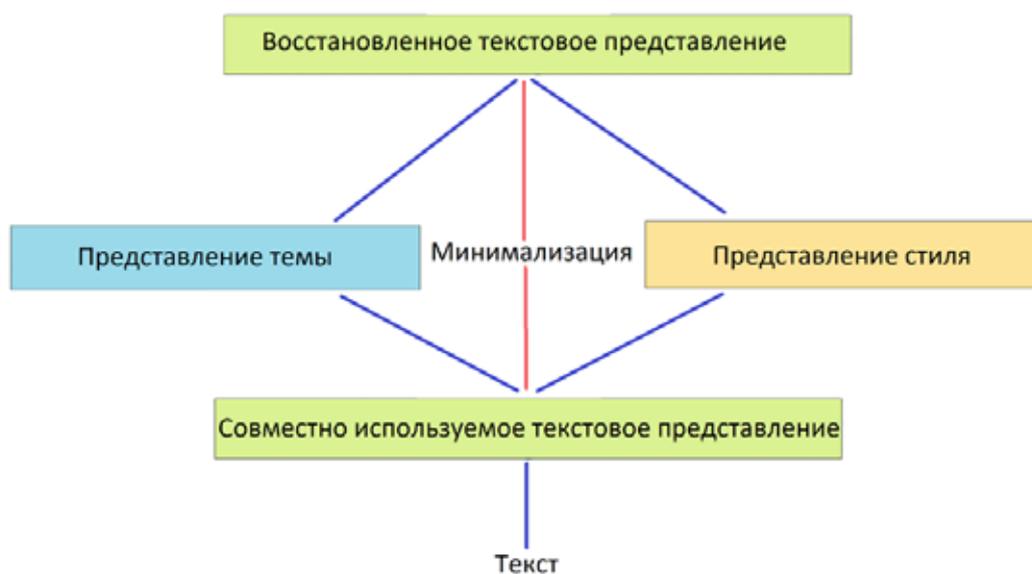


Рис. 2. Ограничение разделения-восстановления

Для достижения поставленных целей предлагаются две идеи: механизм конкурентного внимания и ограничение разделения-восстановления. Рисунки 1 и 2 иллюстрируют две идеи.

Конкурентное внимание – это расширение механизма внимания, который учится присваивать разные веса разным токенам. Здесь мы используем внимание, чтобы выделить общее текстовое представление, чтобы получить отдельные представления для темы и стиля. Если слову уделяется

большое внимание для одной задачи, ему будет отведено низкое внимание для другой задачи. Другими словами, два представления конкурируют за внимание каждого слова.

Ограничение разделения-восстановления вводит затраты на восстановление в дополнение к оптимизации двух вышеупомянутых задач. Ожидается, что представления темы и стиля могут реконструировать представление текста, чтобы сохранить исходное значение.

*Конкурентное внимание
для разделения темы и стиля*

Рекуррентная нейронная сеть (RNN) подходит для обработки последовательных данных и для захвата долгосрочных зависимостей. RNN используется в качестве базовой архитектуры в этой работе [2].

1) LSTM на основе внимания

Слова текста преобразуются во вложения слов, которые представляют собой плотные векторы действительных значений. Входной текст может быть представлен в виде матрицы

$$W = (w_1, \dots, w_n) \in R^{d \times n},$$

где d – размер встраивания, а n – количество токенов в тексте. В качестве основной ячейки памяти мы используем долговременную кратковременную память (LSTM). На временном шаге t LSTM берет скрытое состояние с предыдущего временного шага и встраивание слова с текущего шага в качестве входных данных и создает новое скрытое состояние [3].

$$h_t = LSTM(w_t, h_{t-1}) \quad (1)$$

Вся последовательность создает n скрытых состояний, представленных как $H = (h_1, \dots, h_n)$. Сначала мы получаем u_i , скрытое представление h_i , через многослойный персептрон (MLP).

$$u_i = \tanh(Mh_i + b) \quad (2)$$

Затем вводится контекстный вектор u_c для вычисления весов токенов.

$$\alpha_i = \frac{\exp(u_i^T u_c)}{\sum_i \exp(u_i^T u_c)}, \quad (3)$$

где u_c является общим для всех текстов и случайным образом инициализируется и обновляется во время обучения.

При векторе внимания $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ окончательное представление текста является взвешенной суммой скрытых состояний [4],

$$h^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i h_i \quad (4)$$

2) Конкурентное внимание

Стандартный механизм внимания подходит для получения единичного представления текста [5]. В нашем сценарии мы хотим получить два представления для темы и стиля соответственно. Наше решение состоит в том, чтобы использовать различное внимание к общему представлению, чтобы

получить представление для конкретной задачи. Мы вводим механизм конкурентного внимания, чтобы усилить конкуренцию между двумя представлениями.

Учитывая скрытые состояния $H = (h_1, \dots, h_n)$, конкурентные внимания представляют собой два вектора внимания $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ и $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)$ для вычисления представлений для задачи $T1$ и задачи $T2$. Сначала мы вычисляем α в соответствии со стандартным механизмом внимания [6]. S_α – отсортированные m ($1 \leq m \leq n$) различных значений α , $R\alpha = (r_1, \dots, r_n)$ – ранг α_i среди m значений. Для $1 \leq i \leq n$, пусть

$$\beta_i = \frac{S_\alpha [m+1-r_i]}{\sum_{j=1}^n S_\alpha [m+1-r_j]}.$$

Окончательные представления для $T1$ и $T2$:

$$h_1^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i h_i,$$

$$h_2^* = \sum_{i=1}^n \beta_i h_i.$$

Ограничение разделения-восстановления

Теперь у нас есть отдельные представления по теме и стилю. Мы надеемся, что разделение не изменит смысла. Поэтому мы используем ограничение разделения-восстановления и ожидаем, что исходное представление может быть восстановлено с помощью представления темы и представления стиля [7].

1) Оригинальное представление

Объединяем скрытые представления $H = (h_1, \dots, h_n)$, чтобы получить вектор h_1 размерности $d \times n$ в качестве исходного представления текста.

2) Скрытые представления

Мы используем представление темы h_{topic}^* и представление стиля h_{style}^* , созданное конкурентным вниманием, в качестве скрытых представлений.

3) Реконструированное представление h_{topic}^* и h_{style}^* объединяются, а затем сопоставляются с вектором $d \times n$, чтобы получить реконструированное представление h_r , т. е. $h_r = M' [h_{topic}^*, h_{style}^*] + b'$.

4) Потеря восстановления

Сначала мы вычисляем манхэттенское расстояние D между h_r и h_1 . Затем вычисляем потери

$$L = 1 - \frac{1}{1+D}, L \in [0, 1].$$

*Многозадачное обучение
для установления авторства*

Мы формулируем атрибуцию авторства с помощью многозадачного подхода к обучению на основе представления темы h_{topic}^* и представления стиля h_{style}^* .

1) Основная задача: установление авторства

Мы используем h_{style}^* для указания авторства. h_{style}^* подключается к слою *softmax*, чтобы получить распределение по кандидатам в авторы. Перекрестная энтропия используется в качестве функции потерь для классификации.

2) Вспомогательное задание: приближение темы

Учитывая текст, мы используем предварительно обученную модель, чтобы вывести его распределение тем θ по K темам. Тематическая модель основана на модели LDA, но с фоновой моделью для захвата общих слов, так что извлеченные темы обычно присваивают более высокие вероятности содержательным словам.

Полносвязная сеть используется для сопоставления h_{topic}^* с вектором измерения K , а затем этот вектор нормализуется с помощью слоя *softmax*, чтобы получить приближенное распределение тем θ' . Функция потерь для этой задачи представляет собой перекрестную энтропию между θ и θ' .

*Практическая оценка
предложенной модели*

Эксперимент проводится на наборе данных IMDb62, который содержит 62 000 рецензий на фильмы от 62 авторов, у каждого из которых по 1000 рецензий. Набор случайным образом разделён на обучающую выборку (80%) и тестовую выборку (20%).

Для проверки способности противостоять влиянию тем было выбрано подмножество экземпляров из тестового набора, обозначенное как IMDb62-Hard. Специфика набора заключается в том, что у каждого автора есть не более одной рецензии на один

фильм. Обзоры в тестовом наборе были выбраны таким образом, чтобы прокомментированные фильмы появились и в обучающем наборе, но были прокомментированы другими пользователями, чтобы этот тестовый набор данных был более сложным по сравнению со всем тестом. Таким образом, у нас есть 6000 тестовых обзоров.

Как видно из таблицы 1, улучшения на IMDb62 и IMDb62-Hard небольшие. Основная причина состоит в том, что все тексты имеют сходную тематику. Большинство обзоров концентрируются на таких аспектах, как актеры/актрисы/режиссеры, сюжеты, музыка и личные чувства. Это не очень хорошая межтематическая настройка. Помимо языковых стилей, личные интересы авторов, например особые предпочтения в отношении некоторых режиссеров или жанров фильмов, служат сигналами для их различения.

Определение темы

В табл. 2 показаны наиболее вероятные темы, основные слова темы и внимание к теме на уровне токенов для образца текста в IMDb62. Текст имеет высокие вероятности по теме 96 ($P = 0,46$), теме 18 ($P = 0,29$) и теме 10 ($P = 0,1$) среди изученных тематических моделей. Под словами темы показаны весовые коэффициенты внимания к теме на токенах, основанные на механизме конкурентного внимания.

Из таблицы видно, что слова с высоким весом внимания темы также имеют более высокие вероятности в показанных языковых моделях темы, таких как шоу, музыка, телевидение. Это указывает на то, что аппроксимация темы успешно направляет представление темы к распределению темы текста.

С другой стороны, мы видим токены с малым весом внимания к теме. Многие из них являются общеупотребительными служебными словами. Некоторые распространенные глаголы, такие как like, be и местоимения, также имеют низкий вес внимания к теме. Эти слова не зависят от темы, но могут в некоторой степени отражать личный стиль.

Таблица 1

Сравнение точности определения авторства различных моделей

Модель	IMDb62	IMDb62-Hard
CNN-CharNgrams [8]	90,66%	90,59%
CNN-WordPOS [9]	90,84%	90,72%
Конкурентное внимание	91,35%	91,09%
Конкурентное внимание + разделение-восстановление	91,81%	91,51%

Таблица 2

Наиболее вероятные темы и слова, характерные для данной темы

Тема 96 (P = 0,46)		Тема 18 (P = 0,29)		Тема 10 (P = 0,10)		Тема 103 (P = 0,023)	
film	0,017	music	0,014	new	0,005	show	0,010
series	0,012	album	0,013	one	0,005	time	0,008
episode	0,006	band	0,011	would	0,004	channel	0,006
story	0,006	film	0,010	later	0,004	soap	0,006
show	0,005	song	0,008	said	0,003	new	0,005

Заклучение

В этой статье представлен многозадачный подход к обучению для разделения стилей темы для определения авторства, предложены механизмы конкурентного внимания и ограничение разделения-восстановления для разделения темы и стиля. Ожидается, что метод многозадачного обучения, основанный на аппроксимации темы, будет особенно эффективен в межтематических условиях, однако он позволяет лучше определять авторство даже на специфическом наборе данных, с незначительной вариативностью тем. Предложенная модель так же способна эффективно различать формальный и неформальный стили речи, что способствует более точному определению темы текста.

Список литературы

1. Soler J., Wanner L. On the relevance of syntactic and discourse features for author profiling and identification. Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Vol. 2. Short Papers. 2017. P. 681–687.
2. Gómez-Adorno H., Posadas-Durán J.P., Sidorov G. Document embeddings learned on various types of n-grams for cross-topic authorship attribution. Computing. 2018. P. 1–16.

3. Батурин М.М., Белов Ю.С. Использование сверточных, рекуррентно-сверточных нейронных сетей и метода опорных векторов для определения авторства текста // Научные исследования в современном мире. Теория и практика: сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. СПб., 2022. С. 47–49.

4. Zhang R., Hu Z., Guo H. Syntax encoding with application in authorship attribution. Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2018. P. 2742–2753.

5. Sundararajan K., Woodard D. What represents ‘style’ authorship attribution? Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics. 2018. P. 2814–2822.

6. Батурин М.М., Белов Ю.С. Использование сверточных нейронных сетей, долгой краткосрочной памяти и оценок внимания для различения авторства текста // E-Scio [Электронный ресурс]. URL: <http://e-scio.ru/wp-content/uploads/2022/01/Батурин-М.-М.-Белов-Ю.-С.pdf> (дата обращения: 23.05.2022).

7. Shen T., Lei T., Barzilay R. Style transfer from nonparallel text by cross-alignment. Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems 30. 2017. P. 6833–6844.

8. Shrestha P., Sierra S., González F. Convolutional Neural Networks for Authorship Attribution of Short Texts. Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Vol. 2. Short Papers. 2017. P. 669–674.

9. Stamatatos E. Authorship Attribution Using Text Distortion. Proceedings of the 15th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Vol. 1. Long Papers. 2017. P. 1138–1149.

УДК 004.89

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СПОРТИВНЫХ ДИСЦИПЛИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАСКАДА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Крутиков А.К., Клюкин В.Л., Подковырин В.Д.

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Киров,
e-mail: yadrodisk@yandex.ru, klyukin@vyatsu.ru, usr00321@vyatsu.ru

В данной работе описывается прогнозирование результата в индивидуальной легкоатлетической дисциплине «Толкание ядра» с использованием отдельной обобщенно-регрессионной сети и каскада сетей данной модели. В основе построения каскада лежит внутренняя зависимость, которую возможно выделить при анализе данных, собранных для формирования обучающих выборок. Для обучения отдельной сети формируется одна выборка, для обучения каскада сформировано пять выборок. Кратко описан процесс формирования обучающих выборок, приведены зависимость между сформированными датасетами, структурная схема предлагаемого каскада обобщенно-регрессионных сетей. Описываются ход эксперимента, основные сложности, которые возникли при проведении эксперимента. Результаты прогнозирования оцениваются ошибкой обобщения в метрике средней абсолютной ошибки. Данные ошибок обобщения приведены в таблице в зависимости от целевой ошибки, с которой обучены сети. Произведен анализ данных, анализ времени обучения. Даны рекомендации по использованию каскада в прогнозировании результатов индивидуальных спортивных дисциплин. Рассматривается вопрос разработки системы с учетом автоматического формирования и структурирования обучающей выборки для формирования структуры каскада. Оценивается использование каскада нейронных сетей как инструмента прогнозирования спортивных результатов, в частности в дисциплинах легкой атлетики.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, прогноз, спортивный результат, нейрон, прогнозирование, алгоритм обучения, обучающая выборка, обобщенно-регрессионная нейронная сеть, каскадная структура, каскад, индивидуальные виды спорта

SOLVING THE PROBLEM OF PREDICTING THE RESULTS OF INDIVIDUAL SPORTS DISCIPLINES USING A CASCADE OF NEURAL NETWORKS

Krutikov A.K., Klyukin V.L., Podkovyirin V.D.

Vyatka state university, Kirov, e-mail: yadrodisk@yandex.ru, klyukin@vyatsu.ru, usr00321@vyatsu.ru

This paper describes the prediction of the result in the individual athletics discipline «Shot put» using a separate generalized regression network and a cascade of networks of this model. The construction of the cascade is based on an internal dependence, which can be identified when analyzing the data collected for the formation of training samples. One sample is formed for training a separate network, five samples are formed for training a cascade. The process of forming training samples is briefly described, the dependence between the formed datasets is given, the block diagram of the proposed cascade of generalized regression networks is presented. Describes the course of the experiment, the main difficulties that arose during the experiment. The prediction results are estimated by the generalization error in the metric of the average absolute error. Depending on the target error with which the networks are trained, the generalization error data is given in the table. Data analysis and analysis of training time were performed. Recommendations on the use of the cascade in predicting the results of individual sports disciplines are given. The issue of developing a system taking into account the automatic formation and structuring of the training sample for the formation of the cascade structure is considered. The use of a cascade of neural networks as a tool for predicting sports results, in particular in athletics disciplines, is evaluated.

Keywords: artificial neural network, prediction, sports result, neuron, prediction, learning algorithm, training sample, generalized regression neural network, cascade structure, cascade, individual sports

Индивидуальные спортивные дисциплины предполагают выступление одного спортсмена, оценку его результатов и подведение итогов спортивного состязания в соответствии с показанными атлетом результатами. К индивидуальным спортивным дисциплинам относят такие виды спорта, как легкая атлетика, плавание, велоспорт, тяжелая атлетика, современное пятиборье, бокс, теннис и т.п. Индивидуальные виды спорта входят в программу Олимпийских игр, программу Паралимпийских игр, программу чемпионатов мира, континентов, отдельных стран и содружеств стран [1].

Результаты прогнозов в индивидуальных спортивных дисциплинах могут быть использованы в текущей подготовке спортсменов и сборных команд по видам спорта, для корректировки тренировочных программ, медальных и индивидуальных планов.

Прогнозирование в индивидуальных видах спорта заключается в решении задачи аппроксимации функции от набора параметров, где аргументами функции являются исходные параметры для прогноза, а результатом работы функции – результат прогноза. Для реализации прогноза в данной работе используется структурная модель

прогнозирования на основе искусственных нейронных сетей [2, 3]. В данной работе идет речь о тех видах спорта, где результат оценивается в виде некоторого числа, как правило, действительного, выраженного в виде десятичной дроби. В частности, в данной работе рассматриваются легкоатлетические дисциплины [4].

Целями проводимых исследований являются оптимизация и повышение точности процесса прогнозирования и планирования индивидуальной спортивной подготовки путем прогнозирования спортивных результатов с использованием каскада искусственных нейронных сетей (ИНС).

Материалы и методы исследования

В предыдущих работах авторов [5] описывается прогнозирование результатов в легкоатлетических дисциплинах с использованием отдельных моделей нейронных сетей, таких как каскадная сеть, обобщенно-регрессионная сеть (GRNN), сети прямого распространения (FNN). Обучающая выборка составляется на основе имеющихся параметров, к которым могут относиться те параметры спортсмена, которые выделяют специалисты по данному виду спорта. К параметрам обучающей выборки могут относиться контрольно-тестовые показатели за период, результаты предыдущих выступлений, погодные и фармакологические параметры, векторизованные данные, основанные на мнении экспертов.

В данной работе в качестве объекта прогнозирования рассматривается результат в легкоатлетической дисциплине «Толкание ядра». В качестве обучающей выборки рассматриваются контрольно-тестовые параметры, силовые, скоростные, технические параметры, собранные по временным периодам. Для каждого временного периода

составлен вектор из данных параметров. Результатом прогноза является результат атлета данной дисциплины.

Обобщенно-регрессионная нейронная сеть (GRNN) является разновидностью сетей с радиальными функциями. Данная сеть основана на непараметрической регрессии [6]. Первый слой сети полностью состоит из нейронов, функцией активации у которых является радиальная функция. Такие нейроны называют радиальными элементами. Второй слой содержит элементы, которые помогают оценить взвешенное среднее. При обучении GRNN-сетей сначала настраиваются центры базисных функций, затем с фиксированными параметрами радиальных нейронов обучается выходной слой.

Существенный недостаток сети – размерность радиального слоя, соответствующая количеству наблюдений (векторов) в обучающей выборке.

Фрагмент обучающей выборки приведен на рисунке 1. Результат прогнозирования с использованием данной выборки описан в работе [7], где структурной моделью прогнозирования является GRNN-сеть, разработанная в среде MATLAB.

Рассматривая обучающую выборку, содержащую в каждом векторе более 10 параметров, можно заметить, что параметры могут быть логически разбиты на группы. Например, контрольные результаты жима лежа, приседаний могут быть отнесены к набору силовых параметров, результаты прыжка и рывка – к скоростно-силовым, отдельные наборы составляют технические, скоростные и фармакологические параметры. В данной выборке не учитываются погодные параметры и параметры экспертов, однако потенциально данные параметры могут учитываться, но, в частности, данные экспертов необходимо векторизовать и нормализовать.

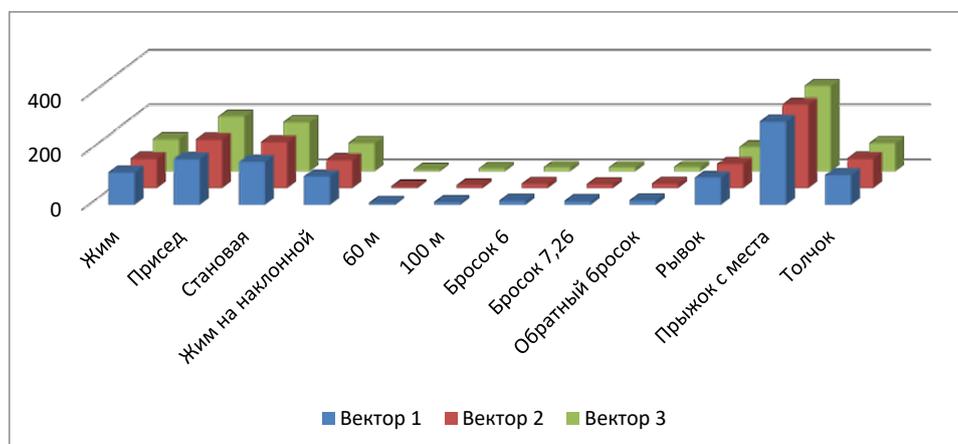


Рис. 1. Фрагмент обучающей выборки

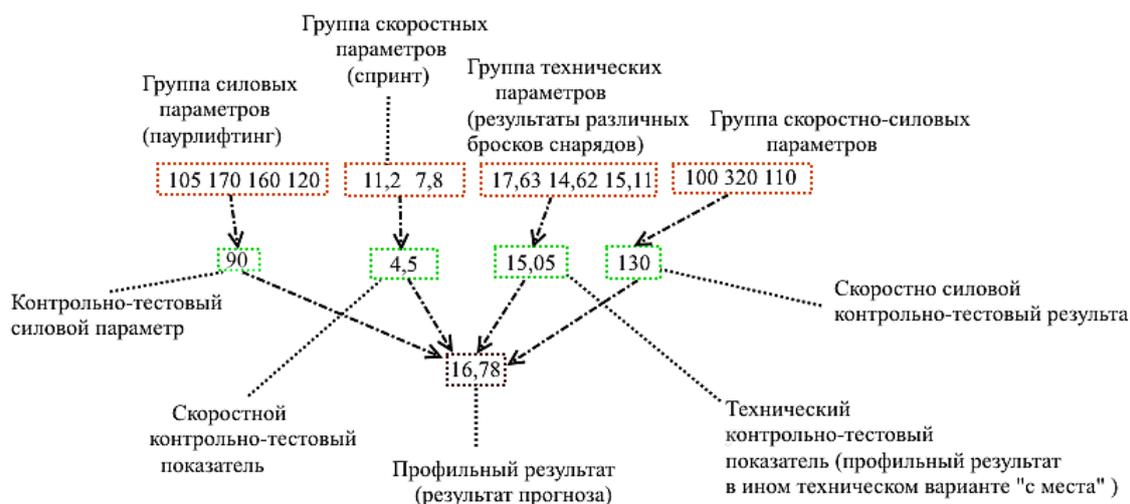


Рис. 2. Зависимости между обучающими выборками

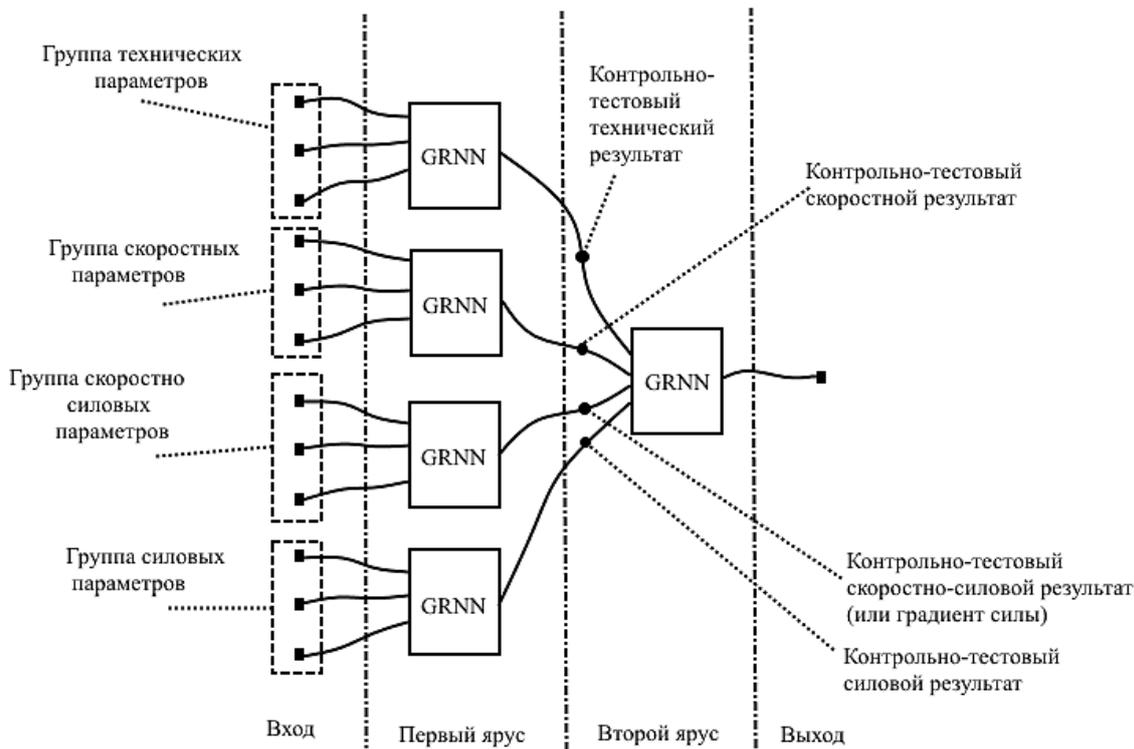


Рис. 3. Каскад GRNN-сетей

Структурно зависимости в обучающих выборках, рассматриваемые в данной работе и входящие в основу построения каскада сетей, представлены на рисунке 2. Зависимости контрольно-тестовых параметров второго яруса от групп параметров первого яруса должны определяться экспертами. Выборки (5 шт.) составляются заранее, модули каскада тоже обучаются заранее. По-

сле обучения модули включаются в каскад. Имеется возможность включения и исключения модулей при изменении структуры фрагментированной выборки, изменения количества фрагментов выборки или элементов обучающего вектора. Для обучения первого яруса каскада сетей используются четыре выборки соответственно четырем группам параметров, результирующими

векторами будут отдельно выбранные контрольно-тестовые параметры. Для обучения второго яруса каскада составляется обучающая выборка из ключевых контрольно-тестовых параметров (результаты бега на 30 м, взятия штанги на грудь, толкания снаряда без разгона и жима штанги стоя), число параметров в векторе соответствует числу групп. Необходима фактическая и логическая зависимость контрольно-тестовых показателей от параметров выбранных групп, что должно определяться экспертами, в данном случае по выбранной спортивной дисциплине.

Предлагаемый в данной работе каскад приведен на рисунке 3. В качестве базовой модели для модулей каскада выбрана модель GRNN сети [8]. При поступлении данных для получения прогноза первый ярус сформирует промежуточный прогноз ключевых контрольно-тестовых параметров, которые, в свою очередь, поступят на вход второго яруса. На их основе будет сформирован прогноз профильного результата в дисциплине «Толкание ядра». Результат является вещественным числом, в виде десятичной дроби.

Для обобщенно-регрессионной сети в качестве настраиваемого параметра в данной работе рассматривается целевая ошибка, структура сети изменяется в зависимости от количества векторов в обучающей выборке, в данном случае количество векторов соответствует наблюдаемым периодам (более 300). При построении каскада, в отличие от одной сети, количество нейронов будет в пять раз больше (суммарно каскад содержит пять модулей, количество векторов в выборках будет одинаковым). Время обучения каскада превышает время обучения отдельной сети и оценивается эмпирически в разделе «Результаты экспериментов».

При необходимости данные, поступающие на первый ярус, возможно передавать напрямую на второй ярус, дополнительно к выходным параметрам первого яруса (например, если необходимо будет добавить отдельные погодные или фармакологические параметры).

Предлагаемая модель каскада смоделирована в среде MATLAB, полученные модели занимают не более 4 Мб на жестком диске.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве метрики оценки точности прогнозирования взята ошибка обобщения, при этом самой метрикой является средняя абсолютная ошибка (MAE), которая рассчитывается как сумма модулей разности

эталона и фактического значения, поделенная на количество наблюдений. Для расчета ошибки обобщения используется тестовая выборка, по своей структуре аналогичная обучающей выборке.

Нейронная сеть и каскад обучены с использованием разработанных ранее выборок. Результаты эксперимента приведены в таблице.

Результат эксперимента

Целевая ошибка	MAE (GRNN-сеть)	MAE (Каскад)
0,0001	0,42	0,37
0,001	0,44	0,37
0,01	0,44	0,37
0,1	0,45	0,37
1	0,63	0,56
10	1,11	1,78
100	2,74	2,61
1000	3,89	3,93

В результате эксперимента видно, что ошибка обобщения каскада незначительно меньше ошибки обобщения отдельной сети. В данном случае не применялись другие модели нейронных сетей, сеть обобщенной регрессии использована с изменением параметра целевой ошибки. Сети, используемые в каскаде, на каждом этапе эксперимента имели одинаковую целевую ошибку обучения. Целевая ошибка значением более 10 приводит к увеличению ошибки обучения и обобщения, понижению точности результата прогнозирования.

Уменьшение целевой ошибки приводит к уменьшению ошибок обучения и обобщения, увеличению точности прогнозирования. В отдельных случаях, когда такого увеличения точности будет достаточно, использование каскада имеет смысл.

Среднее время обучения отдельной сети составило 0,63 сек., среднее время обучения каскада сетей – 2,34 сек.

Заключение

Применение средств ИТ и ИИ при прогнозировании событий разного временного горизонта – перспективное направление. Корректность составляемых обучающих выборок напрямую влияет на результат прогноза. Предобработка выборки и нормализация частично решают проблему некорректной выборки при разбросе наборов параметров или отсутствии отдельных значений.

Применение каскада нейросетевых модулей позволит проводить лишь частичную нормализацию выборки там, где это необхо-

димо, разбивая данные на фрагменты и обрабатывая отдельный фрагмент. Динамическое формирование прогнозоформирующих предикторов между ярусами позволяет использовать при прогнозировании новые параметры, ранее недоступные в выборке, при этом не изменяя выборки для первого яруса каскада.

Программный прототип системы на основе каскада нейросетевых модулей тестируется на различных обучающих выборках, результаты показывают незначительное уменьшение ошибки обобщения и коррекцию результатов прогноза при использовании каскада в правильную сторону. Часть экспериментов направлена на выявление ключевых параметров, оказывающих влияние на результат прогноза. Исключение лишних параметров выборки позволит уменьшить время обучения и структуру каскада.

Каскад обобщенно-регрессионных нейронных сетей повышает точность прогнозирования при оценке ошибки обобщения метрикой MAE. Необходимость повышения точности прогнозирования может быть востребована при близких итоговых результатах соревнующихся атлетов. Высокая точность имеет смысл при незначительном отличии результатов (сантиметры и десятки сантиметров в дисциплине, описываемой в статье).

При явном отличии результатов (явном преимуществе одного из соперников) малое повышение точности путем каскадирования не будет иметь смысла. Повышение времени обучения при каскадировании необходимо оценивать с точки зрения временного периода прогноза.

На основе каскада нейросетевых модулей для решения задач прогнозирования разрабатываются архитектура и структура системы. В данный момент при проведении экспериментов конкретная обучающая выборка формируется и структурируется специалистами, проводящими конкретный эксперимент. При разработке структуры

и архитектуры системы следует учесть наличие модуля, производящего автоматический сбор и структурирование обучающих данных, а также модуля, формирующего нейросетевую каскад.

На данный момент продолжают эксперименты в различных спортивных видах и дисциплинах. Используются различные простые модели нейронных сетей, отличающиеся по структуре обучающие выборки, различные алгоритмы обучения для отдельных модулей нейросетевого каскада. Условление отдельных модулей и предложенной структуры в целом с целью повышения точности прогноза приводит к увеличению времени работы системы. Эксперименты показывают, что систему в данный момент корректно использовать при среднесрочном и долгосрочном прогнозировании событий.

Список литературы

1. Паралимпийский комитет России [Электронный ресурс]. URL: <https://paralymp.ru/> (дата обращения 05.05.2022).
2. Филатова Т.В. Применение нейронных сетей для аппроксимации данных // Вестник Томского государственного университета. 2004. № 284. С. 121-125.
3. Dimitrova L., Petkova K., Bayesian network-based causal analysis of injury risk in elite rhythmic gymnastics. International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE). 2014. № 2(1). P. 50–61.
4. Жилкин А.И., Кузьмин В.С., Сидорчук Е.В. Легкая атлетика: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 464 с.
5. Крутиков А.К., Мельцов В.Ю., Подковырин В.Д. Разработка и модификация модульной структуры системы прогнозирования спортивных результатов // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11-1. С. 72-76.
6. Li-Na H., Jing-Chang N. Researches on grnn neural network in rf nonlinear systems modeling. Computational Problem-Solving (ICCP), 2011 International Conference on. IEEE. 2011. P. 1–4.
7. Крутиков А.К. Прогнозирование спортивных результатов в индивидуальных видах спорта с помощью обобщенно-регрессионной нейронной сети // Молодой ученый. 2018. № 12. С. 22-26.
8. Андреев П.Г., Андреева Т.В., Юрков Н.К. Использование искусственной нейронной сети типа GRNN в задачах прогнозирования // XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2017) (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.): сб. докл. СПб., 2017. С. 63-66.

УДК 551.46.09

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ

¹Лискин В.А., ^{1,2}Римский-Корсаков Н.А., ¹Руссак Ю.С.

¹ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Москва,
e-mail: nrk@ocean.ru

Мировое океанологическое приборостроение создало целую гамму измерителей гидрофизических параметров морской воды, среди которых отметим основные параметры, а именно давление, температуру, электропроводность, с возможным доукомплектованием их датчиками расширенного ряда гидрофизических и гидрохимических параметров, а также гидрологических (скорость и направление течений). Из всего многообразия методов измерения океанологических параметров наиболее эффективным остается метод измерения *in situ*, т.е. измерения океанологических параметров в реальном времени, в том числе с помощью зондирующих приборов. Одним из наиболее важных параметров морской воды является растворенный кислород, который в связанном виде входит в ее состав. Присутствие кислорода в морской среде необходимо для осуществления жизненно важных окислительных процессов. Содержание и характер его распределения в водных массах может служить показателем интенсивности биохимических и окислительно-восстановительных процессов. Использование в составе комплекса измерителей специального аппаратного модуля предварительной обработки, выполненного на базе современных микропотребляющих процессоров, позволяет осуществлять предварительную обработку в реальном времени данных, получаемых с разнообразных датчиков. Управляющие программы основного блока состоят из подпрограмм, управляющих аппаратными средствами, включающих модули чтения-записи энергонезависимой памяти, модули чтения данных аналого-цифровых преобразователей, а также программы обмена данными по последовательным линиям связи между устройствами. Комплекс программного обеспечения, реализуется на базе современных средств разработки и отладки программного обеспечения, что позволяют программировать алгоритмы сбора и обработки данных на языках высокого уровня.

Ключевые слова: измерители, океанологические, параметры, процессоры, зондирующие, комплексы

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A NEW GENERATION TECHNICAL MEANS FOR MEASURING THE MAIN OCEANOLOGICAL PARAMETERS OF THE MARINE ENVIRONMENT

¹Liskin V.A., ^{1,2}Rimskiy-Korsakov N.A., ¹Russak Yu.S.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru

World oceanological instrumentation has created a whole range of meters for measuring the hydrophysical parameters of sea water, among which we note the main parameters, namely: pressure, temperature, electrical conductivity, with the possibility of supplementing them with sensors for an extended range of hydrophysical and hydrochemical parameters, as well as hydrological (speed and direction of currents). Of all the variety of methods for measuring oceanological parameters, the method of *in situ* measurement remains the most effective, i.e. measurements of oceanological parameters in real time, including with the help of sounding instruments. One of the most important parameters of sea water is dissolved oxygen, which is included in its composition in a bound form. The presence of oxygen in the marine environment is necessary for the implementation of vital oxidative processes. The content and nature of its distribution in water masses can serve as an indicator of the intensity of biochemical and redox processes. The use of a special hardware pre-processing module as part of the complex of meters, based on modern micro-consuming processors, allows real-time pre-processing of data received from various sensors. The control programs of the main unit consist of subroutines that control hardware, including read-write modules of non-volatile memory, data read modules of analog-to-digital converters, as well as programs for exchanging data via serial communication lines between devices. The software complex is implemented on the basis of modern software development and debugging tools, which allow programming algorithms for collecting and processing data in high-level languages.

Keywords: gauges, oceanological, parameters, processors, probing, complexes

Мировое океанологическое приборостроение создало целую гамму измерителей гидрофизических параметров морской воды, среди которых отметим основные, а именно давление, температуру, электропроводность, с возможным доукомплектованием их датчиками расширенного ряда

гидрофизических и гидрохимических параметров, а также гидрологических (скорость и направление течения). Наиболее современными приборами, используемыми в практике океанологических исследований, являются измерительные системы ряда известных западных фирм, например

SeaBird Electronics, Inc. General Oceanics, Inc / G.O. Environmental, Inc. В настоящее время ведутся разработки нового поколения океанологических зондов и станций, для измерения гидрохимических и гидрофизических параметров морской среды, а также ведения мониторинга параметров среды с использованием энергосберегающих технологий и гидроакустической телеметрии измеренных параметров. Это особенно важно в условиях возрастающих требований к пространственному изучению изменчивости гидрофизической обстановки и гидрохимических параметров среды в акваториях Мирового океана.

Материалы и методы исследования

Наиболее эффективным из всего многообразия методов измерений основных океанологических параметров (уже упомянутых температуры, электропроводности, гидростатического давления, а также содержания химических элементов) остается метод измерения *in situ*, т.е. измерения океанологических параметров в реальном времени, в том числе с помощью зондирующих приборов. Океанологические зонды представляют собой приборы с набором разнообразных датчиков, объединенных с системой сбора и обработки, построенных, как правило, на базе современных микропроцессорных средств и расположенных в едином корпусе прибора. Современные микроэлектронные технологии позволяют создать надежную и компактную систему обработки и накопления измеренных гидрофизических данных на базе микропотребляющих процессоров и запоминающих устройств непосредственно в процессе измерений. Предлагаемая система сбора и обработки данных выполняется на базе современных микрокомпьютерных средств и включает средства измерения аналоговых данных, а также реализованные на энергонезависимых средствах памяти запоминающие устройства. Блок измерения гидрофизических данных, получаемых с датчиков в аналоговом виде, построен на базе 24-разрядного S-D аналого-цифрового преобразователя и обеспечивает необходимую точность измерения базовых параметров среды (температуры, давления и электропроводности). При этом для измерения расширенного диапазона разнообразных специфических океанологических параметров используются специализированные дополнительные устройства (модули), ориентированные на различные типы датчиков, диапазоны измерений и требуемые точности представления данных.

Результаты исследования и их обсуждение

Измерители океанологических параметров

В основе современных измерителей удельной электропроводности, температуры, гидростатического давления и кислорода лежит преобразование этих параметров в электрический сигнал, а затем в цифровой код. Цифровой код – наиболее удобный вид представления данных для передачи по подводным линиям связи, дальнейшей их регистрации с помощью современных накопителей информации и последующей обработки. Чувствительные элементы, измерительные и цифровые преобразователи довольно разнообразны как по принципу работы, так и по конструктивному исполнению. Наиболее общими требованиями, предъявляемыми к ним, являются высокие точностные показатели, (на настоящее время это: погрешности измерения температуры – 0,001°C, удельной электропроводности – 0,001 мСм/см, гидростатического давления 1 кПа, кислорода 0,05 ‰), возможность без искажений передавать изменчивость измеряемых параметров частотой десятков герц. Обеспечивается стойкость чувствительных элементов к воздействию давлений до 60 Мпа, а также коррозионная стойкость в морской воде [1, 2].

Измерители солености (электропроводности)

Для измерения солености морской воды был разработан датчик измерения электропроводности, в котором применен апробированный индуктивный способ измерения удельной электропроводности раствора (электролита), основанный на принципе электромагнитной индукции. Измеренная удельная электропроводность морской воды, в свою очередь, связана известным соотношением с соленостью раствора. Так, индуктивные первичные преобразователи используются для измерений проводимости витка воды, которая, в свою очередь, трансформируется в соленость посредством специальных формул соответствия. При измерениях проводимости точность зависит от стабильности электромагнитных свойств трансформаторов, от активных сопротивлений обмоток, индуктивностей рассеяния и намагничивания, а также витка связи. Поскольку диапазон изменения рабочей температуры, в которой находятся датчики, достаточно велик ($t = (-2) - (+40)^\circ\text{C}$), то стабилизировать названные параметры весьма непросто. Тем не менее в настоящее время

индуктивные двухтрансформаторные первичные преобразователи электропроводности получили широкое распространение в гидрологической аппаратуре. Реальные образцы датчиков для конкретных образцов приборов имеют следующие технические характеристики: рабочий диапазон 0,1–7,2 Сим/м; частота питающего напряжения (10+/-0,1) КГц; выходное напряжение 1–2000 мВ; паразитная емкость не более 12 пФ; сопротивление витка жидкости не более 150 Ом (приведенные характеристики уточняются по мере совершенствования методик и средств измерений).

Измерители температуры

Как известно, наилучшими метрологическими характеристиками обладают проволочные металлические термометры сопротивления, а также кварцевые резонаторы. Для изготовления термометров используется платина или медь, никель и вольфрам. Как показывает опыт, значительной долговременной стабильностью обладают термометры сопротивления, изготовленные из платины высшей очистки. С другой стороны, качественные медные термометры сопротивления уступают платиновым по показателю долговременной стабильности, имеют большую длину чувствительного элемента при одинаковом начальном сопротивлении и равном диаметре провода. С другой стороны, для меди, в отличие от платины, упрощается коррекция номинального сопротивления чувствительного элемента, а также уменьшается влияние находящихся при другой температуре выводных соединителей, так как вклад их сопротивления в общее сравнительно небольшой. С созданием микроэлектронных цифровых измерительных мостов с линейной характеристикой преобразования, возросло значение такого показателя медного термометра, как линейность. Приведем параметры одного из вариантов датчика измерений температуры морской воды, который преобразует значение температуры воды в электрическое сопротивление проводника. Чувствительный элемент преобразователя выполнен из медного эмалированного микропровода толщиной 0,02 мм и длиной 4 м. Конструктивно он образует жгут длиной 80 мм. Защита микропровода от воздействия окружающей среды обеспечена медной трубкой (медь обладает одним из наибольших коэффициентов теплопроводности). Внешний диаметр трубки 0,5 мм. Наружная поверхность трубки подвергнута механическому наплету. За счет этого трубка обеспечивает надежную работу чувствительного элемента при заданных значениях

гидростатического давления. Электрохимическая защита медной трубки осуществлена слоем оловянисто-свинцового сплава, нанесенного гальваническим путем. Пространство между жгутом чувствительного элемента и медной трубкой заполнено теплопроводящей пастой. Это позволяет дополнительно снизить показатель тепловой инерции преобразователя. Статическая характеристика преобразования канала измерений температуры:

$$\theta = C_{00} + C_{01} N_{\theta} + C_{02} N_{\theta}^2 + C_{03} N_{\theta}^3 + C_{0K} (N_K - N_{K20}),$$

где $C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{0K}$ – коэффициенты статической характеристики преобразования, определяемые при поверке (аттестации); N_{θ} – значение кода канала измерений температуры в десятичной системе счисления; N_K – значение кода контрольного канала в десятичной системе счисления; N_{K20} – значение кода контрольного канала, зафиксированное при поверке (аттестации).

Техническими характеристиками варианта датчиков температуры: рабочий диапазон 0,1–7,2 Сим/м; выходное напряжение 1–2000 мВ; сопротивление витка жидкости, не более 150 Ом; габаритный размер над плоскостью установки 120 мм; паразитная емкость, не более 12 пФ.

Измерители давления

В качестве первичного измерительного преобразователя гидростатического давления применен один из вариантов тензорезисторного преобразователя, функционирование которого основано на использовании известного тензорезисторного эффекта в итеро-эпитаксиальной пленке кремния, нанесенной на поверхность монокристаллической пластинки из сапфира. Пластика монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами прочно соединена с металлической мембраной измерительного блока. Мембрана размещена внутри корпуса измерительного блока. Измеряемое давление, воздействуя на внешнюю поверхность мембраны, вызывает ее прогиб, и таким образом происходит пропорциональное изменение сопротивления тензорезисторов. Внутренняя поверхность мембраны сообщена с окружающей средой, что обуславливает измерение избыточного давления. Статическая характеристика преобразования канала измерений гидростатического давления:

$$P = C_{1P} (N_P - N_{P0}),$$

где C_{1P} – коэффициент статической характеристики преобразования, определенный

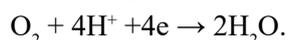
при поверке (аттестации); N_p – значение кода канала измерений гидростатического давления в десятичной системе счисления при нулевом избыточном давлении; N_{p0} – значение кода канала измерений гидростатического давления в десятичной системе счисления при нулевом избыточном давлении, зафиксированное при поверке (аттестации).

Канал измерения давления удовлетворяет следующим требованиям: пределы измерения избыточного давления морской воды, Мпа 0,1–2,5, основная погрешность – 1% [3, 4].

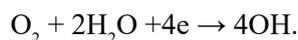
Измерители содержания кислорода

Одним из наиболее важных параметров морской воды является растворенный кислород, который в связанном виде входит в ее состав. Присутствие кислорода в океане необходимо для осуществления жизненно важных окислительных процессов. Содержание и характер распределения кислорода в водных массах может служить показателем интенсивности биохимических и окислительно-восстановительных процессов. Первичный измерительный преобразователь кислорода (ПИПК) состоит, в частности, из двухэлектродной электрохимической ячейки, (индикаторный электрод-катод и вспомогательный электрод-анод), которые помещаются в раствор электролита. Суммарный процесс электровосстановления кислорода на твердых электродах происходит с участием четырех электронов.

В кислых растворах:



В щелочных растворах:



Кинетика процесса электровосстановления кислорода на твердых электродах существенно зависит от рН электролита. Изучение электровосстановления кислорода, например, на золотом и серебряном электродах показало, что на полярограммах имеются две волны в области рН от 2 до 14. Исследования показали, что в области рН от 11 до 14 переходный ток второй волны постоянно увеличивается, в то время как растворимость кислорода уменьшается. В первичных измерительных преобразователях кислорода применяют различные типы неполяризуемых вспомогательных электродов. В системах с внешним источником напряжения, основным условием выбора материала вспомогательного электрода (анода) является как отсутствие самопро-

извольного его растворения в электролите, так и растворение его в условиях анодной поляризации. Анод в таких системах изготавливают из металлов, практически не окисляющихся и не развивающих собственного потенциала, с большой поверхностью и малой пространственной плотностью тока (платина, золото, серебро). Вспомогательные электроды, используемые в системах с внутренним источником напряжения, хорошо окисляются и генерируют за счет этого собственную ЭДС. К достаточно часто используемым режимам работы первичного измерительного преобразователя кислорода относится режим постоянного тока. При замыкании электродов (или подключении внешнего источника питания) вначале происходит бросок тока, затем ток уменьшается и через некоторое время, при неизменной концентрации кислорода, ток достигает какой-то постоянной величины. Режим постоянного тока и характеризуется работой именно на этом участке. При изменении концентрации кислорода изменяется значение установившегося тока пропорционально изменению концентрации кислорода, но так как электроды постоянно замкнуты, то явление бросков тока отсутствует. В одном из вариантов реализации преобразователь конструктивно включает корпус, изготовленный из компаунда, в который встроены электроды – индикаторный и вспомогательный. Как правило, алюминий используется в качестве материала вспомогательного электрода. Электролит, представляющий собой 0,5 N раствора KCl, заполняет пространство внутри корпуса. В преобразователе предусмотрена барокомпенсация для предохранения полимерной мембраны от разрушения при повышении гидростатического давления. Обычный резиновый колпачок используется в качестве барокомпенсатора. В итоге проведенных исследований разработан и изготовлен образец датчика концентрации кислорода со следующими техническими характеристиками: рабочий диапазон 0,01–12,0 ‰; показатель инерции, с 3; выходное напряжение, мВ 0,1–120.

Средства предварительной обработки

Использование специального аппаратного модуля предварительной обработки, выполненного на базе современных микропотребляющих процессоров, позволяет осуществлять сбор и предварительную обработку в реальном времени данных, получаемых с разнообразных датчиков зондирующего комплекса. Все это выполняется

на базе современных средств разработки и отладки программного обеспечения, которые позволяют программировать алгоритмы сбора и обработки данных на языках высокого уровня. Таким образом, достигается универсальность зондирующего комплекса, в том смысле, что при функциональном расширении (например, при добавлении новых типов датчиков или изменении существующих схем измерения данных) не требуется существенно перестраивать состав аппаратуры и алгоритмы функционирования зондирующего комплекса. Для хранения измеряемых гидролого-гидрофизических данных (в том случае если зондирующее устройство не связано в процессе измерения с центральным компьютером) служит модуль цифровой энергонезависимой памяти, совмещенный с модулем центрального процессора. Современные микропотребляющие блоки памяти позволяют хранить первичные и обработанные данные значительных объемов. Этого вполне достаточно для хранения рядов измеренных океанологических параметров, получаемых при длительных автономных измерениях.

Программное обеспечение модуля

В состав управляющих программ базового модуля входят драйверы конкретных устройств, вспомогательные модули чтения-записи энергонезависимой памяти, модули считывания данных аналого-цифровых преобразователей, подпрограммы обмена данными по последовательным линиям связи между модулями. Структурная схема программного обеспечения приведена на рисунке.

Программное обеспечение обслуживает два режима работы: основной, в котором производится измерение, предварительная обработка и запоминание данных, и вспо-

могательный режим, в котором предварительно сохраненные данные передаются в центральный компьютер. В настоящей версии программы не предусмотрена возможность изменения калибровочных коэффициентов, временных соотношений и последовательности опроса датчиков во время функционирования базового модуля – все эти параметры программируются одновременно с адаптацией управляющей программы. Тексты подпрограмм-драйверов адаптируются для каждого конкретного набора датчиков. Такой подход позволяет достичь универсальности базового модуля и не изменять интерфейсные программы центрального компьютера при изменении структуры данных [5, 6].

Заключение

Разрабатываемое новое поколение океанологических зондирующих и стационарных комплексов для измерений и исследований морской среды, её гидрохимических и гидрофизических параметров с использованием гидроакустической телеметрии и энергосберегающих технологий позволит обеспечить непрерывное развитие океанологического приборостроения. По принципу «один параметр измерений – один измерительный модуль» могут быть созданы мобильные многопрофильные океанологические комплексы, в том числе и придонные, позволяющие решать обширный ряд гидрофизических и гидрохимических исследований в океане, в том числе в труднодоступных районах, с минимальным привлечением экспедиционного флота. Это особенно важно в условиях возрастающих требований к пространственному изучению изменчивости гидрофизической обстановки и гидрохимических параметров среды в акваториях Мирового океана.



Структурная схема программного обеспечения

Список литературы

1. Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н. Использование профилографов скорости звука для определения плотности воды // *Материалы Первой МНТК по термогидромеханике океана. Современные проблемы океана «СПТО-2017»*. 2017. Т. 1. С. 46–49.
2. Греков А.Н., Греков Н.А., Сычев Е.Н. Новое уравнение для расчета плотности морской воды по измерениям скорости звука // *Системы контроля окружающей среды*. Вып. 7 (27). С. 12–18. Севастополь: ИПТ, 2017.
3. Писарев С.В. Современные дрейфующие роботизированные устройства для контактных измерений физических характеристик арктического бассейна // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47. № 4. С. 5–31.
4. Серов В.А., Ковшов И.В., Устинов С.А. Задачи технологических роботизированных шагающих платформ при освоении подводных (подледных) месторождений полезных ископаемых // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2017. № 9. (194). С. 181–192.
5. Савин А.Н. Параллельный вариант алгоритма условной оптимизации комплексным методом Бокса // *Известия Саратовского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика*. 2012. Т. 12. Вып. 3. С. 109–117.
6. Борисов А.Н., Борисова М.А. Моделирование интеллектуальной системы управления в параллельной вычислительной среде // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Технологии построения когнитивных транспортных систем»*. СПб., 2018. С. 228–231.

УДК 004.94

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПОРТФЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Медведев А.В.

*ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет, Кемерово,
e-mail: alexm_62@mail.ru*

Статья посвящена описанию модификации одной экономико-математической модели инвестиционного фонда, используемой для формирования и управления его функционированием. В существующих финансово-инвестиционных моделях редко учитываются характеристики производственных активов и производимой в проектах фонда продукции (товаров и/или услуг), а также финансовые ограничения, возникающие в связи с учетом таких характеристик. Построение указанной модели осуществляется в соответствии с принципом модельной и IT-сбалансированности, включающим требование соответствия сложности модели возможностям автоматизированных программных комплексов осуществить ее анализ в реальных условиях большого количества входящих в фонд проектов. Кроме того, принципиально используется оптимизационный подход для поддержки принятия инвестиционных решений, заключающийся в требовании обязательности выявления инвестиционного потенциала (максимума инвестиционных возможностей) как величины добавленной к инвестициям стоимости фонда. В связи с этим в работе строится и обсуждается модель в форме многокритериальной задачи линейного оптимального управления, имеющая хорошо разработанные методы анализа и соответствующая вышеуказанному принципу сбалансированности. Особенностью данной модели является учет инвестиционных ограничений на значения искомых переменных объемов инвестиционных вложений для каждого входящего в инвестиционный портфель проекта. С учетом обсужденного материала сделан вывод о целесообразности и эффективности использования построенной модели в банковской сфере, в ситуационных центрах социально-экономического анализа в целях оперативной поддержки принятия управленческих решений инвестиционно-финансового характера.

Ключевые слова: инвестиционный фонд, экономическая эффективность инвестиционного фонда, задача линейного оптимального управления, производственные активы, продукция

INVESTMENT PORTFOLIO MANAGEMENT BASED ON AN OPTIMIZATION MODEL FOR ASSESSING ITS EFFICIENCY

Medvedev A.V.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: alexm_62@mail.ru

The article is devoted to the description of the modification of one economic-mathematical model of an investment fund used to form and manage its functioning. Existing models rarely take into account the characteristics of production assets and the products (goods and/or services) produced in fund projects, as well as the financial constraints arising from taking into account such characteristics. The construction of this model is carried out in accordance with the principle of model and IT balance, including the requirement that the complexity of the model correspond to the capabilities of automated software systems to analyze it in the real conditions of a large number of projects included in the fund. In addition, an optimization approach is fundamentally used to support investment decision-making, which consists in the requirement to identify the investment potential (maximum financial opportunities) in the form of the value of the fund added to investments. In this regard, the paper constructs and discusses a model in the form of a multicriteria linear optimal control problem, which has well-developed methods of analysis and corresponds to the above balance principle. A feature of this model is the accounting of investment restrictions on the values of the required variable volumes of investment investments for each included in the investment portfolio of the project. Taking into account the discussed material, a conclusion was made about the feasibility and effectiveness of using the constructed model in the banking sector, in situational centers of socio-economic analysis in order to promptly support the adoption of managerial decisions of an investment and financial nature.

Keywords: investment fund, investment fund economic efficiency, linear optimal control problem, production assets, products

Сохранение и даже приумножение временно свободного финансового ресурса экономических агентов (физических лиц, домохозяйств, предприятий, управляющих органов экономических территорий, организаций финансового сектора экономики и пр.) независимо от стадии общественного развития и состояния экономики является актуальной проблемой стратегического ха-

рактера, решение которой позволяет сгладить негативные последствия действия объективного экономического закона убывания во времени стоимости финансового ресурса (столь же объективного, как закон трения в технической системе). При этом одним из способов решения указанной задачи является размещение свободных финансовых средств в инвестиционных фондах (ИФ) пу-

тем построения оптимальных (по заданным критериям) портфелей инвестиционных проектов различного характера – финансового и/или производственного. Задача построения оптимального инвестиционного портфеля по двум критериям – максимум рентабельности и минимум рисков – решена во второй половине XX в. Г. Марковицем [1] и Дж. Тобиным [2] в постановке, подразумевающей наличие информации об относительных доходностях и корреляционных связях проектов в портфеле. Значительная доля появившихся позже моделей и методов анализа оптимальных инвестиционных портфелей посвящены совершенствованию и разработке модификаций моделей Марковица–Тобина с точки зрения учета различных особенностей функционирования финансовых и нефинансовых активов на валютных и фондовых рынках и базируются, как правило, на концепции имитационного моделирования и использования регрессионно-статистических (в том числе стохастических) подходов, обзор которых здесь не проводится.

В работе [3] построена математическая модель инвестиционного фонда в форме многопараметрической задачи линейного программирования с критерием максимизации дисконтированной добавленной стоимости портфеля. В этой модели предполагается наличие интегрального инвестиционного ограничения на всю максимальную сумму инвестиционных средств портфеля, что часто не соответствует финансовой практике формирования инвестиционных портфелей. В связи с этим целями данного исследования являются учет данной содержательной особенности и внесение соответствующей модификации в указанную модель.

Материалы и методы исследования

Для осмысления и достижения указанной цели видится целесообразным проанализировать особенности модели [3], отличающие ее от моделей Г. Марковица и Дж. Тобина. В связи с введением группы искомых переменных модели, отвечающих за оптимальные объемы производимой продукции (товаров и/или услуг) в проектах портфеля, а также в связи с наличием ограничений на указанные переменные, имеющих содержательный смысл неперевышения максимальных производственных мощностей, могут быть рассмотрены: 1) стоимость и производительность комплектов основных производственных активов (КПА) материального и нематериального характера, используемых для производства продукции

n видов в каждом из n проектов портфеля (в соответствии с принципом чистых отраслей); 2) рыночная цена единицы и стоимостная оценка спроса как характеристики производимой продукции n видов, причем стоимостная оценка спроса соответствует оценке прогнозной доли рынка продукции. Через указанные в пунктах 1) и 2) характеристики могут быть определены относительные экономические эффективности δ_i ($i = 1, \dots, n$) КПА входящих в инвестиционный портфель проектов в виде отношения произведений рыночной цены единицы продукции и производительности КПА к их стоимости (для каждого из n КПА) и трактоваться как рентабельность (фондоотдача и пр.) производственных активов проекта или как относительная эффективность самих проектов. Следует отметить, что данный подход принципиально отличается модель в [3] от оригинальных моделей Марковица–Тобина и большинства исследующих их моделей, в которых предполагается априорное задание показателей относительной эффективности проектов портфеля без объяснения способа формирования этих показателей. При этом большинство показателей модели в [3] могут быть получены в результате маркетинговых исследований, а также из официальной бухгалтерской отчетности предприятий, с сайтов экономической статистики территорий (например, [4]), что значительно расширяет возможности формирования содержательной информационной базы при формировании и ранжировании относительных показателей эффективности проектов ИФ.

Достаточно критичным вопросом в моделях Г. Марковица и Дж. Тобина также является вопрос необходимости наличия информации о корреляционных связях проектов в виде ковариационной матрицы, получение которой часто невозможно из-за трудностей корректного определения взаимозависимости проектов портфеля, реализующихся в основном в различных экономических условиях, включая производственные особенности (например, для энергетических, биотехнологических, информационно-технологических, сельскохозяйственных и других проектов), на которые могут влиять труднодоступные друг с другом политические, социальные, региональные, экологические и тому подобные факторы. В связи с этим в качестве другого критерия эффективности, минимизирующего риски функционирования ИФ, целесообразно выбирать показатели, значения которых также могут быть «счи-

таны» с глобального финансового рынка, а также с рынков производимой в проектах ИФ продукции, на основе содержательно единообразной информационной базы (горизонт планирования, ставки дисконтирования в каждом проекте, инвестиционные, производственные и финансовые ограничения и особенности производства продукции в проектах и т.п.).

Следует отметить еще одно преимущество модели [3] относительно модели Дж. Тобина, предполагающей обязательное включение в инвестиционный портфель особого, безрискового финансового актива (например, в виде облигаций центрального банка страны), изначально снижающего общую эффективность всего портфеля в пользу минимизации рисков его функционирования, выраженных в виде потенциальных финансовых потерь инвесторов фонда. Предложенная в [3] модель не требует поиска такого актива, то есть лишена указанного недостатка. Помимо изложенных, в модели [3] учитываются и другие особенности функционирования и рыночного окружения ИФ, отсутствующие в моделях Г. Марковица и Дж. Тобина. А именно, в указанной модели напрямую формализован учет интересов менеджмента инвестиционного фонда через параметр ежегодного вознаграждения за управление его активами. Кроме того, в ней математически формализован учет неодновременности включения проектов в портфель фонда и длительности операций по проектам путем применения взаимосвязанных дисконтирующих множителей как метода учета различных рисков, связанных, в частности, с инфляцией, требованиями заемщиков финансовых средств и т.п. Впрочем, с точки зрения условия неодновременности включения и различной длительности операций по проектам в портфеле переход к классическим моделям формализуется как простейший частный случай с одновременным включением всех проектов в портфель и их исключением из него.

Построим экономико-математическую модель инвестиционного фонда.

Предварительно введем следующие обозначения:

n – количество проектов в ИФ, $k=1, \dots, n$ – номер проекта в ИФ;

x_k – инвестиции в k -й проект портфеля, д.е.;

x_{n+k} ($k=1, \dots, n$) – потенциальный стоимостной объем производства продукции в k -м проекте портфеля, д.е.;

x_{2n+l} ($l=1, \dots, L$) – затраты менеджмента ИФ на избежание (устранение) l -го риска его функционирования, д.е.; L – количество рисков в деятельности ИФ,

T – горизонт планирования деятельности ИФ, ед. времени;

r – ставка дисконтирования на горизонте планирования деятельности ИФ, %;

c_k – стоимость КПА в k -м проекте;

V_k^k – производительность КПА в k -м проекте;

P_k – цена единица продукции, производимой в k -м проекте;

$\delta_k = P_k V_k^k / c_k$ – эффективность (рентабельность, фондоотдача) k -го проекта, %;

t_k – момент начала k -го проекта, ед. времени;

T_k – момент окончания k -го проекта, ед. времени;

q_k – емкость рынка (стоимостная оценка спроса) продукции k -го проекта, д.е.;

I_k^k – максимальные объемы инвестиций в k -й проект портфеля, д.е.;

a_k – минимальный объем инвестиций в k -й проект, д.е.;

r_k – ставка дисконтирования для k -го проекта, %;

b_l – максимальные издержки, которые несет менеджмент ИФ в случае реализации риска на l -ом рисковом направлении функционирования, д.е.;

c_l – задаваемые экспертно коэффициенты, имеющие смысл оценочной значимости эффекта от осуществленных затрат на l -ом рисковом направлении функционирования, д.е.; $l=1, \dots, L$;

s – ежегодное вознаграждение менеджерам управляющей компании за управление активами; ИФ – доля от первоначальной стоимости инвестиций, %;

γ – экспертная оценка доли суммарных инвестиций, используемых менеджментом на страхование деятельности ИФ, %;

$LMAX$ – максимальные затраты на избежание (устранение) всех выделенных рисков функционирования ИФ, д.е.

Результаты исследования и их обсуждение

Учитывая введенные обозначения, модель портфеля ИФ имеет следующий матричный вид:

$$A_{(4n+3) \times (2n+L)} X_{(2n+L) \times 1} \leq B_{(4n+3) \times 1},$$

$$X_{(2n+L) \times 1} \geq 0,$$

$$C_{1 \times (2n+L)} X_{(2n+L) \times 1} \rightarrow \max,$$

где

$$A = \begin{pmatrix} & -\Delta_n & & & E_n & & O_{n \times L} \\ & O_n & & & E_n & & O_{n \times L} \\ & E_n & & & O_n & & O_{n \times L} \\ & -E_n & & & O_n & & O_{n \times L} \\ 1 + s \sum_{k=1}^n \alpha_k & \dots & 1 + s \sum_{k=1}^n \alpha_k & -1 & \dots & -1 & -\alpha c_1 & \dots & -\alpha c_L \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 1 \\ -\gamma & \dots & -\gamma & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

$$B = (0, \dots, 0; q_1, \dots, q_n; I_1, \dots, I_n; -a_1, \dots, -a_n; \alpha(b_1 + \dots + b_L); LMAX; 0)^T;$$

$$C = \left(-\alpha_1 - \sum_{k=1}^n \alpha_k, \dots, -\alpha_n - \sum_{k=1}^n \alpha_k; \alpha_1, \dots, \alpha_n; \alpha c_1, \dots, \alpha c_L \right);$$

$\Delta_n = \text{diag}(\delta_1, \dots, \delta_n)$ – диагональная матрица с указанными элементами на диагонали;
 $E_n, O_n, O_{n \times L}$ – единичная матрица и нулевая матрица размера $n \times n$ и нулевая матрица размера $n \times L$ соответственно;

$$\alpha_k = \frac{1}{r_k} \left[\frac{1}{(1+r_k)^{t_k}} - \frac{1}{(1+r_k)^{T_k+1}} \right], \quad (k=1, \dots, n) \text{ – ставки дисконтирования каждого}$$

из n проектов портфеля с учетом одновременности моментов их начала и окончания;

$\alpha = T / (1 + r_s)$ – коэффициент дисконтирования на горизонте T ;

$r_s = rT / (1 - (1 + r)^{-T}) - 1$ – эффективная ставка дисконтирования в предположении равномерности распределения суммарных затрат менеджмента на избежание (устранение) рисков функционирования ФПИ на горизонте T .

Построенная модель является многопараметрической однокритериальной задачей линейного программирования с критерием максимизации дисконтированной добавленной стоимости портфеля, обобщающей модель работы [3] на случай инвестиционных ограничений для каждого из участвующих в портфеле проектов. Оптимизационность представленной модели позволяет автоматизированно выявлять экономический потенциал (максимальные финансовые возможности с точки зрения ключевого показателя эффективности – чистой добавленной стоимости) инвестиционного портфеля и принимать обоснованные решения о его формировании [5]. Кроме того, построенную модель несложно обобщить на многокритериальный случай, выделяя, например, отдельно критерий $a \sum_{l=1}^L (b_l - c_l x_{2n+l}) \rightarrow \max$,

а затем переходя к эквивалентной однокритериальной задаче [6] путем рассмотрения

выпуклой линейной свертки критериев. Заметим, что класс построенной модели (линейная задача оптимального управления) позволяет обосновать существование ее решения для всех допустимых значений параметров. Благодаря тому что существование тривиального решения в модели (путем параллельного переноса системы координат x_k из точки a_k в начало координат) легко проверяется, необходимо найти, например численно, нетривиальное решение, что и побуждает разрабатывать новые, основанные на такой модели системы автоматизированной обработки информации, которые, будучи ориентированными на конечного пользователя (в первую очередь, инвестиционного аналитика), рассматриваются как системы поддержки принятия управленческих решений по формированию портфеля реально функционирующих инвестиционных фондов, включающих значительное количество входящих в них инвестиционных проектов.

Важной, ранее не отмеченной особенностью построенной модели, как и модели в [3], является возникающая возможность ранжирования проектов портфеля с помощью автоматизированного комплекса «Карма», описанного в [5]. При этом, в отличие от предложенного в данной статье приема оценки относительных эффективностей δ_k проектов, оценка эффективности каждого проекта портфеля в отдельности может быть осуществлена автоматизированно, с учетом не только описанных характеристик КПА и продукции, но и с учетом инвестиционных (на объем инвестиций), производственных (на производственные мощности, трудо- и материалоемкость), финансовых (на объем собственных средств, кредитов и дотаций), рыночных (на объем спроса, ставки дисконтирования, горизонт планирования и т.п.) ограничений, что, очевидно, значительно повышает объективность ранжирования проектов портфеля за счет минимизации экспертных рисков их оценки. В связи с этим рассмотренная модификация модели инвестиционного портфеля, связанная с учетом инвестиционных ограничений на каждый из входящих в него проектов, имеет важный практический смысл.

Заключение

В работе рассмотрен подход, основанный на использовании таких инструментов управления инвестиционным портфелем активов, как двухступенчатая комбинация многокритериальной линейной модели оптимального управления и оптимизационной модели портфеля проектов. При этом взаимодействие проектов портфеля может рассматриваться в двух вариантах: 1) как взаимодействие набора полностью независимых (по характеристикам внутренней и внешней среды) проектов; 2) как взаимодействие набора проектов, связанных общими характеристиками, ограничениями и/или рисками инвестиционного, производственного и финансового характера. Это делает возможным применение указанного подхода на максимально широком спектре финансовых и производственно-финансовых систем микро-, мезо-, макроэкономического уровня. После определения показателей рентабельности проектов портфеля, с учетом описанных характеристик в них КПА и производимой продукции, а также ограничений их функционирования инвестиционного, производственного и финансового характе-

ра они могут быть использованы при ранжировании проектов ИФ в представленной здесь модели.

Благодаря используемому математическому классу задач (линейная модель оптимального управления с допустимым множеством в форме непустого компакта), нетривиальности и содержательной адекватности постановок, наличию эффективных алгоритмов численного анализа совокупность представленной математической модели и автоматизированного программного комплекса может рассматриваться как инструмент оперативной экспертной оценки экономической эффективности и принятия управленческих решений в банковской сфере, в ситуационных центрах социально-экономического анализа, а также как элемент цифрового социально-экономического двойника территории [7], на которой, например, функционирует конкретный инвестиционный фонд [8–10], и определять, в частности, финансовые возможности развития такой территории, как экономический объект.

Список литературы

1. Markowitz H. Portfolio Selection. *Journal of Finance*. 1952. V. 7. No. 1. P. 77-91.
2. Tobin J. The Theory of Portfolio Selection. In Book: *Theory of Interest Rates*. London: MacMillan, 1965. P. 3-51.
3. Емохонова Ю.М., Медведев А.В., Победаш П.Н., Федулова Е.А. Оптимизационная математическая модель портфеля фонда прямых инвестиций // *Фундаментальные исследования*. 2018. № 2. С. 72-76.
4. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gks.ru/folder/38701> (дата обращения: 25.04.2022).
5. Медведев А.В. Автоматизированная поддержка принятия оптимальных решений в инвестиционно-производственных проектах развития социально-экономических систем. М.: Издательский Дом «Академия Естественных наук», 2020. 200 с. DOI: 10.17513/np.421.
6. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения. М.: Наука, 1982. 600 с.
7. Медведев А.В. Цифровые двойники территорий для поддержки принятия решений в сфере регионального социально-экономического развития // *Современные наукоемкие технологии*. 2020. № 6-1. С. 61-66.
8. Федулова Е.А., Емохонова Ю.М. Оптимальная организационно-правовая форма функционирования фондов прямых инвестиций для квалифицированных инвесторов // *Финансы и кредит*. 2017. Т. 23. № 4(724). С. 233-248.
9. Капанова Л.Д. Новые финансово-экономические механизмы в стратегии развития Дальнего Востока // *Управленческие науки*. 2016. Т. 6. № 3. С. 45-54.
10. Kudryavtseva E. Direct investment fund as an object of valuation. *Management of economic systems: electronic scientific journal*. 2014 V. 10 (70). P. 13-15.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ GUI

Сарычева Ю.Ю., Белов Ю.С.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
филиал, Калуга, e-mail: yulia.sarycheva99@mail.ru

Графический интерфейс является неотъемлемой частью программного обеспечения на большинстве основных платформ, включая Android, и представляет широкий интерес для многих исследователей. Конечные пользователи взаимодействуют с приложением в зависимости от того, что они хотят делать с приложением и что они видят в его графическом интерфейсе. Поскольку разные приложения часто используют общие шаблоны проектирования пользовательского интерфейса, интуитивно понятно, что способ взаимодействия людей с графическим интерфейсом можно обобщить для разных приложений. Цель модели взаимодействия состоит в том, чтобы зафиксировать такие обобщенные модели взаимодействия. В данном исследовании будет рассмотрен автоматизированный генератор входных данных с графическим интерфейсом, который может изучать, как люди взаимодействуют с мобильными приложениями, а затем использовать ее для управления генерацией входных данных, имитируя поведение человека. Причина, по которой эта стратегия может улучшить тестовое покрытие, заключается в том, что важные состояния, которые пользователи предпочитают посещать и с большим количеством возможных входных данных, изучаются чаще. При ограниченном времени и бюджете трага времени на эти важные состояния может эффективнее улучшить тестовое покрытие.

Ключевые слова: графический интерфейс пользователя, тестирование, модель генерации, автоматизированное тестирование

BUILDING A TRAINING MODEL TO GENERATE TEST DATA FOR GUI TESTING

Sarycheva Yu.Yu., Belov Yu.S.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga, e-mail: yulia.sarycheva99@mail.ru

The GUI is an integral part of software on most major platforms, including Android, and is of great interest to many researchers. End users interact with the application depending on what they want to do with the application and what they see in its GUI. Because different applications often share common user interface design patterns, it is intuitive that the way people interact with a GUI can be generalized across applications. The purpose of an interaction model is to capture such generalized interaction models. This study will explore an automated GUI input generator that can learn how people interact with mobile applications and then use it to control input generation by simulating human behavior. The reason this strategy can improve test coverage is because important states that users prefer to visit and with more possible inputs are explored more often. With limited time and budget, spending time on these important states can improve test coverage more effectively.

Keywords: graphical user interface, testing, generation model, automated testing

Анализ графического интерфейса приложения представляет большой интерес для многих исследователей и практиков, на данный момент существуют два направления исследований в этой области. Один из них – понять поведение приложений с точки зрения разработки программного обеспечения. Другой – с точки зрения взаимодействия человека с компьютером для анализа дизайна пользовательского интерфейса [1].

Цель исследования – построить модель обучения генерации тестовых данных для тестирования GUI.

Автоматизированный генератор. Конечные пользователи взаимодействуют с приложением в зависимости от того, что они хотят делать с приложением и что они видят в его графическом интерфейсе. Поскольку разные приложения часто используют общие шаблоны проектирования пользовательского интерфейса, интуитивно

но понятно, что способ взаимодействия людей с графическим интерфейсом можно обобщить для разных приложений. Цель модели взаимодействия состоит в том, чтобы зафиксировать такие обобщенные модели взаимодействия.

Представим модель, автоматизированный генератор входных данных с графическим интерфейсом, которая может изучать, как люди взаимодействуют с мобильными приложениями, а затем использовать ее для управления генерацией входных данных, имитируя поведение человека. Обладая знаниями и моделью, извлеченными из истории человеческого взаимодействия, модель может расставить приоритеты возможных взаимодействий с графическим интерфейсом в соответствии с их важностью с точки зрения пользователя, тем самым генерируя входные данные, которые могут достичь большего охвата.

Контекст UI context_i в модели состоит из текущего состояния UI s_i и трех последних переходов в UI $(s_{i-1}, a_{i-1}), (s_{i-2}, a_{i-2}), (s_{i-3}, a_{i-3})$. Текущее состояние пользовательского интерфейса представляет то, что видят пользователи, когда они выполняют действие, в то время как используются последние переходы пользовательского интерфейса для моделирования основного намерения пользователей во время текущего сеанса взаимодействия.

На рис. 1 показано, как в модели представляются состояния и действия пользовательского интерфейса. Каждое состояние пользовательского интерфейса представлено в виде двухканального скелетного изображения пользовательского интерфейса, в котором первый канал (красный канал) отображает

области ограничивающей рамки текстовых элементов пользовательского интерфейса, а второй канал (зеленый канал) отображает области ограничивающей рамки нетекстового пользовательского интерфейса [2].

Каждое действие представлено своим типом действия и координатами целевого местоположения. Тип действия кодируется как семимерный вектор, в котором каждое измерение соответствует одному из семи типов действия. Местоположение цели действия кодируется в виде тепловой карты. Каждый пиксель на тепловой карте – это вероятность того, что пиксель является целевым местоположением действия [3].

В итоге контекст пользовательского интерфейса представляется в виде вектора $4 \times 180 \times 320 \times 3$.

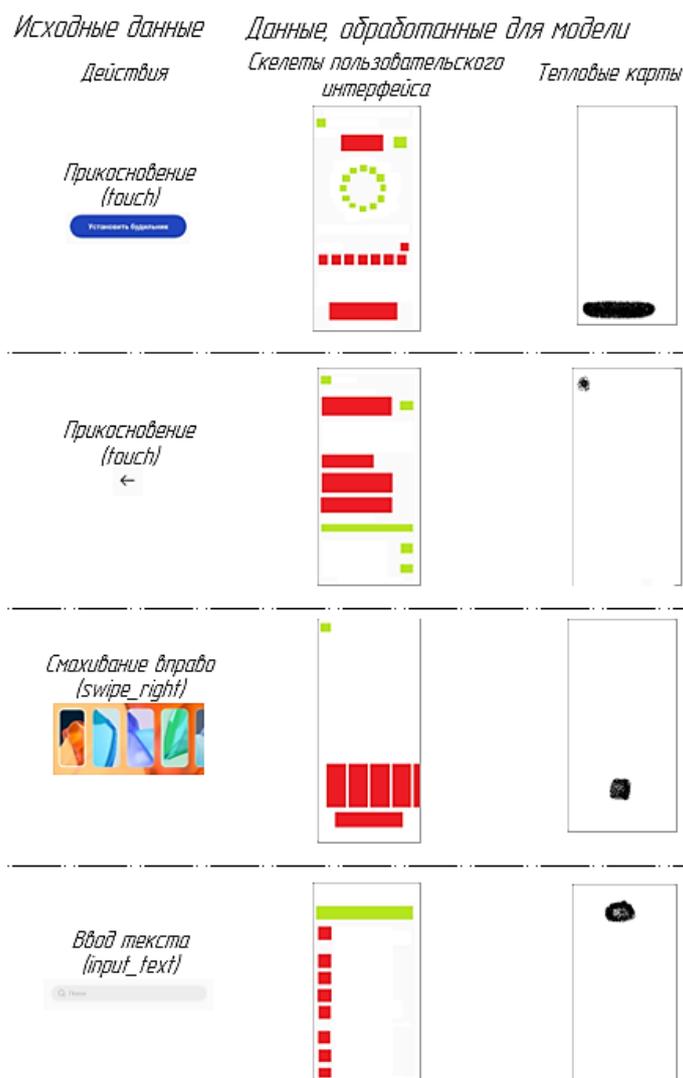


Рис. 1. Представление состояний и действий пользовательского интерфейса в модели взаимодействия

Распределение вероятностей. Учитывая вектор контекста пользовательского интерфейса, вывод модели взаимодействия – это «действие», которое будет выполняться людьми в текущем состоянии. Прогнозируемое «действие» не является фактически допустимым действием в текущем состоянии пользовательского интерфейса. Вместо этого это распределение вероятностей типов и мест ожидаемых действий, подобных человеческим. В частности, цель модели состоит в том, чтобы изучить два условных распределения вероятностей:

$$1) p_{type}(t | context_i)$$

где t {касание, долгое касание, пролистывание вверх, ...}, что означает распределение вероятности t , типа следующего действия a_i , с учетом текущего контекста пользовательского интерфейса.

$$2) p_{loc}(x, y | context_i)$$

где $0 < x <$ ширина экрана и $0 < y <$ высота экрана, что означает распределение вероятности целевого местоположения x, y следующего действия a_i с учетом текущего контекста пользовательского интерфейса.

Структура модели глубокой нейронной сети. На рис. 2 показана модель глубокой нейронной сети, используемая для изучения двух определенных выше распределений условной вероятности. Она принимает представление текущего контекста пользо-

вательского интерфейса в качестве входных данных и выводит распределение местоположения и типа a_i . Модель состоит из пяти основных компонент: сверточные слои, остаточные модули LSTM, деконволюционные слои, полносвязный слой и функции потерь.

Сверточные слои. Структура сверточной сети стала популярным подходом для извлечения признаков изображения, поскольку она оказалась очень эффективной в задачах компьютерного зрения на больших наборах данных реального мира [3]. В модели используется пять сверточных слоев с активациями ReLU для извлечения функций из изображений скелета пользовательского интерфейса и тепловых карт действий. После каждого сверточного слоя следует слой max-pooling с шагом 2, который уменьшает ширину и высоту входных данных наполовину. Слои объединения также помогают модели идентифицировать элементы пользовательского интерфейса, имеющие одинаковую форму, но разное окружение.

Остаточные модули LSTM. Сети LSTM (Long-Short-Term Memory) широко используются в задачах моделирования последовательности, таких как машинный перевод, классификация видео [4] и т.д. В модели извлечение признаков из исторических переходов также является проблемой моделирования последовательности.

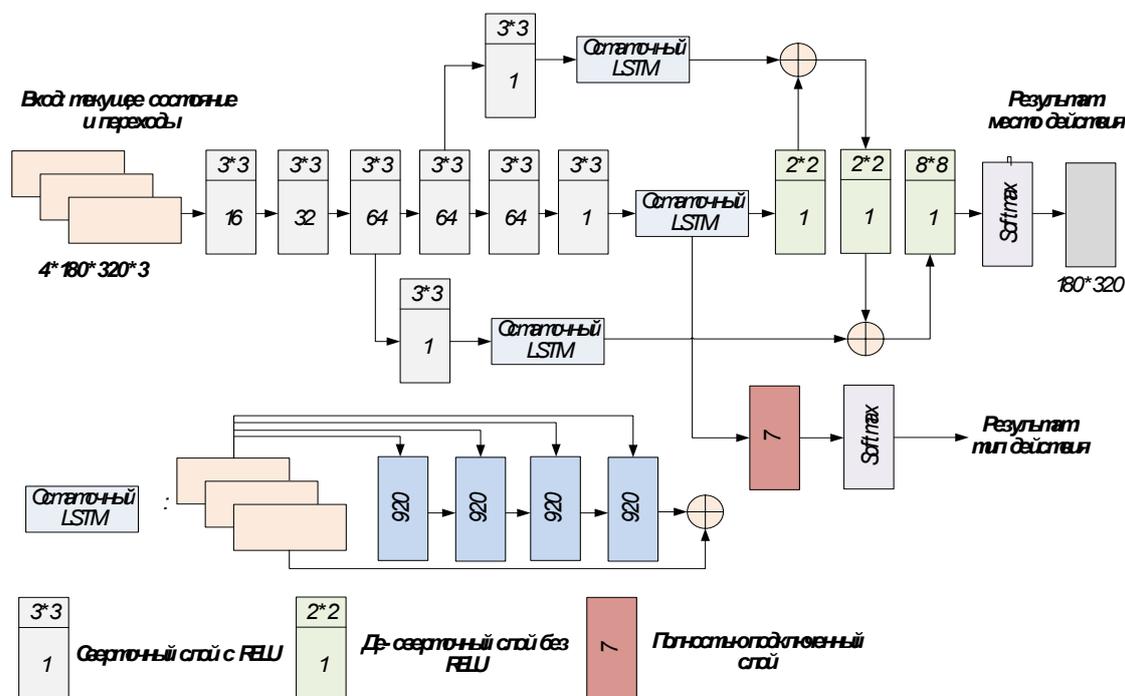


Рис. 2. Архитектура модели глубокого обучения

Остаточные LSTM-модули вставляются после каждого из последних трех инволюционных слоев, чтобы зафиксировать функции последовательности перехода пользовательского интерфейса на разных уровнях разрешения. В остаточном модуле LSTM последнее измерение ввода и вывода обычного LSTM напрямую добавляется через остаточный путь [4].

Такая остаточная структура облегчает оптимизацию нейронной сети [5] и дает намек на то, что расположение действия должно находиться внутри элемента пользовательского интерфейса. Чтобы уменьшить сложность модели, добавляется сверточный слой 1x1 перед каждым остаточным модулем LSTM, чтобы уменьшить размер объекта.

Деконволюционные слои. Этот компонент используется для создания распределений вероятностей с высоким разрешением из выходных данных с низким разрешением остаточных модулей LSTM [4]. Для этого существует несколько вариантов, таких как билинейная интерполяция, деконволюция и т.д. В модели используются слои деконволюции, поскольку их легче интегрировать с глубокими нейронными сетями, и они более общие, чем методы интерполяции [5]. Функции на разных уровнях разрешения объединяются для улучшения качества сгенерированной тепловой карты [6]. Затем следует слой softmax, чтобы нормализовать сгенерированную тепловую карту, чтобы сумма всех пикселей на тепловой карте равнялась 1, что является вероятностным распределением местоположений действий.

Полностью связанный слой. Один полностью связанный слой с softmax используется для генерации вероятностного распределения типов действий.

Функции потерь. Модель предсказывает как место действия, так и тип действия как распределения вероятностей. Таким образом, их кросс-энтропийные потери по сравнению с основной правдой (действия, выполняемые людьми) подходят для оптимизации модели [7].

Процесс обучения модели. В рассматриваемой модели используется сумма этих двух потерь и регуляризатор веса слоя (чтобы избежать переобучения) в качестве окончательной функции потерь в процессе обучения.

Во время обучения каждое действие a_i в потоке взаимодействия $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ преобразуется в следующие распределения вероятностей:

$$p_{type}(t) = \begin{cases} 1, & t = a_i \cdot type \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

и

$$p_{loc}(x, y) = f(x - a_i \cdot x, y - a_i \cdot y),$$

где f – функция плотности распределения Гаусса с дисперсией = 20 для аппроксимации распределения вероятностей фактических координат экрана, распознаваемых устройством, когда один и тот же элемент пользовательского интерфейса взаимодействует со многими людьми много раз. Точно так же при применении модели передается представление текущего состояния пользовательского интерфейса для прогнозирования вероятностных распределений $p_{type}(t)$ и $p_{loc}(x, y)$ для следующего действия.

Поскольку предсказанные распределения нельзя напрямую использовать для управления генерацией тестов, необходимо дополнительно преобразовать их в вероятность действий, которые могут быть выполнены в текущем состоянии. Для этого сначала необходимо пройти по дереву пользовательского интерфейса [8], чтобы найти все возможные действия в текущем состоянии, причем каждое действие содержит тип действия (обозначается как `action.type`) и целевой элемент действия (обозначается как `action.element`).

Затем вычисляется вероятность каждого действия на основе распределения, предсказанного моделью

$$p(action) = p_{type}(action.type) * x$$

x, y в `action.element`

$$location(x, y)$$

Наконец, вероятности действий можно использовать для управления генерацией тестовых входных данных на следующем этапе.

Результаты исследования и их обсуждение

Представление контекста пользовательского интерфейса, то есть входной признак для модели взаимодействия представляет собой стек изображений, включая одно двухканальное изображение для текущего состояния пользовательского интерфейса и три трехканальных изображения для трех последних переходов пользовательского интерфейса (каждый переход включает одно двухканальное изображение для состояния пользовательского интерфейса и одно одноканальное изображение для действия). Все изображения масштабируются до размера 180x320 пикселей. Для простоты обучения также добавляется один канал заполнения нулями для текущего состояния пользовательского интерфейса.

Модель генерирует два типа тестовых входных данных, включая исследования и навигацию. Входные данные исследования используются для обнаружения невидимого поведения в приложении, а входные данные навигации переводят приложение в известные состояния, содержащие неисследованные действия. При выборе из входных данных исследования генератор тестов не знает о последствиях каждого входного теста, и решение принимается на основе руководства модели человеческого. При генерации навигационных входов генератор тестов знает целевые состояния входа, так как он сохранил память переходов.

Заключение

Графический интерфейс является неотъемлемой частью программного обеспечения на большинстве основных платформ, включая Android, и представляет широкий интерес для многих исследователей.

Была рассмотрена модель, которая представляет собой автоматизированный генератор входных данных с графическим интерфейсом.

По сравнению с существующими инструментами тестирования, главная особенность модели (и главное отличие между различными генераторами тестов на основе моделей) заключается в том, как выбираются входные данные исследования. Модель отдает приоритет более ценным действиям в исследовании на основе модели взаимодействия, которая была обучена на основе следов человеческого взаимодей-

ствия. Эта функция ускоряет обнаружение правильных входных последовательностей, что, в свою очередь, переводит приложение в важные состояния пользовательского интерфейса, что приводит к более широкому охвату тестами.

Список литературы

1. Винокуров А.В., Лавлинская О.Ю. Уровни организации автоматизированного тестирования мобильных приложений для операционной системы Android // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 3 (34). С. 22–26.
2. Naja F., Mansur S., Wibawanto A. Automated Software Testing on Mobile Applications: A Review with Special Focus on Android Platform. 20th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions. 2020. P. 4–6.
3. Михалевская К.А., Сергачева М.А. Сравнение инструментов для автоматизации тестирования мобильных приложений на ОС Android // Chronos: естественные и технические науки. 2020. № 2 (30). С. 45–49.
4. Воробьев Н.А., Бурмин Л.Н., Степанов Ю.А. Сравнительный анализ средств тестирования мобильных приложений // Евразийский союз ученых. 2020. № 6–1 (75). С. 36–38.
5. King T.M., Arbon J., Santiago D. AI for Testing Today and Tomorrow: Industry Perspectives. IEEE International Conference On Artificial Intelligence Testing (AITest). 2019. P. 81–88.
6. Сарычева Ю.Ю., Белов Ю.С. Применение искусственного интеллекта в автоматизированном тестировании GUI // Научные исследования в современном мире. Теория и практика: сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2022. С. 55–56.
7. Pan M., Xu To., Pei Yu. GUI-Guided Test Script Repair for Mobile Apps. IEEE Transactions on Software Engineering. 2022. Vol. 48. No. 3. P. 3–5.
8. Плодукин Д.М. Реализация модели автоматизированного тестирования // Огарёв-Online. 2020. № 13 (150).

УДК 621.313.8

КРИТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО СТАРТЕРА-ГЕНЕРАТОРА

Уразбахтин Р.Р.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа,
e-mail: urr98@mail.ru

Сегодня развитие летательных аппаратов происходит в рамках концепций более электрического самолета и полностью электрического самолета, что выдвигает интегрированный стартер-генератор на роль ключевой технологии для создания летательных аппаратов нового поколения. Существующие работы, направленные на проектирование интегрированных стартеров-генераторов, недостаточно глубоко рассматривают взаимное влияние параметров стартера-генератора и авиационного двигателя, в который он интегрируется. Отсюда возникает необходимость формирования новых мультидисциплинарных подходов к проектированию интегрированного стартера-генератора. В статье определяются критические режимы работы интегрированного стартера-генератора для двухконтурного турбореактивного двигателя. Описывается размещение стартера-генератора в выбранной зоне двухконтурного турбореактивного двигателя. Подробно рассматриваются вопросы перемещения роторов двухконтурного турбореактивного двигателя и влияние этих перемещений на интегрированный стартер-генератор. При этом учитываются особенности зоны двухконтурного турбореактивного двигателя, выбранной для размещения интегрированного стартера-генератора. Делаются выводы о влиянии осевых и радиальных перемещений роторов двухконтурного турбореактивного двигателя на интегрированный стартер-генератор и предлагаются подходы к учету этих влияний. Анонсируются будущие работы автора в направлении проектирования интегрированного стартера-генератора. Ценность статьи заключается в сформированном наборе рекомендаций по проектированию для инженеров, вовлеченных в проектирование интегрированных электромеханических систем.

Ключевые слова: более электрический самолет, полностью электрифицированный самолет, авиационный двигатель, двухконтурный турбореактивный двигатель, стартер-генератор, интегрированный стартер-генератор

CRITICAL OPERATION MODES OF THE INTEGRATED STARTER-GENERATOR

Urazbakhtin R.R.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: urr98@mail.ru

Today, the development of aircraft today takes place within the framework of the more electric aircraft and an all-electric aircraft concept, which puts forward the integrated starter-generator as a key technology for creating a new-generation aircraft. The existing works aimed at the integrated starter-generators design do not consider deeply enough the mutual influence of the starter-generator and the aircraft engine (into which starter-generator is integrated) parameters. Hence, there is a need to form new multidisciplinary approaches to the design of an integrated starter-generator. Therefore, the article defines the critical operation modes of an integrated starter-generator for a bypass turbojet engine. The starter-generator placement in the selected area of a bypass turbojet engine is described. The issues of bypass turbojet engine rotors moving and the effect of these movements on the integrated starter-generator are considered in detail. This takes into account the features of the bypass turbojet engine zone, selected for the integrated starter-generator placement. Conclusions are drawn about the effect of axial and radial displacements of the bypass turbojet engine rotors on an integrated starter-generator and approaches are proposed to take these effects into account. The future work of the author in the integrated starter-generator design direction is announced. The value of the article lies in the formed set of design recommendations for engineers involved in the integrated electromechanical systems design.

Keywords: more electric aircraft, all-electric aircraft, aircraft engine, bypass turbojet engine, starter-generator, integrated starter-generator

Развитие летательных аппаратов сегодня происходит в рамках концепций более электрического самолета (БЭС) и полностью электрического самолета (ПЭС) [1, 2]. В рамках этих концепций единственным видом энергии на борту ЛА становится электроэнергия, а ключевой технологией является интегрированный стартер-генератор (ИСГ). ИСГ отличается от традиционного стартера-генератора (СГ) тем, что располагается непосредственно внутри авиационного двигателя (АД). Пакет ротора ИСГ при этом напрямую соединен с ротором АД, за счет чего упраздняется центральная

коническая передача (ЦКП) АД и, соответственно, становится возможным отказ от отбора механической мощности от ротора АД. Проектированию ИСГ посвящены работы [3–5]. В этих работах недостаточно глубоко рассматривается взаимное влияние параметров ИСГ и ТРДД при проектировании и при функционировании. В основной работе ограничиваются ограничением габаритных размеров ИСГ размерами свободной области внутри АД. Однако размещение ИСГ в ТРДД приводит к изменению параметров ТРДД. Более того, ТРДД имеет ряд существенных особенностей, которые

необходимо учитывать при проектировании ИСГ с целью создания работоспособной конструкции ИСГ.

В статье автором рассматривается один из вопросов, который необходимо решить при проектировании ИСГ – определение критических режимов работы ИСГ. Исследования проводятся для ИСГ, интегрированного в двухконтурный турбореактивный двигатель (ТРДД). Решение о проектировании ИСГ для ТРДД было принято исходя из того, что ТРДД – самый распространенный тип АД на гражданских ЛА. Применение ТРДД с ИСГ на ЛА нового поколения позволит существенно повысить их экологичность и понизить топливную эффективность. Практическая реализация ИСГ возможна на текущем этапе развития технологий и материалов.

Целью исследования является определение критических для ИСГ режимов работы с точки зрения перемещений роторов ТРДД.

Материалы и методы исследования

Существует ряд научных работ, посвященных рассмотрению особенностей функционирования ТРДД. Как было отмечено ранее, в работах по разработке и проектированию ИСГ особенности ТРДД рассматриваются не в полном объеме. Пакет ротора ИСГ неподвижно закреплен на валу ИСГ, что необходимо учитывать при проектировании. Критические режимы работы ИСГ будут определены исходя из особенностей вращения роторов ТРДД.

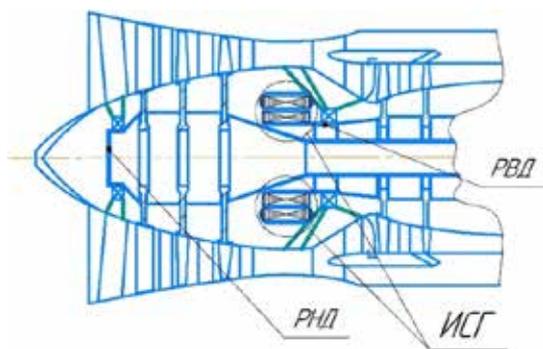


Рис. 1. Зона размещения ИСГ в ТРДД:
РНД – ротор низкого давления,
РВД – ротор высокого давления

Перед рассмотрением особенностей вращения роторов ТРДД остановимся на зоне размещения ИСГ в ТРДД. Зона размещения ИСГ в ТРДД представлена на рис. 1. ИСГ в ТРДД размещается перед первым подшипником РВД ТРДД. Пакет ротора ИСГ неподвижно закреплен на РВД, соответственно, частота вращения РВД совпадает с частотой вращения ИСГ.

ТРДД обычно выполняются двухвальными. На одном из валов размещены лопаточные машины низкого давления, что образует РНД, а на втором размещены лопаточные машины высокого давления, что образует РВД. РНД и РВД установлены на подшипниковых опорах, закрепленных на статоре ТРДД. РНД и РВД связаны между собой только газодинамически. При запуске ТРДД во вращение приводят РВД, после чего создаваемый поток газа раскручивает турбину, расположенную на РНД. Таким образом, вращения РНД и РВД связаны.

Роторы ТРДД перемещаются в осевом и в радиальном направлении. Пакет ротора ИСГ перемещается вместе с РВД, что потенциально может привести к изменению выходных параметров ИСГ, нарушению или потере работоспособности. Это влияет на безопасность полета ЛА. Возможность осевых перемещений роторов может закладываться при проектировании ТРДД для компенсации температурных воздействий. Осевые перемещения РВД обеспечиваются, например, за счет соединения РВД с шарикоподшипником ведущей шестерни центрального привода или за счет выполнения одного из подшипников РВД радиальным, воспринимающим только радиальные нагрузки [6]. Осевые перемещения РНД обеспечиваются за счет соединения с роликоподшипниками. Величина осевых перемещений зависит от типа ТРДД. Для АД ГТД-16 величина осевого перемещения ротора может составлять 0,2–0,4 мм [7]. В работе [8] рассматриваются смещения РВД на 10–15 мм, так как при таких осевых смещениях РВД может начаться повреждение лопаток турбины.

Также в ТРДД имеют место радиальные перемещения. Радиальные перемещения роторов обусловлены нагревом, центробежными силами, внутренним давлением, инерционными нагрузками и эволюционными перегрузками. Зазоры в проточных частях АД составляют десятые доли миллиметра, поэтому вышеперечисленные факторы обязательно учитываются при проектировании АД. Возникают радиальные перемещения роторов АД из-за деформации непосредственно роторов и из-за деформации опор и упругих элементов АД. Здесь необходимо отметить, что перегрузки и эволюции ЛА незначительно влияют на деформацию оси роторов (вызывают деформации порядка сотых долей миллиметра). В ТРДД перемещения РНД и РВД в опорах корпусов АД взаимосвязаны, поэтому рассматриваются совместно. В работе [9] авторами было получено, что максимальные перемещения роторов происходят вблизи опор ТРДД при режимах полета с наибольшими эволюциями

ЛА. В рассмотренном в [8] примере максимальное радиальное перемещение РВД составило 0,67 мм. Необходимо отметить, что современные АД проектируются так, чтобы радиальные зазоры в них были минимальными. Для этого предусматриваются специальные меры пассивного и активного регулирования радиального воздушного зазора, необходимость которых обуславливается в том числе радиальными перемещениями роторов АД [10]. В целом необходимо отметить, что радиальные смещения в АД имеют сложный динамический характер [11] и зависят от температурного состояния АД, а температурное состояние АД, в свою очередь, меняется в зависимости от режима работы АД.

Осевое перемещение РВД может привести к сдвигу пакета ротора ИСГ относительно неподвижно закрепленного статора. В результате этого активная длина статора будет не полностью перекрываться активной длиной ротора (рис. 2, а).

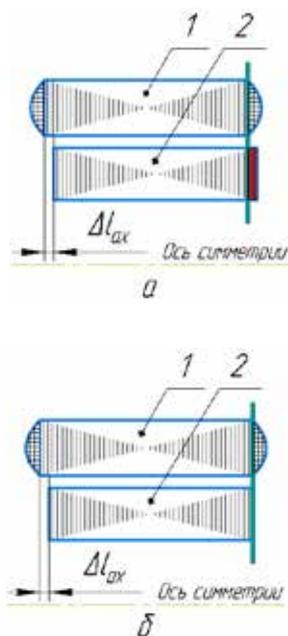


Рис. 2. Осевое перемещение пакета ротора ИСГ относительно статора: 1 – статор ИСГ; 2 – пакет ротора ИСГ

На рис. 2, а, эскизно показано смещение пакета ротора ИСГ относительно статора. Красным выделен участок пакета ротора ИСГ, который не перекрывается активной длиной статора. В нормальном состоянии активная длина статора ИСГ должна быть полностью перекрыта активной длиной ротора ИСГ. При смещении пакета ротора ИСГ относительно статора в осевом направлении электромагнитное поле будет стре-

миться вернуть пакет ротора к нормальному положению. Это потенциально может привести к возникновению осевых вибраций ТРДД, что также может привести к возникновению осевых колебаний РВД.

Для того, чтобы предложить меры по снижению влияния осевого перемещения пакета ротора ИСГ на выходные параметры ИСГ и на работу ТРДД, необходимо определить характер осевых перемещений роторов ТРДД. Осевые перемещения РВД происходят в связи с нагревом и остыванием ТРДД, что происходит при сменах режимов работы ТРДД, при эволюциях ЛА в пространстве, из-за несовершенств элементов ТРДД, полученных при сборке или приобретенных во время эксплуатации повреждений и т.д. Осевые перемещения, обусловленные, например, эволюциями ЛА во время полета, могут иметь кратковременный характер, поэтому их учет имеет сравнительно небольшую практическую значимость. Осевые перемещения, обусловленные, например, нагревом ТРДД, будут иметь длительный характер, так как в связи с выходом на определенный режим работы произошел нагрев ТРДД до определенной температуры и, соответственно, произошло осевое смещение ТРДД. Такой случай будет являться критическим режимом работы ИСГ с точки зрения осевого перемещения.

Очевидно, что безопасность полета ИСГ напрямую зависит от исправной работы ИСГ. Поэтому ИСГ должен обладать высокой надежностью. Соответственно, компенсация осевого перемещения пакета ротора ИСГ относительно статора путем введения дополнительных механизмов нецелесообразна. Компенсация осевого перемещения пакета ротора ИСГ относительно статора возможна путем увеличения активной длины статора на максимальную величину перемещения пакета ротора ИСГ в направлении этого перемещения (рис. 2, б). В таком случае активная длина пакета ротора ИСГ будет постоянно перекрыта активной длиной статора ИСГ. Недостатком предлагаемого решения является увеличение массы и габаритов ИСГ.

Для каждого конкретного ТРДД с ИСГ величина осевого перемещения пакета ротора ИСГ относительно статора ИСГ будет иметь различную величину. Поэтому для принятия решения о необходимости компенсировать воздушный зазор нужно определить величину и направление осевого перемещения для конкретного ТРДД, в который интегрируется ИСГ. Очевидно, что для малых относительно активной длины ИСГ перемещений, принимать меры по компенсации осевого перемещения пакета ротора ИСГ нецелесообразно.

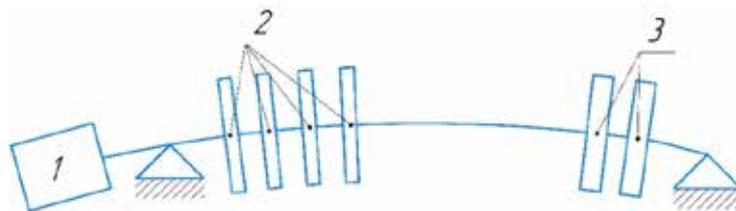


Рис. 3. Эскиз изогнутого РВД с размещенным на нем пакетом ротора ИСГ:
1 – пакет ротора ИСГ, 2 – компрессор высокого давления, 3 – турбина высокого давления

Подробнее остановимся на радиальных перемещениях роторов ТРДД, которые необходимо учитывать при проектировании ИСГ. Радиальные перемещения роторов возникают по ряду причин: 1) на неуравновешенные массы роторов действуют центробежные силы; 2) имеются пульсации потока газа в камере сгорания (форсажной камере, реактивном сопле); 3) присутствует анизотропия корпусов; 4) имеются несовершенства подшипников качения и т.д. Более того, колебания роторов ТРДД могут происходить из-за их газодинамической связи, то есть вращение РВД будет влиять на колебания РВД, и наоборот. Из-за перечисленных выше факторов происходит изгиб роторов ТРДД, что является причиной их радиального перемещения. Изгиб роторов ТРДД имеет место при всех частотах вращения, однако существует частота вращения, при которой этот изгиб достигает наибольшего по величине значения. Такая частота вращения ротора ТРДД называется критической. Соответственно, с точки зрения учета радиальных перемещений роторов ТРДД необходимо рассматривать вращение РВД с расположенным на нем пакетом ротора ИСГ при критической частоте вращения. На рис. 3 эскизно изображен изогнутый РВД ТРДД с размещенным на нем пакетом ротора ИСГ.

Изгиб РВД, показанный на рис. 3, может привести к задеванию пакета ротора ИСГ о статор ИСГ, что может стать причиной повреждения ИСГ или его выхода из строя. Соответственно, необходимо проектировать ИСГ так, чтобы предотвратить задевание пакета ротора ИСГ о статор. Для этого необходимо определить наибольшую величину радиального перемещения РВД в месте крепления пакета ротора ИСГ.

С учетом сказанного ранее, максимальная величина радиального перемещения РВД будет наблюдаться при критической частоте вращения РВД. Существует ряд методик определения критической частоты вращения РВД аналитическими методами и методами компьютерного моделирова-

ния [12]. Однако существующие способы определения критической частоты вращения РВД ТРДД несправедливы для случая, когда на РВД размещен пакет ротора ИСГ, так как он приводит к изменению момента инерции РВД, смещению его центра масс. На пакет ротора ИСГ также действуют центробежные силы, гироскопический момент, момент от центробежных сил и момент от неуравновешенности РВД. Соответственно, при проектировании ИСГ возникает задача определения критической частоты вращения РВД. После решения задачи определения критической частоты вращения пакета ротора ИСГ можно будет решить задачу определения наибольшей величины радиального перемещения РВД в месте крепления пакета ротора на РВД.

Очевидно, что при проектировании ИСГ необходимо проводить сравнение наибольшей величины радиального перемещения и величины воздушного зазора. Для обеспечения безопасной работы ИСГ величина воздушного зазора должна быть больше максимальной величины перемещения РВД в месте крепления пакета ротора ИСГ.

Ранее было отмечено, что изгиб РВД имеет место на всех частотах вращения РВД. Поэтому целесообразно определить величину радиального перемещения РВД в месте крепления пакета ротора ИСГ на основных длительных режимах работы. Величина искомого радиального перемещения РВД при этом должна быть намного меньше величины воздушного зазора ИСГ. В таком случае выходные параметры ИСГ будут равны расчетным с учетом погрешности.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты проведенной работы показали, что при проектировании ИСГ необходимо решать ряд задач, обусловленных особенностями функционирования ТРДД. Так, например, перемещения роторов ТРДД могут привести к нарушению или потере работоспособности ИСГ. ТРДД с установленным в нем ИСГ является сложной системой,

исследование которой представляет собой сложную инженерную задачу. Затруднениями при решении этой инженерной задачи выступают отсутствие ранее накопленного опыта проектирования и сложность верификации получаемых результатов. Поэтому проектирование ИСГ с учетом взаимного влияния параметров ИСГ и ТРДД требует формирования новых мультидисциплинарных подходов, создания новых методик аналитического расчета и компьютерного моделирования. Более того, проектирование ИСГ с учетом взаимного влияния параметров ИСГ и ТРДД требует нахождения новых способов верификации получаемых при проектировании результатов.

Заключение

В результате выполнения работы были определены критические режимы работы ИСГ с точки зрения радиальных и осевых перемещений РВД, предложены подходы к проектированию ИСГ, позволяющие обеспечить безопасное функционирование ИСГ. Было установлено, что компенсировать осевое перемещение РВД можно путем увеличения активной длины статора ИСГ в направлении конкретного рассматриваемого перемещения. Также было установлено, что для проектирования ИСГ необходимо определять величины радиальных перемещений РВД в месте крепления пакета ротора ИСГ при критической частоте вращения РВД и при частотах вращения РВД на основных режимах работы. Было выявлено, что для определения величины радиальных перемещений РВД в месте крепления пакета ротора ИСГ при критической частоте вращения РВД необходимо определить критическую частоту вращения РВД с учетом расположения на нем пакета ротора ИСГ.

Будущая работа автора будет направлена на определение критической частоты вращения РВД с учетом расположения на нем пакета ротора ИСГ.

Работа выполнена в рамках гранта в форме субсидий в области науки из бюджета Республики Башкортостан для государственной поддержки молодых ученых, тема «АП-ЭМ-02-21-ГБ».

Список литературы

1. Rosero J.A. et al. Moving towards a more electric aircraft. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2007. Vol. 22. No. 3. P. 3–9.
2. Schäfer A.W. et al. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. Nature Energy. 2019. Vol. 4. No. 2. P. 160–166.
3. Bhangu B.S., Rajashekara K. Electric Starter Generators: Their Integration into Gas Turbine Engines. IEEE Industry Applications Magazine. Vol. 20. No. 2. P. 14–22.
4. Zhang G.H., Ma C.Q., Sun H.Y., Zhang L.F., Liu L. and Wang K. Optimization design of interior PM starter-generator. 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). 2017. P. 1–5.
5. Cavagnino A., Li Z., Tenconi A. and Vaschetto S. Integrated Generator for More Electric Engine: Design and Testing of a Scaled-Size Prototype. IEEE Transactions on Industry Applications. 2013. Vol. 49. No. 5. P. 2034–2043.
6. Блинов А.В., Боровик С.Ю., Лучшева М.В., Мухутдинов Ф.И., Секисов Ю.Н. Мониторинг состояния пар трения энергосиловых установок на основе одновитковых вихретоковых датчиков // International Conference on Aviation Motors (ICAM), 2020. С. 27–31.
7. Гареев А.М. Разборка и сборка газотурбинного двигателя ГТД-1. Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева (национальный исследовательский университет), 2012. 25 с.
8. Бабин А.Ю. Обеспечение энергоэффективных режимов работы упорных гидростатодинамических подшипников с активным управлением: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2019. 169 с.
9. Блишник Б.С. и др. Определение радиальных перемещений корпусов и роторов многовальных авиационных двигателей с противовращением роторов при эволюциях самолета // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2015. Т. 19. № 3 (69). С. 70–76.
10. Камалтдинов И.И., Зырянов А.В. Управление радиальными зазорами // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2013. № 4 (9). С. 85–93.
11. Zelenskiy R.L., Yepifanov S.V., Loboda I. Advanced Nonlinear Modeling of Gas Turbine Dynamics // Aerospace Engineering. Intech Open. 2018. 216 p.
12. Назаренко Ю.Б. Динамика роторов газотурбинных двигателей. М.: Типография «ИП Скороходов В.А.», 2014. 123 с.

УДК 004.932

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ДЕТЕКТОРА

Чулин К.В., Белов Ю.С.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
филиал, Калуга, e-mail: fn1-kf@mail.ru

Обнаружение дорожных знаков является чрезвычайно важным в системах автономного вождения и в целом влияет на безопасность на дороге. Для снижения риска несчастных случаев и улучшения опыта вождения водителей были разработаны системы распознавания дорожных знаков, которые сыграли важную роль в автоматическом вождении и обслуживании дорожной сети. В данной статье предложена новая модель, основанная на сверточной нейронной сети, для повышения точности обнаружения и распознавания дорожных знаков, особенно в условиях плохой видимости и крайне ограниченного зрения. Общая модель системы распознавания дорожных знаков состоит из ряда взаимосвязанных модулей. Для повышения эффективности вычислений был предложен одноступенчатый детектор. Система состоит из основной сети, вспомогательной сети и детектора. Основная сеть извлекает объекты из изображения и захватывает объекты. С начальными выходными функциями основной сети вспомогательная сеть объединяет функции и адаптирует размер, тем самым улучшая общую производительность архитектуры. Детектор получает три выходных сигнала от сети и выдает прогноз положения ограничивающей рамки, достоверности объекта и классов объектов для каждого выходного слоя карты объектов. С помощью высококачественных карт объектов каждого слоя обнаружение может быть более точным.

Ключевые слова: обнаружение дорожных знаков, распознавание дорожных знаков, изображения, классификация, смешанная свертка

DEVELOPMENT OF A ROAD SIGN RECOGNITION SYSTEM BASED ON A SINGLE-STAGE DETECTOR

Chulin K.V., Belov Yu.S.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga, e-mail: fn1-kf@mail.ru

The detection of road signs is extremely important in autonomous driving systems and a generally influential aspect of road safety. To reduce the risk of accidents and improve the driving experience of drivers, road sign recognition systems have been developed, which have played an important role in automatic driving and maintenance of the road network. This article proposes a new model based on a convolutional neural network to improve the accuracy of detection and recognition of road signs, especially in conditions of poor visibility and extremely limited vision. The general model of the road sign recognition system consists of a number of interconnected modules. To increase the efficiency of calculations, a single-stage detector was proposed. The system consists of a main network, an auxiliary network and a detector. The main network extracts objects from the image and captures objects. With the initial output functions of the main network, the auxiliary network combines the functions and adapts the size, thereby improving the overall performance of the architecture. The detector receives three output signals from the network and provides a forecast of the position of the bounding box, the reliability of the object and object classes for each output layer of the object map. With high-quality feature maps of each layer, detection can be more accurate.

Keywords: traffic sign detection, traffic sign recognition, images, classification, mix convolution

Обнаружение дорожных знаков чрезвычайно важно в системах автономного вождения и безопасности на транспорте. Однако точное распознавание дорожных знаков остается сложной задачей, особенно в экстремальных условиях. В суровых погодных условиях, таких как туман и снег, дорожно-транспортные происшествия часто происходят из-за рассеянного вождения, невнимательности или плохой видимости. Для снижения риска несчастных случаев и улучшения опыта вождения водителей были разработаны системы распознавания дорожных знаков, которые сыграли важную роль в автоматическом вождении и обслуживании дорожной сети. Системы распознавания дорожных знаков можно разделить на две подзадачи, т.е. обнаружение и клас-

сификацию, первая из которых направлена на идентификацию целевых объектов по изображениям, а вторая направлена на классификацию обнаруженных дорожных знаков по подклассам [1].

Цель исследования – разработать систему распознавания дорожных знаков, основанную на сверточной нейронной сети, для повышения точности обнаружения и распознавания дорожных знаков.

Описание модели. Предлагается новая модель, основанная на сверточной нейронной сети, для повышения точности обнаружения и распознавания дорожных знаков, особенно в условиях плохой видимости и крайне ограниченного зрения. Общая модель системы распознавания дорожных знаков состоит из ряда взаимосвязанных модулей.

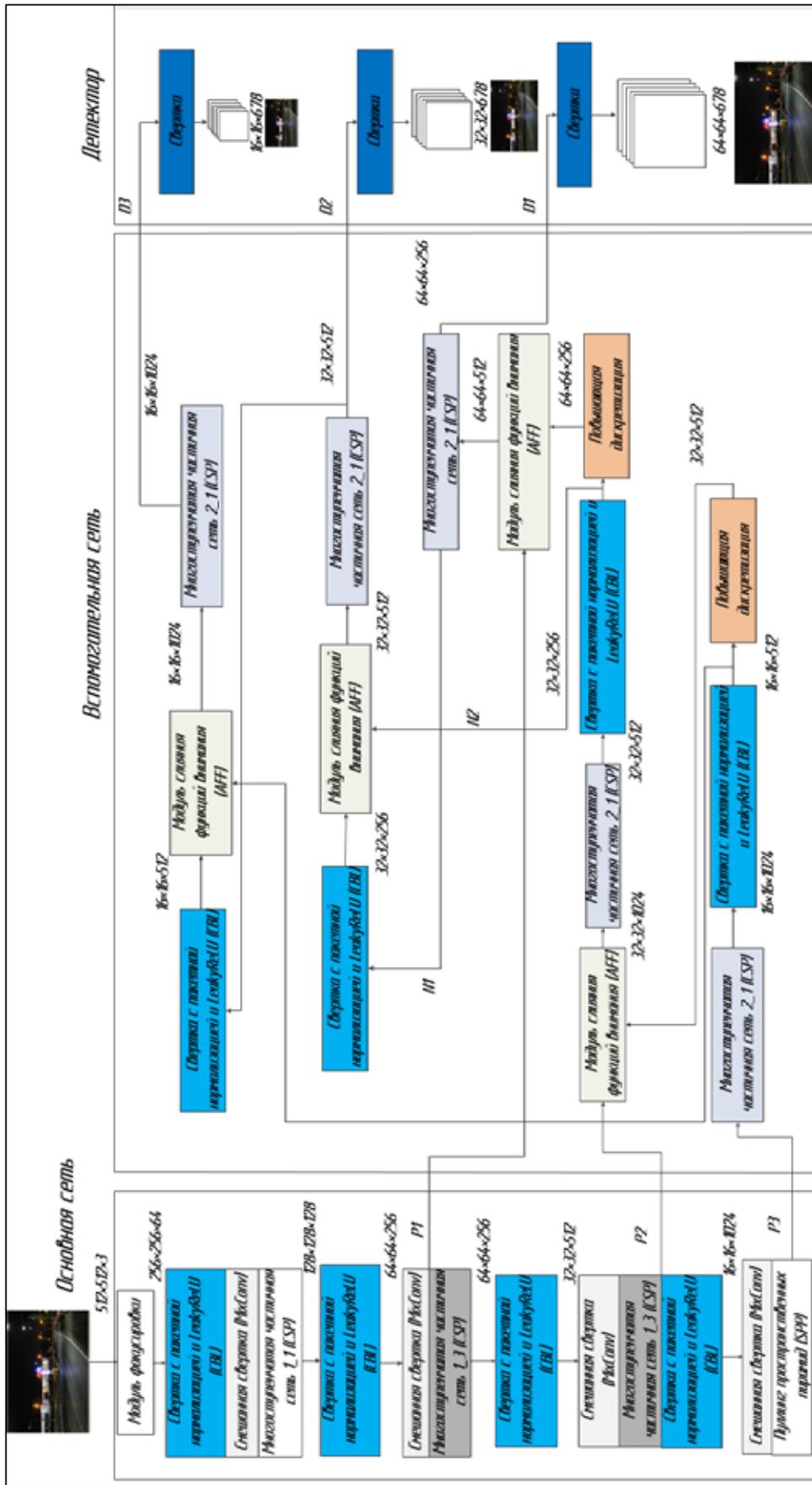


Рис. 1. Общая архитектура предлагаемого подхода

Для повышения эффективности вычислений был предложен одноступенчатый детектор. Одноступенчатый детектор не имеет этапа регионального предложения; вместо этого он предсказывает класс и местоположение объекта и получает конечный результат с помощью одного этапа. Наиболее представительными моделями являются YOLO и SSD. Одноступенчатая модель распознавания дорожных знаков обладает высокой эффективностью, но недостаточной точностью [2].

Общая архитектура модели. Общая архитектура показана на рис. 1. Система состоит из основной сети, вспомогательной сети и детектора. Для того чтобы определить местоположение и класс объекта, необходимо извлечь объекты из изображения и захватить объекты с использованием основной сети для позиционирования и классификации. Была использована смешанная свертка, которая могла выполнять сверточную операцию со смешанными размерами ядра, так что можно было захватывать различные шаблоны с различными разрешениями. С начальными выходными функциями основной сети вспомогательная сеть объединяет функции и адаптирует размер, тем самым улучшая общую производительность архитектуры. Модуль слияния функций внимания (AFF – attentional feature fusion) использовался во вспомогательном слое для объединения функций, полученных из одного и того же слоя или перекрестного слоя, на основе внимания, включая короткие и длинные соединения с пропуском, и даже выполнял начальное слияние внутри себя. Детектор

получает три выходных сигнала от сети и выдает прогноз положения ограничивающей рамки, достоверности объекта и классов объектов для каждого выходного слоя карты объектов. С помощью высококачественных карт объектов каждого слоя обнаружение может быть более точным [3].

Основная сеть для извлечения объектов из изображения. Рассмотрим основную сеть. Основная сеть состояла из модуля фокусировки, свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu), смешанной свертки (MixConv – mix convolution), многоступенчатой частичной сети (CSP – Cross Stage Partial Network) и пуллинга пространственных пирамид (SPP – Spatial Pyramid Pooling). Размер входного изображения составлял $512 \times 512 \times 3$, среди которых 512×512 представляли ширину и высоту в пикселях соответственно, а 3 представляли 3 канала. После модуля фокусировки размер был изменен на $256 \times 256 \times 64$. После следующего модуля свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu) размер стал $128 \times 128 \times 128$.

Модуль фокусировки. Модуль фокусировки изображен на рис. 2.

Модуль фокусировки взял входное изображение размером $512 \times 512 \times 3$ и выполнил операцию нарезки. Эта операция извлекла каждый второй пиксель из изображения аналогично понижающей дискретизации. Затем из входного изображения были получены 4 изображения, 4 изображения дополняли друг друга, и, таким образом, отсутствовали данные.

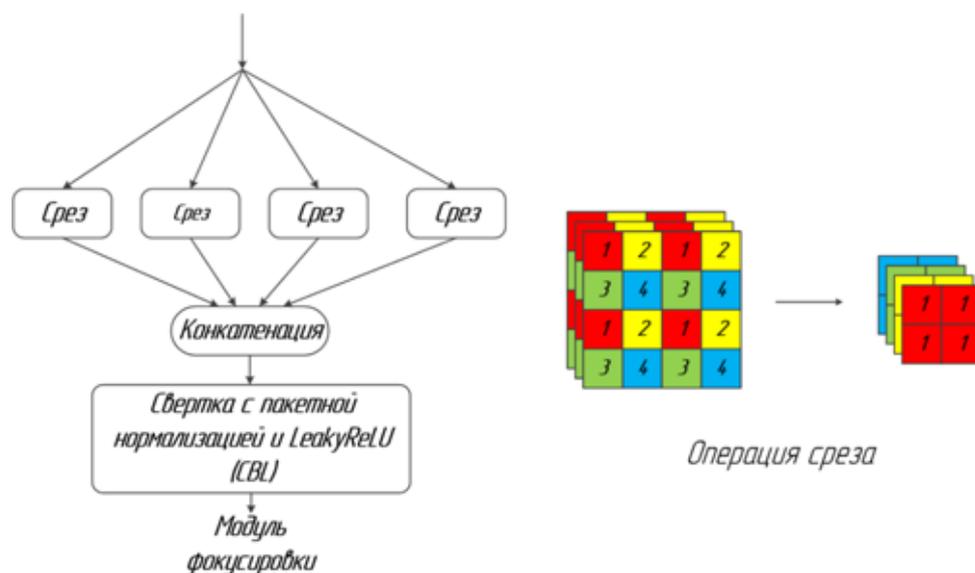


Рис. 2. Модуль фокусировки

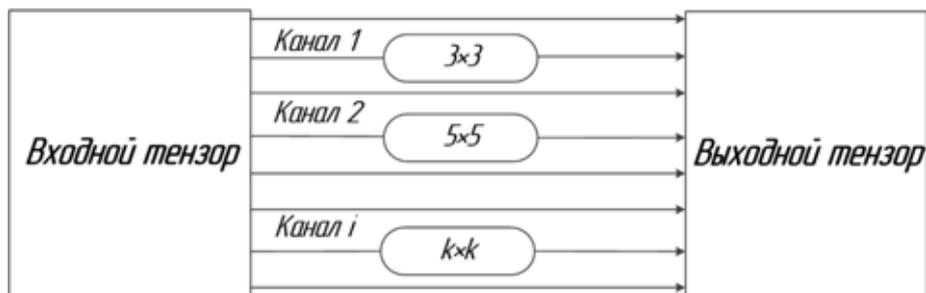


Рис. 3. Смешанная свертка (MixConv – mix convolution)

После этого информация о ширине и информация о высоте были объединены в пространство канала, а входное пространство было расширено в 4 раза. Таким образом, объединенное изображение имело 12 каналов, в то время как исходное изображение имело только 3 канала. Наконец, новое изображение было свернуто для получения двух карт объектов с понижающей дискретизацией без каких-либо отсутствующих данных. В этом случае была получена карта объектов размером $256 \times 256 \times 12$.

Как показано в правом нижнем углу на рис. 2, после операции разрезания изображения изображение размером $4 \times 4 \times 3$ было изменено на карту объектов размером $2 \times 2 \times 12$. После свертки с каналом 64 вывод с размером $256 \times 256 \times 64$ было получено. Модуль фокусировки может помочь уменьшить вычислительную нагрузку при понижающей дискретизации, но он не приведет к отсутствию каких-либо данных. Таким образом, модуль фокусировки может сохранять более полные данные с уменьшением изображения для последующего извлечения объектов [4].

Модуль смешанной свертки. Следующий модуль смешанной свертки (MixConv – mix convolution) (рис. 3) и модуль CSP1_1 не изменили размер, и размер изображения по-прежнему составлял $128 \times 128 \times 128$ после этих двух модулей.

Смешанная свертка (MixConv – mix convolution) смешала различные размеры ядра (3×3 , 5×5 и 7×7) в одной операции свертки, так что различные шаблоны с различными разрешениями могут быть легко зафиксированы.

Входной тензор имеет форму h, w, c и обозначается как $X^{(h, w, c)}$,

где h – высота,
 w – ширина,
 c – размер канала.

Сверточное ядро по глубине может быть обозначено как $W^{(k, k, c, m)}$, где $k \times k$ относится к размеру ядра, c относится к размеру

входного канала, а m относится к множителю канала.

Чтобы упростить анализ, предполагаем, что ядро имеет одинаковую ширину и высоту (k). С учетом этого предположения для выходного тензора $Y^{(h, w, c^*m)}$ были получены одинаковые формы h, w и умноженный размер выходного канала $m \cdot c$. Карта характеристик каждого выходного сигнала может быть рассчитана с помощью формулы

$$Y_{x, y, z}^t = \sum_{\substack{k_t \leq x \leq k_t \\ \frac{k_t}{2} \leq y \leq \frac{k_t}{2}}} \widehat{X}_{x+i, y+j, \frac{z}{m}}^t \cdot W_{i, j, z}^t, \quad \forall z=1, \dots, m \cdot c_t. \quad (1)$$

Как показано на рис. 5, каналы были разделены на несколько групп с помощью смешанной свертки, и разные размеры ядра были применены к разным группам. Более конкретно, входной тензор был разделен на g групп виртуальных тензоров, т.е. $\langle X \wedge^{(h, w, c_1)}, \dots, X \wedge^{(h, w, c_g)} \rangle$.

Пространственная высота и ширина всех виртуальных тензоров были одинаковыми, то есть h и w соответственно. Кроме того, общий размер канала этих виртуальных тензоров был таким же, как и у исходного входного тензора, т.е. $c_1 + c_2 + \dots + c_g = c$. Аналогично, сверточное ядро также было разделено на g групп виртуальных ядер $\langle W \wedge^{(k_1, k_1, c_1, m)}, \dots, W \wedge^{(k_g, k_g, c_g, m)} \rangle$.

Соответствующий виртуальный выходной сигнал для t -й группы виртуальных входных тензоров и ядер может быть вычислен по уравнению

$$Y_{x, y, z}^t = \sum_{\substack{k_t \leq x \leq k_t \\ \frac{k_t}{2} \leq y \leq \frac{k_t}{2}}} \widehat{X}_{x+i, y+j, \frac{z}{m}}^t \cdot W_{i, j, z}^t, \quad \forall z=1, \dots, m \cdot c_t. \quad (2)$$



Рис. 4. Свертка с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL)



Рис. 5. (а) Многоступенчатая частичная сеть (CSP – Cross Stage Partial Network) 1_X,
(б) Многоступенчатая частичная сеть (CSP) 2_X

Конечный выходной тензор может быть получен путем объединения всех виртуальных выходных тензоров:

$$Y_{x,y,z_0} = \text{Concat}\left(\widehat{Y_{x,y,z_1}^1}, \dots, \widehat{Y_{x,y,z_g}^g}\right). \quad (3)$$

Размер канала конечного выходного сигнала равен $z_0 = z_1 + \dots + z_g = m \cdot c$.

Смешанная свертка (MixConv – mix convolution) смешивала различные размеры ядра (3×3 , 5×5 и 7×7) в одной операции свертки, чтобы можно было легко захватывать различные шаблоны с различными разрешениями [5].

Модуль свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU. Следующим шагом был модуль свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu) (рис. 4), который изменил размер изображения на $64 \times 64 \times 256$. Затем модуль свертки не внес никаких изменений в изображение, и размер по-прежнему составлял $64 \times 64 \times 256$. После этого модуль CSP1_3 не изменил размер вывода. Таким образом, выходной сигнал размером $64 \times 64 \times 256$ был записан как P1.

Модуль свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu) в основной сети состоял из функции свертки, пакетной нормализации и LeakyReLU. Остаточный блок использовался в многоступенчатой частич-

ной сети (CSP – Cross Stage Partial Network). Как показано на рис. 5, б, остаточный модуль состоял из двух блоков CBL, которые были подключены непрерывно. Исходный ввод и вывод 2-го модуля свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu) выполняли функцию сложения векторов в качестве выходных данных [6].

Модуль многоступенчатой частичной сети. CSP1_X изображен на рис. 5 в верхней части. Исходный ввод CSP1 проходил через модуль свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu) и X остаточных модулей (ResUnit) (рис. 6). В конце концов он выполнил сверточную функцию для получения временного вывода основного пути. Тем временем исходный ввод выполнил другую сверточную функцию, прошел по другому пути, а затем объединился с выводом основного пути. Результат прошел через нормализацию пакета, LeakyReLU и свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu).

CSP2_X описан на рис. 5 в нижней части, и его структура немного отличается от CSP1_X. В CSP2_X основной путь состоял из $2 \cdot X$ кратных единиц свертки с пакетной нормализацией и LeakyReLU (CBL – Convolution with Batch normalization and LeakyRelu) вместо повторного объединения в CSP1_X.



Рис. 6. Остаточный модуль (ResUnit)

Исходный ввод CSP2_X прошел через $2 \times X$ единицы CBL, а затем сверточную функцию, чтобы получить временный вывод основного пути. Тем временем исходный ввод выполнил другую сверточную функцию, прошел по другому пути, а затем объединился с выводом основного пути. Результат прошел через пакетную нормализацию, LeakyReLU.

В деталях CSP улучшает обучаемость сверточной нейронной сети, сокращает вычислительную сложность, обеспечивает высокую точность и малый вес, а также снижает стоимость памяти. CSP может интегрировать изменения градиента в карту объектов от начала до конца, что может снизить вычислительные затраты при обеспечении точности.

Следующим шагом был модуль CBL, который изменил размер выходного сигнала на $32 \times 32 \times 512$. Затем модуль MixConv не внес никаких изменений в размер, и модуль CSP1_3 на следующем шаге также не изменил размер. Вывод здесь размером $32 \times 32 \times 512$ был записан как P2.

Следующим шагом был модуль CBL, который изменил размер на $16 \times 16 \times 1024$. Затем модуль MixConv и модуль пуллинга пространственных пирамид (SPP – Spatial Pyramid Pooling) на следующем шаге не изменили размер вывода. Вывод здесь размером $16 \times 16 \times 1024$ был записан как P3 [7].

Заключение

В данной статье продемонстрирована система распознавания дорожных знаков распознавания дорожных знаков, основанная на сверточной нейронной сети, для повышения точности обнаружения и распознавания дорожных знаков [8].

Список литературы

1. Dhar P., Abedin Md.Z., Biswas T. Traffic sign detection – A new approach and recognition using convolution neural network. IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference. 2017. P. 416–419.
2. Смольянинов В.А., Белов Ю.С. Проектирование программного комплекса обнаружения и распознавания дорожных знаков в потоковом видео // Научное обозрение. Технические науки. 2021. № 4. С. 16–21.
3. Pei S., Tang F., Ji Y., Fan J., Ning Z. Localized traffic sign detection with multi-scale deconvolution networks. IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC). 2018. P. 355–360.
4. Belghaouti O., Handouzi W., Tabaa M. Improved traffic sign recognition using deep ConvNet architecture. Procedia Computer Science. 2020. Vol. 177. P. 468–473.
5. Saadna Y., Behloul A. An overview of traffic sign detection and classification methods. International Journal of Multimedia Information Retrieval 6. 2017. P. 193–210.
6. Аккуратов В.В., Белов Ю.С. Выбор архитектуры приложения для задачи распознавания дорожных знаков // Наука, техника и образование. 2018. № 3 (21). С. 26–34.
7. Tabernik D., Skocaj D. Deep learning for large-scale traffic-sign detection and recognition. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. Vol. 21, No. 4. P. 1427–1440.
8. Sheikh M.A.A., Kole A., Maity T. Traffic sign detection and classification using colour feature and neural network. Conference on Intelligent Control Power and Instrumentation (ICICPI). 2016. P. 307–311.

УДК 004.722

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СЕТЕВЫХ СТРУКТУР

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Смирнов М.Е.

ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Калужский филиал, Калуга,
e-mail: patrol8@yandex.ru

Использование сетевых структур получает всё большее распространение в совершенно различных отраслях науки и техники (известны компьютерные, нейронные, логистические, социальные и прочие типы сетей). Это связано с появлением всё более сложных способов взаимодействия отдельных объектов, а также с разработкой методов исследования уже существующих комплексных систем (например, живых существ). Чем больше объектов и связей между ними включает в себя сеть, тем сложнее становится её наглядная визуализация. Данная статья посвящена разработке такого метода представления топологии сложной сети, который наиболее явным образом отображает её особенности. Так как без применения средств автоматизации решить эту задачу невозможно, было решено выбрать в качестве инструмента современный широко распространённый язык программирования Python. При разработке программных кодов понадобилось также использовать библиотеку функций (модуль) для работы с сетями NetworkX и ряд дополнительных модулей для осуществления компоновки узлов и рёбер сетей и вывода качественных изображений на экран компьютера и в графический файл. В начале статьи описаны методы визуализации топологии сетей, имеющих сравнительно простую структуру. Однако далее показано, что по мере усложнения топологии данные методы теряют свою наглядность. В процессе исследований авторам удалось подобрать средства отображения элементов сетей и даже параметров их узлов, с использованием которых можно добиться понимания степени сложности сетевой структуры практически с первого взгляда. Это доказано на примере автоматизации визуализации топологии нейросетевой структуры живого существа – нематоды *C. elegans*. В конце работы приведены рекомендации по использованию технологий обработки баз числовых данных (описывающих параметры узлов сетей и их связи) в разнообразных случаях с целью графического отображения сетевой топологии.

Ключевые слова: сетевая структура, топология сети, визуализация, язык Python, библиотека NetworkX, модуль Graphviz, модуль Matplotlib

NETWORK STRUCTURE TOPOLOGY VISUALIZATION AUTOMATION

Ilichev V.Yu., Yurik E.A., Smirnov M.E.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga,
e-mail: patrol8@yandex.ru

Use of network structures is becoming more widespread in different branches of science and technology (computer, neural, logistics, social and other types of networks are known). This is due to emergence of increasingly complex ways of interaction between individual objects, development of methods for studying already existing complex systems. More objects and connections between them include a network, more difficult its visualization becomes. This article is devoted to development of such a method for representing topology of complex network, which most clearly displays its features. Since it is impossible to solve this problem without using automation tools, it was decided to choose modern widespread Python programming language. When developing program codes, it was also necessary to use module for working with NetworkX and additional modules for assembling nodes and edges of networks and displaying high-quality images. Beginning of article describes methods for visualizing topology of networks with relatively simple structure. However, shown than topology becomes more complex, these methods lose visibility. In process of research, authors managed to choose means of displaying network elements and even parameters of their nodes, using which one can achieve an understanding degree of complexity of network structure almost at first glance. This has been proven by visualization of automation of topology of nematode *C. elegans*. At the end of this work, you will find recommendations on how to use numeric database processing technologies (describing the parameters of network nodes and their connection) in a variety of cases in order to graphically display network topology.

Keywords: network structure, network topology, visualization, Python language, NetworkX library, Graphviz module, Matplotlib module

В современном мире огромное множество однотипных объектов являются связанными между собой, образуя сетевые структуры [1]. Яркими примерами могут служить локальные и глобальные компьютерные и транспортные сети, социальные связи между людьми (сотрудничество учёных в разных организациях, городах и странах), финансовые связи между денежными пото-

ками, взаимодействие предприятий (каждое из которых осуществляет свою стадию цикла проектирования и изготовления изделий), нейронные связи в организмах и т.д. [2]. Появляются и новые модели сетевых структур, в том числе созданные авторами данной статьи [3], позволяющие усовершенствовать методики исследований многих объектов и процессов. Как правило, сетевые структу-

ры являются очень сложными по структуре и топологии (по способу взаимного соединения их компонентов) [4, 5].

Для упрощения разработки и анализа сетей они представляются в виде набора так называемых узловых точек (или узлов), которые соединяются с помощью связей, называемых рёбрами. Если информационный, энергетический или материальный поток может распространяться по ребру только в одном направлении, такое ребро называется направленным. Если все рёбра сети являются направленными, то вся сеть является направленным графом; если все связи могут осуществляться в двух направлениях, то это ненаправленный граф [6].

Граф является визуализацией сетевой структуры, и его топология может иметь совершенно разное строение. В общем случае (при отсутствии ярко выраженной закономерности) топология является смешанной, однако во многих случаях связи подчинены некоей закономерности (называемой, например, звездой, шиной, кольцом, деревом, а также обозначаемой прочими терминами). Весьма сложной, а иногда неразрешимой задачей является построение графа, состоящего из десятков, сотен и тысяч узлов и рёбер, «вручную». В таких случаях необходимо прибегать к современным средствам автоматизации.

Цель данной работы состоит в создании методики построения сложных сетей и получения в результате этого процесса наглядного графического изображения их топологии, с использованием такого программного инструментария, как язык Python [7] совместно с рядом специальных библиотек функций. Также необходимо привести ряд примеров, наглядно демонстрирующих полученные результаты и позволяющих проиллюстрировать начальный анализ топологии каждой изображённой сети.

Высокоуровневый язык Python выбран по причине того, что он позволяет создавать производительный и легко читаемый программный код, а также является свободно распространяемым продуктом. Для Python существует библиотека функций (модуль) NetworkX [8], предназначенная для обработки баз данных, представляющих из себя строки с обозначением соединяемых узлов и их основных параметров (атрибутов) и преобразования их в «сетевые» базы. Помимо этого, данный модуль, совместно с библиотекой Matplotlib [9], позволяет выводить созданную базу в виде графа, по-разному отображаемого на плоскости. Задачей является выбор наиболее наглядных способов отображения, позволяющих судить о топологии сети.

С помощью вышеупомянутых модулей, а также дополнительной библиотеки NumPy [10] можно автоматизировать анализ взаимозависимости характеристик топологии, выводимых в виде линейных графиков и гистограмм. Например, можно построить зависимость степеней узлов в сети (количества подсоединённых к ним рёбер) от их ранга (ранг обозначает узлы с одним и тем же количеством подключённых рёбер в порядке его возрастания).

Материалы и методы исследования

Рассмотрим методы визуализации топологии сетей, начиная с самых простых и заканчивая очень сложными.

Самой простой является программа визуализации и записи в графический файл топологии так называемой безмасштабной сети со случайным расположением узлов, состоящей всего из 6 строк кода на Python, однако позволяющей продемонстрировать базовые команды, необходимые для решения обозначенной цели исследования. Разберём код построчно:

1. `import networkx as nx` – импорт модуля работы с графами и сетями NetworkX.
2. `import matplotlib.pyplot as plt` – импорт модуля графического вывода Matplotlib.
3. `D=nx.random_graphs.barabasi_albert_graph(20,1)` – создание безмасштабной сети D со случайным расположением 20 узлов и с добавлением ребра к последующему создаваемому узлу.
4. `nx.draw(D,pos=nx.random_layout(D),node_size=25)` – топологизация (присвоение случайных значений координат узлам с условным размером 25) созданной сети D.
5. `plt.savefig(«net.png»)` – сохранение изображения сети в виде графического файла.
6. `plt.show()` – вывод изображения сети на экран.

Как видно из кода программы, она состоит из трёх блоков: импорт необходимых библиотек функций (модулей), использование модуля NetworkX для создания сети в виде базы данных координат её узлов, визуализация сети с использованием библиотеки Matplotlib. Результат работы программы приведён на рис. 1.

Так как координаты узлов создаются по случайному алгоритму, то при каждом запуске программы они будут располагаться в разных местах.

Теперь рассмотрим процесс визуализации сети, получаемой путём обработки базы данных, включающей в себя координаты узлов. В качестве такой базы данных взят файл, размещённый в [11] и представляющий из себя набор данных, собранный ещё в 1930-х гг. В нём содержится информация

о социальных связях 18 женщин. Исходный файл данных содержит 278 строк, в каждой из которых указан начальный узел (номер одной женщины) и конечный узел (номер другой женщины), а также «вес» узлов, который во всех случаях равен 1 (это означает, что тип узлов одинаков). Таким образом, при визуализации связей каждая строка обозначает одно из рёбер графа (сети), которых соответственно насчитывается 278.

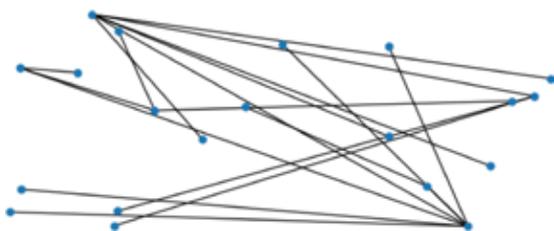


Рис. 1. Сеть (ненаправленный граф) со случайным расположением узлов

При создании сети из базы данных применяются дополнительные функции модуля NetworkX, например, Graph() для создания «пустого» графа, последовательно пополняемого данными о соединениях и «весах» узлов, которые затем сортируются на плоскости и соединяются рёбрами с целью создания топологии, определяемой алгоритмом этой сортировки.

Для создания топологии сети можно использовать множество методов. Рассмотрим один из них – spring_layout («пружинная компоновка»), при котором узлы позиционируются с помощью силового алгоритма Фрухтермана – Рейнгольда. Алгоритм рассматривает рёбра как пружины, притягивающие узлы как можно ближе друг к другу; узлы же при этом рассматриваются как отталкивающиеся из-за антигравитационной силы объекты. Моделирование продолжается до тех пор, пока действие сил на узлы не будет взаимно уравновешено.

Визуализация топологии сети, полученной из описанной выше базы данных с помощью метода spring_layout, представлена на рис. 2.

Несмотря на то, что анализируемая сеть отличается от предыдущей рассмотренной в данной статье гораздо большим количеством связей, выводимое визуальное изображение её топографии отличается компактностью. Также здесь все узлы снабжены маркерами, что также упрощает понимание топографии. Однако ясно, что даже при 18 узлах сложно проследить количество связей между ними, поэтому необходимо подобрать лучший для восприятия метод визуализации сети.

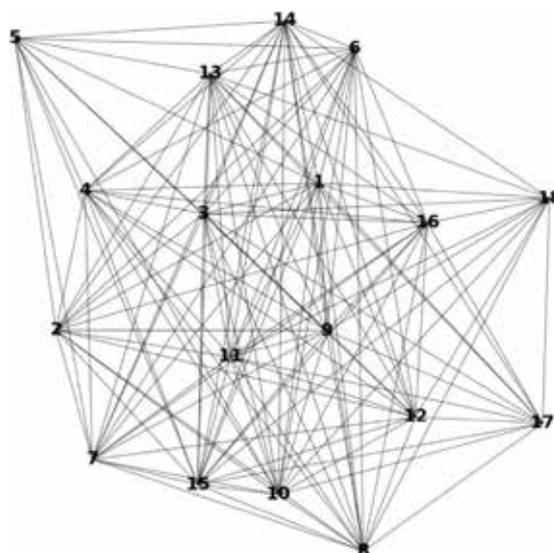


Рис. 2. Визуальное изображение топологии сети с 18 узлами, полученное с помощью пружинной компоновки

После детального изучения множества доступных в NetworkX методов отображения топологии, был выбран наиболее наглядный метод «круговой компоновки», использующий ещё один модуль Python, называемый Graphviz [12]. Этот метод был разработан Грэмом Уиллисом ещё в 1997 г. При его применении узлы размещаются на концентрических окружностях в зависимости от их расстояния от заданного корневого узла.

На рис. 3 показан результат применения круговой компоновки при построении сети по той же базе данных, что и рис. 2.

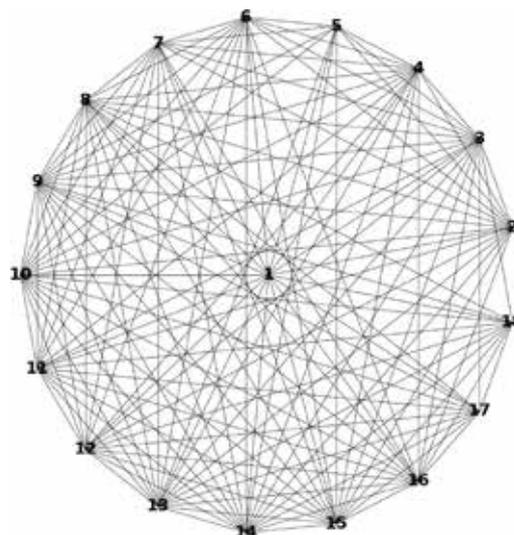


Рис. 3. Визуальное изображение топологии сети с 18 узлами, полученное с помощью круговой компоновки

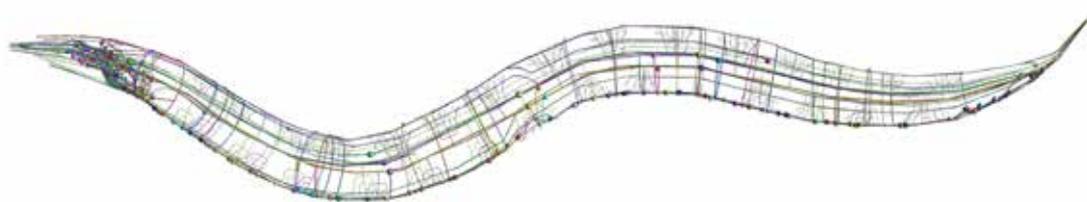


Рис. 4. Анатомическая модель нейронных связей нематоды *C. elegans*

Круговая компоновка отличается от всех прочих высокой наглядностью взаимосвязей между узлами сети; кроме того её можно охарактеризовать как наиболее эстетичную в плане восприятия.

Очень интересно было рассмотреть, как будет выглядеть при выбранной компоновке очень сложная сеть, автоматически построенная по разработанному алгоритму. В качестве примера решено было использовать популярную в исследовательской среде нейросеть червя-нематоды *C. elegans*. Нейросеть данного многоклеточного организма хорошо изучена, и на данный момент известна информация обо всех его нейронах и о соединяющих их рёбрах.

Анатомическое расположение нейронов и связей между ними представлено на рис. 4.

База данных, содержащая сведения о нейросети нематоды (разработана в 2014 г.), доступна на сайте [13] и состоит из 2349 строк. Каждая строка содержит не только номера начальных и конечных связанных узлов (нейронов), которых насчитывается 306, но и количество щелевых контактов с соседними клетками в качестве «веса» начального узла (имеющих значение от 1 до 70).

Применение технологии круговой компоновки сети в данном случае даёт картину, показанную на рис. 5.

В дополнение к описанному выше средствам визуализации топологии столь сложной сети разными цветами радуги показаны веса узлов (третий параметр каждой строки обрабатываемого файла). Если вес равен единице, то узел обозначен тёмным (фиолетовым) цветом; чем больше вес узла, тем более яркий цвет ему соответствует. Например, максимальному весу 70 соответствует жёлтый цвет изображаемого узла. Номера узлов на рисунок не выводятся ввиду их очень большого количества.

Так как при большом количестве данных проследить связи между узлами становится проблематично на столь небольшой иллюстрации даже при использовании наилучшего метода визуализации, рекомендуется увеличивать масштаб изображения.

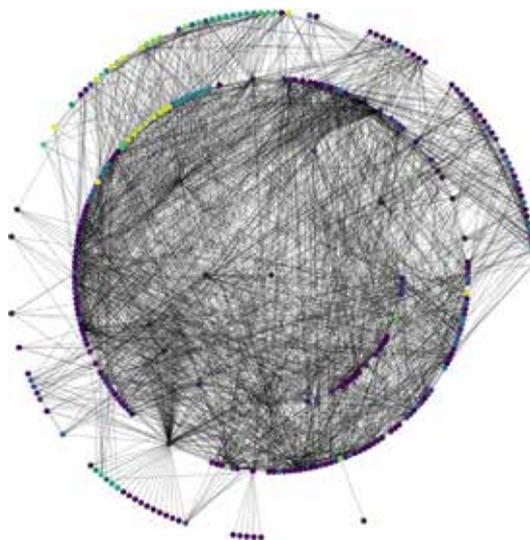


Рис. 5. Выбранный вариант наглядного визуального отображения топологии нейронной сети нематоды *C. elegans*

Заключение

Разработанные в ходе проведения работы методика и программа для автоматизации визуализации топологии сложных сетей обладают несомненными достоинствами по сравнению с методами, рассмотренными в начале статьи, так как они позволяют:

- наглядно показать узлы и связи между ними (тогда как исходный файл с численными значениями не обладает свойством какой-либо наглядности);

- с первого взгляда оценить степень сложности топологии, что является очень важным, например, при сравнении сетей разного типа и выбора из них наиболее приемлемой для проектировщика компоновки;

- узнать веса узлов (в качестве весов могут выступать разные параметры, например, в случае исследования компьютерных сетей цветом можно обозначить время пинга узлов).

Перечисленные достоинства приобретают особую важность при обучении будущих специалистов – проектировщиков сетей любого вида. Последний продемонстрированный пример показывает, что описанные

средства можно применять не только в биологии и в нейросетевом программировании, но даже и при создании робота, имитирующего реакции живого организма (в случае реализации в нём созданной сети). Также некоторые примеры сфер использования методов визуализации топологии сетей приведены в начале статьи, однако данные сферы постоянно расширяются. По этой причине любому учёному (и не только) желательно освоить разобранные в статье технологии, основанные на самом современном и крайне популярном языке программирования Python с применением специальных библиотек функций.

Также всем заинтересовавшимся данной темой авторы статьи рекомендуют самостоятельно попробовать и выбрать для решения своих задач методы визуализации топологии сетей, так как для них может оказаться более наглядным другой вид компоновки (коих в рассмотренной библиотеке Graphviz для Python насчитывается множество [14], и они постоянно пополняются и совершенствуются).

Список литературы

1. Глузов А.А. Концептуальные подходы к определению сетевых структур // Новая индустриализация: мировое, национальное, региональное измерение: материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 8–12.
2. Пальгуев Д.А. Сочетание алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы как инструмент построения информационной системы сетевой структуры // Радиопромышленность. 2021. Т. 31. № 2. С. 49–60.
3. Ильичев В.Ю. Использование нитевидных структур для изучения свойств пиксельных изображений и формирования нового типа // Сложные системы. 2021. № 4 (41). С. 12–21.
4. Kirpichnikova I.M., Uskov A.Yu., Tsimbol A.I. Electrical load control systems based on wireless data networks with self-organizing topology. Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering. 2020. Т. 20. № 1. С. 85–93.
5. Ilyichev V.Yu. Numerical implementation of Poincaré recurrence theory using Arnold mappings. International Research Journal. 2021. № 6–1 (108). С. 90–94.
6. Ильичев В.Ю., Илюхин И.Ю. Создание методик программной визуализации моделей теории графов // Научное обозрение. Технические науки. 2022. № 2. С. 16–20.
7. Таршхоева Ж.Т. Язык программирования Python. Библиотеки Python // Молодой ученый. 2021. № 5 (347). С. 20–21.
8. Волков Д.А., Селезнев Е.А. Разработка приложения для исследования надежности системы на основе марковских процессов // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2022. № 5 (586). С. 41–48.
9. Ilichev V.Yu. Development of program for determination of fractal dimensions of images // International Research Journal. 2021. № 4–1 (106). С. 6–10.
10. Пылов П.А., Протодьяконов А.В. Использование и представление массивов в библиотеке Numpy // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 23. С. 258–266.
11. Tore Opsahl. Network 13: Davis' Southern Women Club. [Электронный ресурс]. URL: <https://toreopsahl.com/datasets/#southernwomen> (дата обращения: 01.06.2022).
12. Сафронова М.Е. Разработка методики использования библиотеки Graphviz для создания направленных графов // E-Scio. 2022. № 3 (66). С. 630–638.
13. Tore Opsahl. Network 6: The Caenorhabditis elegans worm's neural network. [Электронный ресурс]. URL: <https://toreopsahl.com/datasets/#southernwomen> (дата обращения: 01.06.2022).
14. Graphviz. Layout engines. [Электронный ресурс]. URL: <https://graphviz.org/docs/layouts/> (дата обращения: 01.06.2022).

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ

Науменко Н.А., Соловьев Н.А.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,
e-mail: povtas@mail.osu.ru

Акустический шум – такой же индивидуальный признак технического состояния агрегата, как для человека отпечатки пальцев. В статье представлены результаты решения задачи теоретико-экспериментального обоснования методики идентификации технического состояния узлов двигателя внутреннего сгорания. Доказана необходимость и актуальность автоматизации информационных процессов неразрушающей диагностики кинематических узлов двигателя. Объектом моделирования является акустический шум двигателя внутреннего сгорания с дефектами кинематических узлов. Основным признаком оценки технического состояния – звуковые сигналы работающего двигателя. Математический аппарат моделирования – дискретное оконное преобразование Фурье. С использованием пакета прикладных программ получены спектры акустического шума исправной кинематики и дефектов двух кинематических узлов: кривошипно-шатунного механизма и газораспределительного механизма бензинового двигателя, выявление которых без полной разборки агрегата невозможно. Определены признаки спектров исправных узлов и узлов с дефектами. Задача идентификации технического состояния решалась методом кластерного анализа – «манхэттенское расстояние». Полученные результаты протестированы с использованием экспериментальных данных, и подтверждена эффективность предложенной методики неразрушающего контроля с достоверностью более 80%. Недостатком методики является необходимость производить измерения на оборотах, заданных с большой точностью, так как уровень акустического шума в большой степени зависит от скорости соударения кинематически связанных деталей двигателя, то есть от числа оборотов. Предложенная методика не дает точного ответа, какой узел или элемент двигателя внутреннего сгорания вышел из строя, она только позволяет определить отклонения от исходного состояния, но не выявляет причину данного отклонения.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, кинематика, идентификация дефектов, акустический шум, спектральный анализ

ACOUSTIC NOISE MODELING FOR TECHNICAL CONDITION IDENTIFICATION KINEMATIC NODES

Naumenko N.A., Solovev N.A.

Orenburg State University, Orenburg, e-mail: povtas@mail.osu.ru

Acoustic noise of kinematic units is the same sign of the technical condition of the unit as human fingerprints. The article presents the results of solving the problem of theoretical and experimental substantiation of the technique for identifying the technical condition of internal combustion engine components. The necessity and relevance of automation of information processes of non-destructive diagnostics of kinematic engine units is proved. The object of simulation is the acoustic noise of an internal combustion engine with defects in kinematic units. The main sign of assessing the technical condition is the sound signals of a running engine. The mathematical apparatus of modeling is the discrete windowed Fourier transform. Using the package of applied programs, the acoustic noise spectra of serviceable kinematics and defects of two kinematic assemblies were obtained: the crank mechanism and the gas distribution mechanism of a gasoline engine, which cannot be identified without a complete disassembly of the unit. The features of the spectra of serviceable nodes and nodes with defects are determined. The task of identifying the technical condition was solved by the method of cluster analysis – “Manhattan distance”. The results obtained were tested using experimental data and the effectiveness of the proposed non-destructive testing technique was confirmed with a reliability of more than 80%. The disadvantage of the technique is the need to make measurements at revolutions specified with great accuracy, since the level of acoustic noise to a large extent depends on the speed of impact of kinematically connected engine parts, that is, on the number of revolutions. The proposed method does not give an exact answer, which unit or element of the internal combustion engine has failed, it only allows you to determine deviations from the initial state, but does not reveal the cause of this deviation.

Keywords: internal state engine, kinematics, defect identification, acoustic noise, spectral analysis

Известно [1], что задача распознавания технического состояния двигателя внутреннего сгорания (ДВС) по звуку поставлена более 40 лет назад, но до сих пор результаты исследований далеки от требуемых. Однако опытные автомеханики уже давно используют на практике акустический метод, определяя целый ряд дефектов «на слух» по характерному звуку работающего двигателя. За последние годы достоверность

автоматизированной идентификации дефектов ДВС значительно возросла, однако остаются актуальными экспериментальные исследования существующих алгоритмов и поиск новых решений в области идентификации технического состояния конкретных узлов.

Широкое распространение звука для идентификации технического состояния различных агрегатов (неразрушающая диа-

гностика) открывает большие возможности для применения данного идентификатора и подтверждает актуальность автоматизации процесса идентификации технического состояния подвижных объектов по акустическому шуму.

Исследованиям цифровой обработки сигналов для идентификации технического состояния оборудования посвящены работы российских ученых Ф.Я. Балицкого, А.В. Баркова [2], В.Э. Дрейзина [3], С.В. Жернакова [4] и др. Поскольку акустический шум ДВС не является строго периодичным и стационарным, достоверность идентификации технического состояния ДВС остается низкой [5, 6].

Цель работы – автоматизация информационных процессов идентификации технического состояния подвижных кинематических узлов ДВС по акустическому шуму.

Материалы и методы исследования

Для получения дополнительной информации об акустическом сигнале используется преобразование Фурье [6, 7]. Звуковые сигналы представляются во временной области зависимостью их амплитуды от времени. Преобразование Фурье позволяет перейти от временного представления сигнала к частотному, тем самым расширяя пространство признаков идентификации. Сущность временного и частотного из-

мерений звукового сигнала представлена на рис. 1.

Цифровая обработка звукового сигнала основывается с дискретными преобразованиями Фурье [5] вида

$$S_o(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) e^{\frac{-2\pi i}{N} kn}, \quad (1)$$

где $S_o(\omega)$ – спектр дискретного сигнала на частоте ω ;

k – k -й отсчет спектра дискретного сигнала;

$s(n)$ – n -й отсчет временной последовательности;

N – число ненулевых отсчетов в выборке.

Для учета особенностей акустического шума ДВС используется оконное преобразование Фурье с движущейся по сигналу оконной функцией. Временной интервал сигнала разделяется на окна (фрагменты на рис. 2), и преобразование Фурье выполняется для каждого окна последовательно в отдельности [5]. Тем самым выполняется переход к частотно-временному представлению сигналов, при этом в пределах каждого окна сигнал считается стационарным. Этот способ позволяет получать, исследовать и строить в виде спектрограмм динамические спектры и анализировать их поведение во времени. Спектрограмма строится в трех координатах — частота, время и амплитуда.

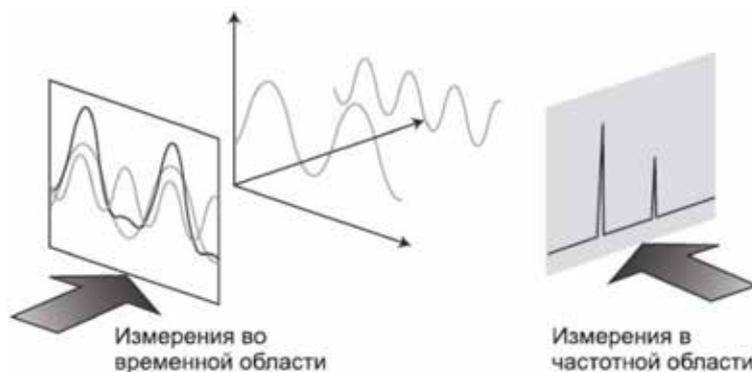


Рис. 1. Сущность преобразования Фурье

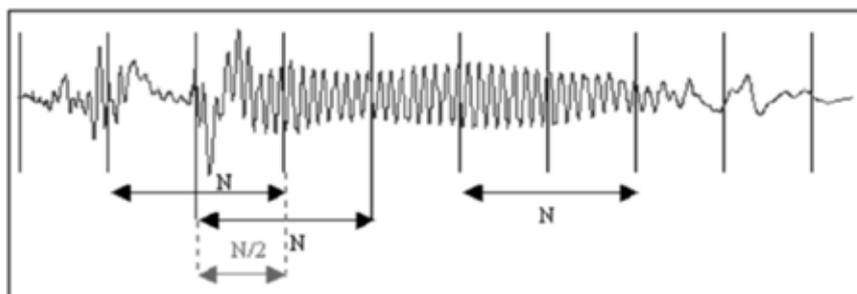


Рис. 2. Разбиение звукового сигнала на фрагменты

Для устранения разрыва на границах периодов используется умножение каждого фрагмента на оконную функцию. В качестве оконной функции чаще всего используется функция Хэмминга (по сравнению с прямоугольным окном реализует более высокое разрешение по частоте, но хуже – по амплитуде) вида

$$W(\tau - t) = 0,54 - 0,46 \cos \frac{2\pi t}{N}, \quad (2)$$

Дискретное оконное преобразование Фурье (1) акустического шума можно представить в виде [5]:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp\left(-j \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot n \cdot k\right) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot W^{nk}, \quad (3)$$

где $S(k)$ – k -й отсчет выходного спектра;
 k – индекс отсчета дискретного преобразования Фурье ($k = 0, \dots, N-1$);
 $s(n)$ – n -й отсчет входной последовательности;
 n – индекс временного отсчета сигнала;
 $W^{nk} = \exp\left(-j \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot n \cdot k\right)$ – коэффици-

енты дискретного преобразования Фурье. По коэффициентам дискретного преобразования Фурье можно говорить о свойствах анализируемых процессов акустического шума.

При экспериментальных исследованиях использовано оконное преобразование Фурье с прямоугольным весовым окном (простота реализации при относительно высоком разрешении по частоте):

$$\omega(n) = \begin{cases} 1, & n \in [0, N-1] \\ 0, & n \notin [0, N-1] \end{cases}.$$

Окно генерируется автоматически при ограничении выборки N отсчетами. Максимальный уровень боковых лепестков частотной характеристики составляет 13 дБ.

Задача идентификации технического состояния кинематических узлов ДВС решалась методом «манхэттенское расстояние», т.е. вычислением расстояния от вектора признаков пробного сигнала p (состояние, определенное после экспериментально определенного спектра и подтвержденное после полной разборки ДВС) до вектора признаков q на основе шаблона (исправное состояние) с использованием пакета STATISTICA Automated Neural Networks Code Generator (выбор инструментов определяется возможностью автогенерации программного кода) [5]:

$$d_1(p, q) = p - q_1 = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i|, \quad (4)$$

где $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ – векторы спектральных признаков технического состояния кинематических узлов ДВС.

Таким образом, предложенная методика моделирования акустического сигнала позволяет идентифицировать техническое состояние различных кинематических узлов.

Результаты исследования и их обсуждение

При использовании пакета прикладных программ MATLAB получены спектры акустического шума кинематических узлов ДВС в различных технических состояниях, результаты которого представлены на рис. 3–5.

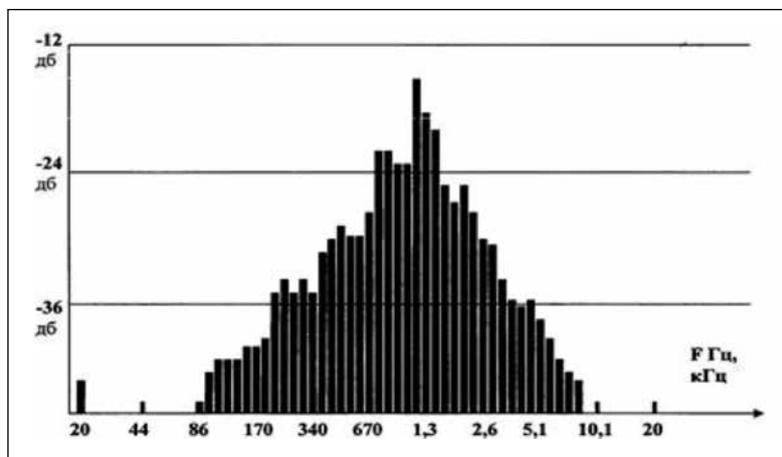


Рис. 3. Спектр акустического шума бензинового двигателя в исправном состоянии

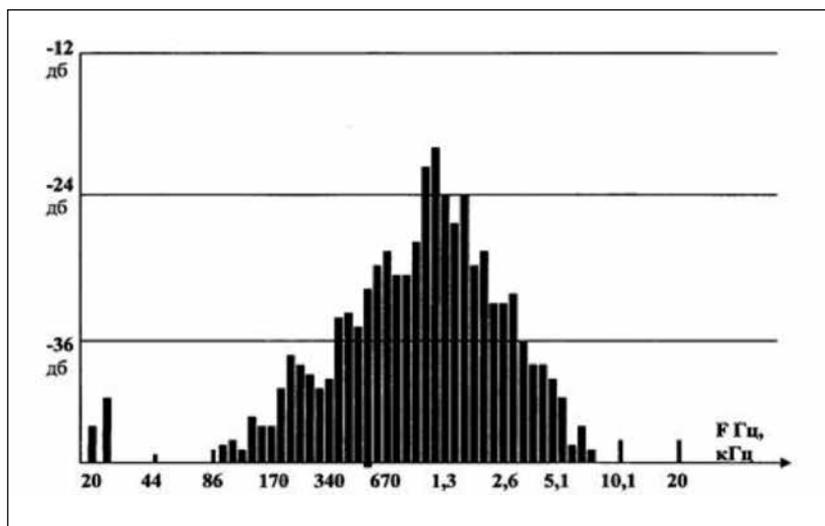


Рис. 4. Спектр акустического шума бензинового ДВС при неисправном кривошипно-шатунном механизме

Спектрограмма акустического шума бензинового двигателя в исправном состоянии (новый автомобиль) построена при работе ДВС на холостом ходу (частота вращения 1000 об/мин) на неподвижном автомобиле. Анализ спектрограммы показал, что диапазон частот спектра лежит в пределах (с учетом уровня боковых лепестков 13дБ) 100–6000 гц, с явно выраженным максимумом в 10 дБ на частоте 1,3 кГц.

Спектрограмма акустического шума бензинового двигателя при дефектах кривошипно-шатунного механизма (установлено после разборки двигателя) построена при тех же условиях эксперимента. Ана-

лиз спектрограммы показал, что диапазон частот спектра в области нижних частот увеличился до 200 Гц, в области высоких частот уменьшился в два раза (до 5,1 КГц), с теми же величинами пика спектрограммы.

Спектрограмма акустического шума бензинового двигателя при дефектах кинематики блока головки распределения (установлено после разборки двигателя) построена при тех же условиях эксперимента. Анализ спектрограммы показал, что диапазон частот спектра в области нижних частот увеличился до 200 Гц, в области высоких частот уменьшился в два раза (до 4 КГц), с теми же величинами пика спектрограммы.

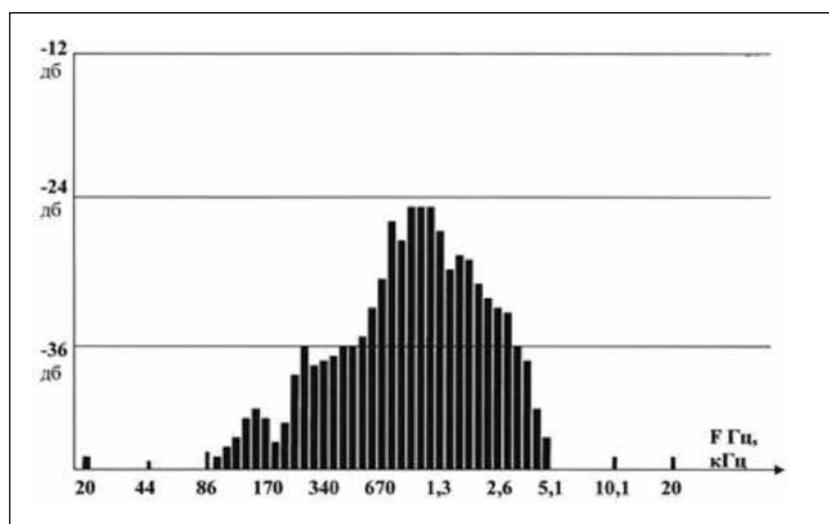


Рис. 5. Спектр акустического шума бензинового ДВС при дефектах кинематики блока головки распределения

Вероятности правильной идентификации технического состояния кинематических узлов ДВС

Количество состояний	Количество тестов	Вероятность идентификации, %
2 (исправно, неисправно)	10	88
3 (исправно, неисправно, сомнительно)	20	81
4 (исправно, неисправно, сомнительно, ремонту не подлежит)	20	72

Таким образом, каждая спектрограмма имеет свой идентификационный образ, который может быть однозначно отнесен к конкретной форме дефекта определенного узла кинематики двигателя. При повышении частоты вращения коленвала форма спектра изменяется (приводит к разрывности исходной функции, к искажению (расширению) частотного спектра).

Результаты серии экспериментов по определению вероятности распознавания акустического шума приведены в таблице.

Предложенная методика позволяет определить отклонения от исправного технического состояния узла ДВС, но не выявляет причину выявленного отклонения. Кроме того, недостатком методики является необходимость производить измерения на оборотах, заданных с большой точностью, так как уровень акустического шума в значительной степени зависит от скорости соударения кинематически связанных деталей двигателя, то есть от числа оборотов ДВС.

Для расширения области применения методики идентификации технического состояния ДВС необходимо продолжить экспериментальные исследования акустических шумов других узлов двигателя для формирования базы данных звуковых образов дефектов кинематики ДВС. При этом необходимо учесть то, что некоторые дефекты агрегатов ДВС (отказ катушки зажигания, некорректность создания топливной смеси, неисправность цилиндров) могут привести к получению спектра, близкого к спектрограмме кинематики, что потребует необходимости расширения пространства признаков оценки технического состояния ДВС.

Выводы

1. Доказана возможность идентификации технического состояния кинематических узлов по акустическому шуму без полной разборки двигателя (неразрушающий контроль агрегатов).

2. На основе эмпирического метода моделирования описана спектральная модель технического состояния кинематических агрегатов в форме оконного дискретного преобразования Фурье.

3. Недостатком методики является необходимость производить измерения на оборотах, заданных с большой точностью, так как уровень акустического шума в большой степени зависит от скорости соударения кинематически связанных деталей двигателя, то есть от числа оборотов.

4. Предложенная методика не дает точного ответа, какой узел или элемент двигателя внутреннего сгорания вышел из строя, она только позволяет определить отклонения от исходного состояния, но не выявляет причину данного отклонения.

Список литературы

1. Науменко Н.А., Соловьев Н.А. Системный анализ проблем автоматизации мониторинга технического состояния кинематических узлов по акустическому сигналу // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 72. С. 84–87.
2. Балицкий Ф.Я., Барков А.В., Баркова Н.А. Вибродиагностика. Неразрушающий контроль. Справочник. М.: Машиностроение, 2005. 829 с.
3. Дрейзин В.Э., Касем М.М., Сабельников Д.С. Акустическая диагностика автомобильных двигателей. Анализ возможностей и теоретические и практические предпосылки // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 4. С. 48–56.
4. Пестриков В.М., Евкарпиев В.Е. Особенности диагностики современных транспортных средств // Техно-технологические проблемы сервиса. 2014. № 4 (30). С. 14-19.
5. Соловьев Н.А., Тишина Н.А., Юркевская Л.А. Цифровая обработка информации в задачах и примерах: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2016. 122 с.
6. Горбачев А.А. Диагностика двигателя внутреннего сгорания автомобиля по акустическому излучению // Теория и практика современной науки. 2016. № 6–1 (12). С. 275.
7. Лянденбургский В.В., Тарасов А.И., Судьев В.В. Алгоритм поиска неисправностей дизелей // Молодой ученый. 2015. № 4. С. 214–217.
8. Касем М.М., Дрейзин В.Э. Программа для предварительной обработки записей шумов автомобильных двигателей с целью построения сигналов диагностики их состояний // Свидетельство об официальной программе для ЭВМ № 2009612173.

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВУЗА, ПРОВОДИМОЙ В ДИСТАНЦИОННОМ РЕЖИМЕ

Фирсова С.А., Рябухина Е.А.

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», Саранск,
e-mail: karpushkinasa@yandex.ru

В статье описывается архитектура программно-информационной системы, предназначенной для учета и контроля учебной работы, проводимой преподавателем высшего учебного заведения в дистанционном режиме. Для представления архитектуры был использован набор UML-диаграмм. Также в данной работе рассмотрен реализованный авторами прототип указанной системы, апробированный в учебном процессе факультета математики и информационных технологий Мордовского государственного университета. Актуальность предлагаемой разработки обуславливается тем, что с ее помощью работники учебно-методического управления вуза смогут контролировать проведение дистанционных занятий, автоматически создавать отчеты о выполнении преподавателем запланированной учебной нагрузки. С 2016 года в ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» успешно функционирует электронная информационно-образовательная среда, в которой автоматизированы основные процессы, связанные с учебной деятельностью как преподавателя, так и студента. Предполагается, что разработанный прототип может быть встроен в действующую ЭИОС университета для поддержки и контроля процесса обучения, проводимого в дистанционном режиме. В качестве инструментов при создании прототипа использовались: кросс-платформенная интегрированная среда разработки PhpStorm, система управления базами данных MySQL, языки программирования JavaScript, HTML, PHP, также применялась технология Web Real-Time Communication.

Ключевые слова: программно-информационная система, дистанционное обучение, электронная информационно-образовательная среда, учебная нагрузка, учебно-методическое управление, UML-диаграмма

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A SOFTWARE AND INFORMATION SYSTEM FOR ACCOUNTING AND MONITORING THE ACADEMIC WORK OF A UNIVERSITY TEACHER CONDUCTED REMOTELY

Firsova S.A., Ryabukhina E.A.

Ogarev Mordovian State University, Saransk, e-mail: karpushkinasa@yandex.ru

The article describes the architecture of a software and information system designed to account for and control the educational work carried out by a teacher of a higher educational institution in a remote mode. A set of UML diagrams was used to represent the architecture. Also in this paper, the prototype of this system implemented by the authors, tested in the educational process of the Faculty of Mathematics and Information Technologies of the Mordovian State University, is considered. The relevance of the proposed development is due to the fact that with its help, employees of the educational and methodological department of the university will be able to monitor the conduct of remote classes, automatically create reports on the teacher's performance of the planned workload. Since 2016, the Ogarev Mordovian State University has been successfully operating an electronic information and educational environment in which the main processes related to the educational activities of both the teacher and the student are automated. It is assumed that the developed prototype can be integrated into the existing EIOS of the university to support and control the learning process conducted remotely. The following were used as tools when creating the prototype: cross-platform integrated development environment PhpStorm, MySQL database management system, programming languages JavaScript, HTML, PHP, Web Real-Time Communication technology was also used.

Keywords: software and information system, distance learning, electronic information and educational environment, educational load, educational and methodological management, UML diagram

Возникновение и распространение пандемии COVID-19 и связанных с ней ограничений повлекло за собой широкое распространение форм удаленной работы во всех сферах деятельности, в том числе и в высшем образовании. В связи с этим появились работы, в которых рассматриваются основные проблемы и возможные риски при переходе вузов в дистанционный режим [1], также многие авторы, например [2], в своих работах описывают особенности организации деятельности вуза в ука-

занных условиях. В частности, остро стоит вопрос о совершенствовании организационно-методической деятельности преподавателей вуза при дистанционной работе [3; 4]. В то же время в условиях удаленной работы необходимо внедрять новые информационные технологии для автоматизации учета рабочего времени в образовательной организации [5], которые позволят определить выполнение преподавателем учебной нагрузки в соответствии с его индивидуальным планом и контролировать начисление

заработной платы [6]. В [7] рассмотрены программно-информационные комплексы, применяемые для учета рабочего времени, и проведен их сравнительный анализ. Вместе с тем более целесообразной представляется разработка модуля, предназначенного для учета рабочего времени преподавателя вуза в условиях дистанционного обучения, который может быть встроен в существующую в большинстве учебных заведений внутреннюю электронную информационно-образовательную систему (ЭОИС).

Целью исследования является разработка прототипа программно-информационной системы для учета и контроля учебной работы преподавателя вуза в условиях дистанционного режима. Данная система позволит активизировать ссылки на конференции, проводимые преподавателем в онлайн-режиме, непосредственно из ЭОИС, предварительно осуществляется проверка на то, что все ссылки актуальны и ведут на конкретную страницу веб-ресурса. Преподаватель получает доступ к графику проведения дистанционных занятий, которые представлены отдельной группой в расписании, при этом для каждого занятия необходимо заполнить определенную форму. Дистанционное занятие записывается в видеофайл, доступный для повторного просмотра студентам с целью лучшего усвоения материала и сотрудникам учебно-методического управления для контроля фактического проведения преподавателем занятия.

Материалы и методы исследования

Данное исследование базируется на материалах, предоставляемых ЭОИС Мордовского университета в разделах «Расписание», «Общение», «Рейтинг-планы», «Преподаватели» и др. Методами исследования, необходимыми для проектирования и реализации прототипа программно-информационной системы (ППИС), являются:

- UML-диаграммы, с помощью которых описана архитектура ППИС;
- языки программирования HTML, PHP (с библиотеками filp/whoops, briannesbitt/Carbon, PHPOffice/PhpSpreadsheet, TCPDF, Ubench, PHP Geo), JavaScript (с библиотеками jQuery, jQuery UI, Lodash) и SQL;
- веб-приложение phpMyAdmin, предоставляющее веб-интерфейс для администрирования СУБД MySQL;
- кросс-платформенная среда выполнения JavaScript с открытым исходным кодом Node.js;
- технология WebRTC (Web Real-Time Communication), позволяющая веб-приложениям и сайтам захватывать и передавать в потоковом режиме аудио и/или

видео мультимедиа, а также обмениваться произвольными данными между браузерами без использования посредников.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанный авторами прототип программно-информационной системы (ППИС) для контроля и учёта рабочего времени преподавателя вуза в условиях дистанционного режима работы является дополнительным модулем, встраиваемым в существующую ЭОИС университета. Предполагается, что данная разработка будет в основном применяться сотрудниками учебно-методического управления (УМУ) вуза с целью контроля деятельности преподавателя при проведении дистанционных занятий и автоматического составления отчетов о выполнении преподавателем запланированной учебной нагрузки. Кроме того, для студентов и преподавателей появляется возможность более эффективно организовывать взаимодействие в рамках дистанционного учебного процесса, так как записи всех дистанционно проводимых занятий будут размещены в свободном доступе в ЭОИС без привлечения сторонних веб-ресурсов.

Описание архитектуры ППИС проводилось с помощью UML-диаграмм. В качестве примера рассмотрим некоторые из них.

На диаграмме вариантов использования, представленной на рисунке 1, показано, что в ППИС существуют 3 профиля пользователей: «Преподаватель», «Студент» «Администратор» (сотрудник УМУ), каждый из которых имеет доступ к определенному набору функций в ППИС.

Диаграмма компонентов (рис. 2) визуализирует организацию компонентов проектируемой системы и зависимостей между ними.

На диаграмме видно, что из функционирующей в университете ЭОИС расписание дистанционных занятий передается в модуль ввода ссылок на конференцию. При этом происходит заполнение специальной формы данными, необходимыми для проведения дистанционной пары в Skype или Zoom. Далее осуществляется проверка ссылок на актуальность; актуальные ссылки передаются в модуль вывода ссылок для раздела «Общение» ЭОИС, в котором студенты могут непосредственно перейти по этим ссылкам на нужную конференцию. При переходе преподавателя по ссылке из раздела «Общение» ему открывается страница, на которой он может начать/остановить запись информации со своего экрана (модуль записи экрана преподавателя).



Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

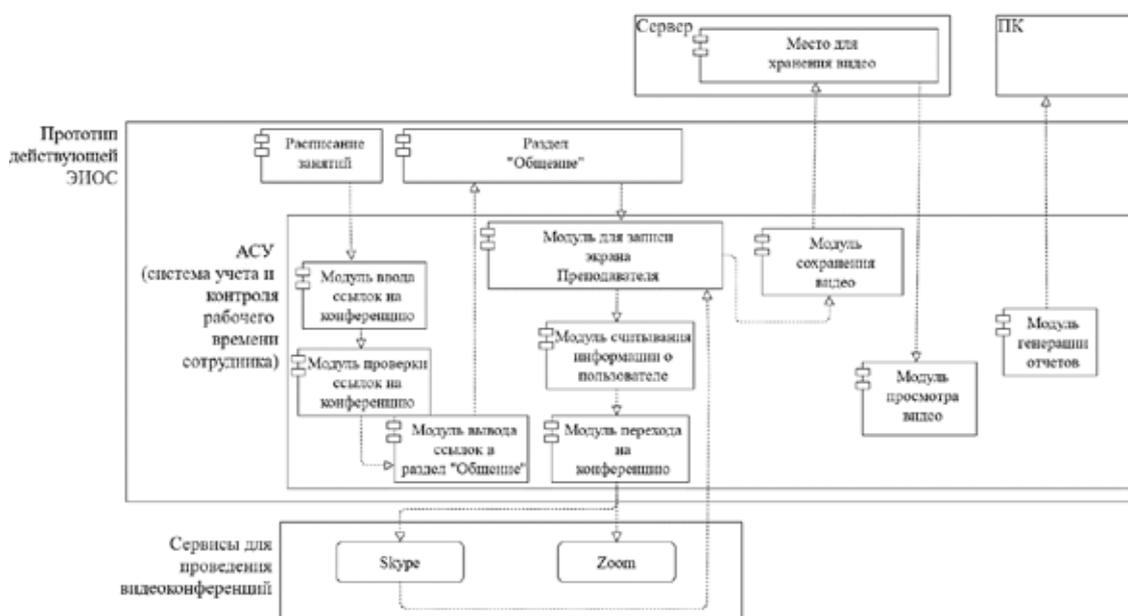


Рис. 2. Диаграмма компонентов

Далее сделанная запись автоматически отправляется на сервер, а в базе данных сохраняется информация о проведенном дистанционно занятии (время начала и окон-

чания, ссылка на конференцию, данные о преподавателе и дисциплине). При этом появляется возможность просмотра загруженной видеозаписи как студентами, так

и сотрудниками УМУ, которым также доступна загрузка сформированных отчетов о работе преподавателя в формате Excel.

Диаграмма классов (рис. 3) отображает логическую модель ППИС, включающую набор классов, интерфейсов, ассоциаций, взаимодействий и ограничений.

Краткое описание классов разрабатываемой системы представлено в следующей таблице.

Рассмотрим наиболее значимые функциональные возможности реализованной ППИС. Так, в профиле «Преподаватель» основным

действием является организация проведения дистанционного занятия. Для этого в разделах «Расписание занятий» или «Информация по дистанционным занятиям» необходимо найти дистанционное занятие, для которого требуется ввести регламентированную информацию о проведении (рис. 4).

При переходе по гиперссылке «Введите ссылку» появляется макет страницы, представленный на рисунке 5, в котором в поле «Ссылка» требуется указать ссылку на конференцию в Skure или Zoom; остальные поля заполняются автоматически.

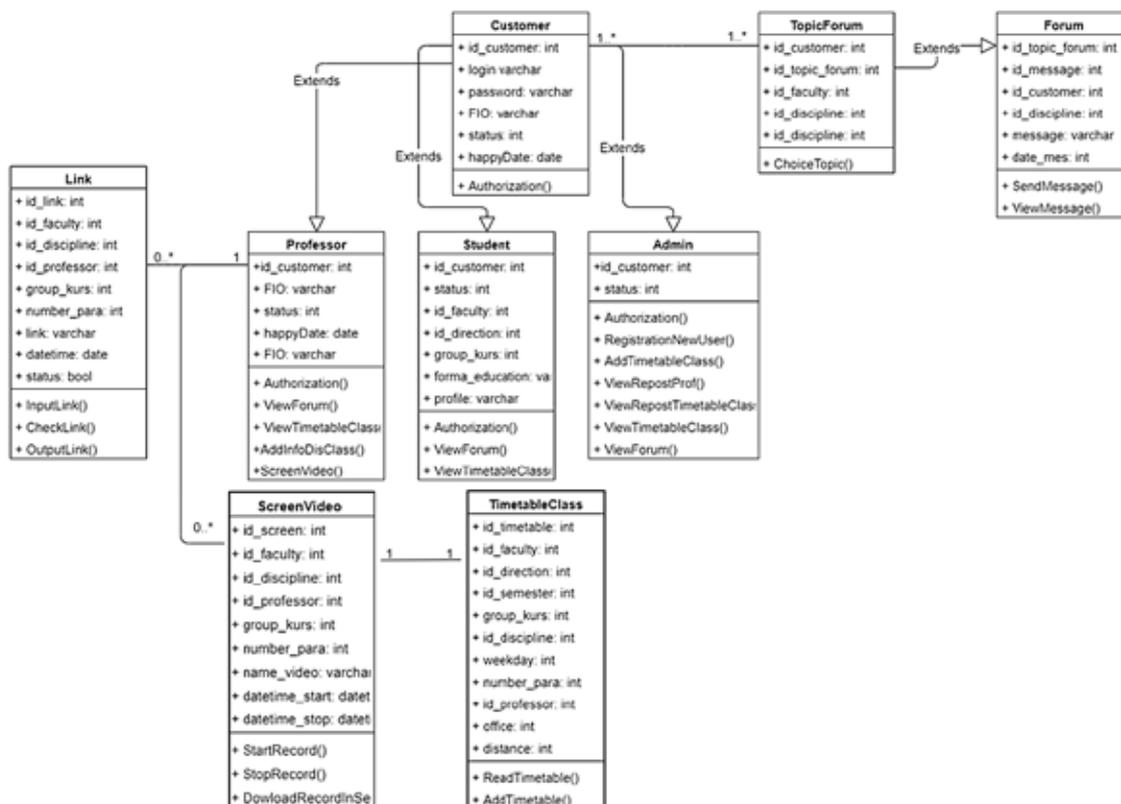


Рис. 3. Диаграмма классов

Описание классов разрабатываемой системы

Название	Описание
Customer	Данный класс является базовым и содержит общие сведения о пользователе ППИС: идентификатор, ФИО, логин, пароль. В классе реализован метод авторизации пользователя в ППИС.
Student	Данный класс является производным от класса Customer и содержит информацию о пользователе со статусом «Студент», включающую факультет, специальность, группу, форму обучения. В классе реализованы методы просмотра расписания и участия в форуме по выбранной дисциплине.
Professor	Данный класс является производным от класса Customer и содержит информацию о пользователе со статусом «Преподаватель». В классе реализованы методы просмотра расписания преподавателя, участия в форуме по дисциплинам своего учебного плана, добавления ссылок на конференцию для проведения дистанционного занятия, записи видео дистанционного занятия.

Окончание табл.

Название	Описание
Admin	Данный класс является производным от класса Customer и идентифицирует пользователя со статусом «Администратор». В классе реализованы методы регистрации нового пользователя, редактирования расписания занятий, просмотра форумов по дисциплинам, генерации различных видов отчетов о проведенных дистанционных занятиях.
TopicForum	Данный класс является базовым и содержит информацию о форумах по учебным дисциплинам: идентификатор форума, идентификатор дисциплины, идентификатор факультета, идентификатор группы, идентификатор преподавателя, ведущего дисциплину.
Forum	Данный класс является производным от класса TopicForum и содержит информацию о сообщениях в выбранном форуме: идентификатор пользователя, написавшего сообщение, текст и дата сообщения. В классе реализованы методы отправления и просмотра сообщений.
TimetableClass	Данный класс содержит полную информацию о расписании занятий с указанием формы проведения – дистанционной или аудиторной, реализованы методы просмотра и редактирования расписания.
ScreenVideo	Данный класс является производным от класса TimetableClass и содержит информацию о видеозаписи конкретного дистанционного занятия из расписания: дата и время начала и окончания видеозаписи, имя видеофайла. В классе реализованы методы начала и окончания записи видеофайла, загрузки на сервер и возможности воспроизведения.
Link	Данный класс является производным от класса TimetableClass и содержит информацию о ссылке на конкретное дистанционное занятие, реализованы методы ввода ссылки, проверки актуальности ссылки и воспроизведения ссылки на форуме.



Рис. 4. Страница раздела «Расписание занятий» для преподавателя

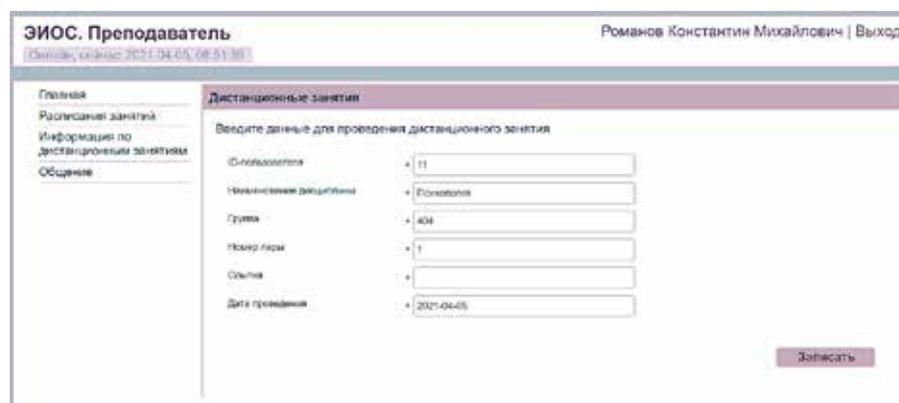


Рис. 5. Страница для заполнения информации по дистанционным занятиям

После этого в разделе «Общение» автоматически генерируется запись о проведении дистанционного занятия (рис. 6).

Чтобы начать видеозапись занятия, преподаватель должен перейти по заданной ссылке, задать параметры записи и нажать кнопку «Начать запись» (рис. 7), при этом система спрашивает разрешение на запись экран пользователя, также необходимо указать, какое окно транслировать и включать ли в запись звук. По окончании пары преподаватель нажимает кнопку «Остановить запись».

Перейдем к рассмотрению основных действий в профиле «Администратор».

В разделе «Расписание занятий» администратор может просматривать информацию о текущих занятиях всех преподавателей (рис. 8).

В разделе «Общение» администратор видит ту же информацию, что и другие пользователи (рис. 6), и может перейти по ссылке для проверки фактического проведения дистанционного занятия.

В разделе «Статистика посещений» представлена информация о пользователях сайта, в частности информация о последнем посещении сайта и статусе пользователя – онлайн или офлайн (рис. 9).

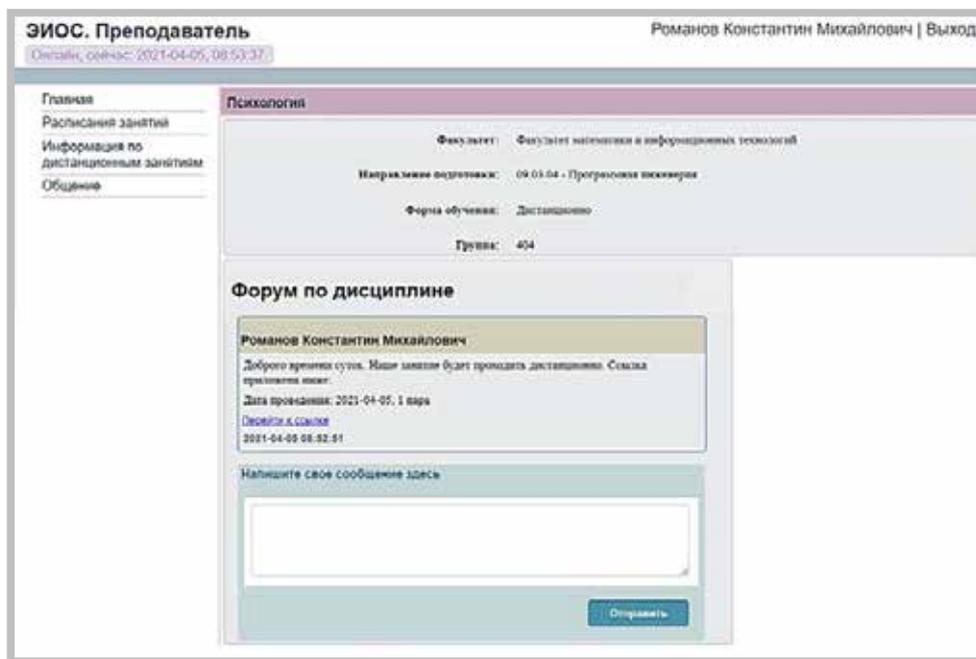


Рис. 6. Страница для общения по выбранной дисциплине

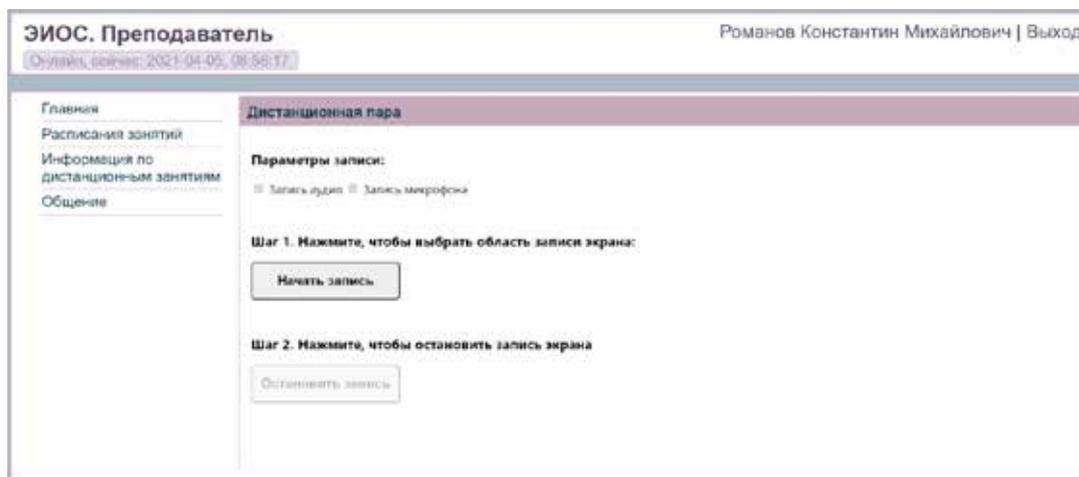


Рис. 7. Страница для записи экрана пользователя



Рис. 8. Раздел «Расписание занятий» для администратора

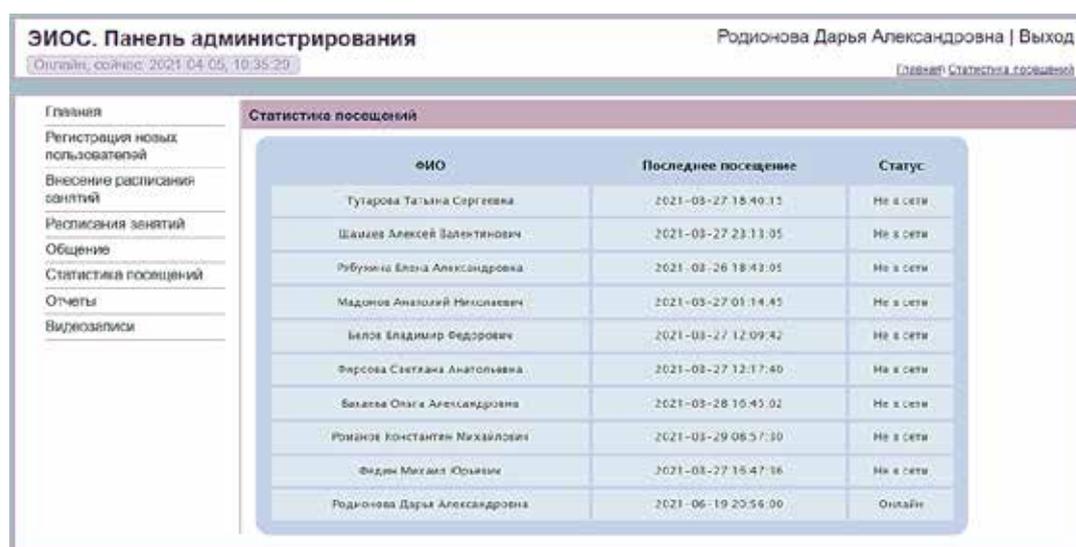


Рис. 9. Страница раздела «Статистика посещений»

В разделе «Отчеты» администратору доступны для просмотра 3 вида отчетов: отчет по дистанционным занятиям, отчет о рабочем времени преподавателей и табель учета рабочего времени сотрудников по кафедрам.

Отчет по дистанционным занятиям выводит информацию о дистанционных занятиях за интересующий период. Галочкой указан статус ссылки, которая действительна и относится к Skype или Zoom, крестиком – если ссылка недействительна.

Отчет о рабочем времени преподавателей при дистанционном режиме работы представлен на рисунке 11.

В данном отчете выводится наименование дисциплины, группа, время начала и окончания пары, статус ссылки (выложена ли ссылка, если да, то действительна она или нет), длительность пары, если ссылка действительна. Также указывается статус проведения пары: пара считается проведенной, если ссылка действительна и длительность занятия составляет не менее 1 часа 30 минут. Если ссылка недействительна, то автоматически статус становится «Не проведено» или прочерк. В конце таблицы выводится количество отработанного времени и количество фактического времени работы,

а также соотношение количества проведенных занятий с начала семестра. Таблицу можно экспортировать в Excel-файл (рис. 12).

ЗАОС. Панель администрирования Родionoвa Дapья Aлeкcaндрoвнa | Bыxoд

Онлайн, сейчас: 2021-04-05, 10:36:54 [Главная](#) | [Отчеты](#) | [Дистанционные занятия](#)

Дистанционные занятия

Выберите период: С 15.03.2021 По 26.03.2021

ФИО	Дисциплина	Группа	Пара	Ссылка	Статус ссылки	Дата проведения
Романов Константин Михайлович	Психология Объект	404	1	https://zaoz.com/1111A	✗	2021-03-15
Васильев Алексей Андреевич	Программирование веб-приложений Объект	404	2	https://zaoz.com/123456789	✓	2021-03-15
Васильев Алексей Андреевич	Программирование веб-приложений Объект	404	1	https://zaoz.com/123456789	✓	2021-03-15
Васильев Алексей Андреевич	История культуры Объект	404	1	https://zaoz.com/123456789	✓	2021-03-15
Романов Константин Михайлович	Психология Объект	404	2	https://zaoz.com/123456789	✓	2021-03-19
Васильев Алексей Андреевич	Программирование веб-приложений Объект	404	1	https://zaoz.com/123456789	✓	2021-03-19

Рис. 10. Отчет о дистанционных занятиях за выбранный период

ЗАОС. Панель администрирования Родionoвa Дapья Aлeкcaндрoвнa | Bыxoд

Онлайн, сейчас: 2021-04-05, 10:38:21 [Главная](#) | [Рабочее время](#)

Учет рабочего времени сотрудника при дистанционном режиме работы

[Стандартизировать Excel-файл](#)

Романов Константин Михайлович

Историко-социологический институт

Психология

Наименование дисциплины	Группа	Дата проведения пары	Время начала	Время окончания	Статус ссылки	Длительность пары	Статус проведения пары
Психология	404	2021-03-19 (П)	13:00:19	13:52:37	✓	00:52:18	Не засчитывается
Психология	404	2021-03-22 (П)	-----	-----	✗	-----	-----
Психология	404	2021-03-26 (П)	12:52:16	14:29:31	✓	01:37:35	Проведено
Психология	404	2021-03-29 (П)	08:37:24	10:30:24	✓	01:33:00	Проведено
Психология	404	2021-04-02 (П)	13:00:00	14:30:00	нет ссылки	00:00:00	Отсутствует
Психология	404	2021-04-05 (П)	08:53:46	10:30:16	✓	01:36:30	Проведено
Итого:						11:8:24 / 31:30:0	7 / 21

Рис. 11. Отчет рабочего времени сотрудника

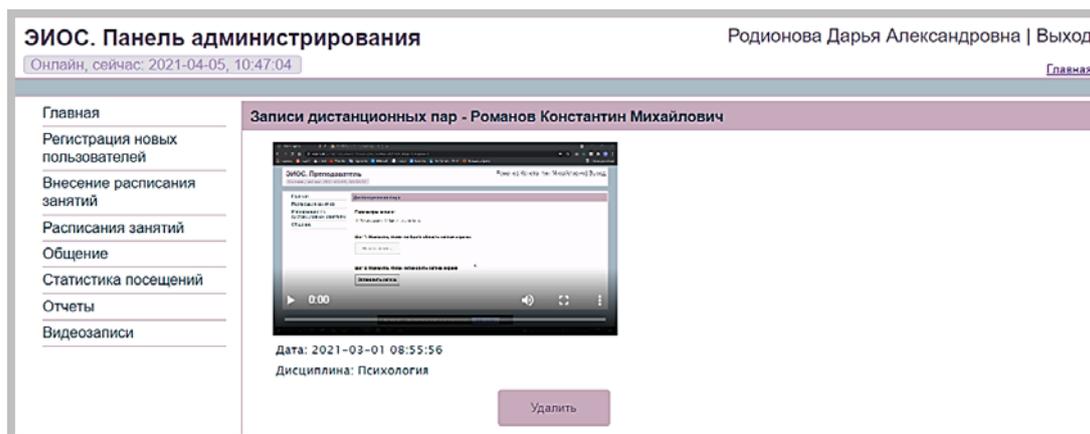


Рис. 14. Страница с видеозаписями дистанционных занятий

Заключение

Разработанный авторами прототип программно-информационной системы позволяет автоматизировать учет и контроль учебной работы, проводимой преподавателем высшего учебного заведения в дистанционном режиме. Данный прототип может быть реализован в качестве встроенного модуля в действующую ЭИОС университета. Апробация разработки проводилась на базе кафедры систем автоматизированного проектирования Мордовского государственного университета для преподавателей кафедры и студентов направления подготовки «Программная инженерия», также в тестировании ППИС принимали участие сотрудники учебно-методического управления университета. В результате тестирования были отмечены: актуальность разработки в связи с широким распространением дистанционного формата обучения, удобство ее применения для проведения дистанционных занятий при работе в каждом из профилей пользователей, широкие возможности представления результатов проводимого учета и контроля учебной работы преподавателя в различных формах отчетов.

Список литературы

1. Штыхно Д.А., Константинова Л.В., Гагиев Н.Н. Переход вузов в дистанционный режим в период пандемии: проблемы и возможные риски // Открытое образование. 2020. Т. 24. № 5. С. 72-81. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-5-72-81.
2. Минаев А.И., Исаева О.Н., Кирьянова Е.А., Горнов В.А. Особенности организации деятельности вуза в ус-

ловиях пандемии // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29858> (дата обращения: 27.06.2022). DOI: 10.17513/spno.29858.

3. Александрова Г.А., Васильева Л.Г., Филиппова И.В., Фоминых С.О. К вопросу организационно-методической деятельности преподавателей вуза при дистанционной работе // Казанский педагогический журнал. 2020. № 6(143). С. 29-37.

4. Шахова Е.Ю. Моделирование распределения рабочего времени преподавателей // Статистика и Экономика. 2017. № 1. С. 11-23. DOI: 10.21686/2500-3925-2017-1-11-23.

5. Данилова В.В. Полная автоматизация процесса учета рабочего времени сотрудников предприятия // Вестник науки. 2018. Т. 2. № 9(9). С. 149-157.

6. Соловьев Р.К. Проектирование информационной системы автоматизации учета рабочего времени сотрудников при удаленной работе для расчета заработной платы на предприятии // Вестник современных исследований. 2020. № 2-5(32). С. 33-35.

7. Абрамов М.К., Никитин А.И., Котельникова С.В. Автоматизация учета рабочего времени в образовательной организации // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. (Красноярск, 13-17 апреля 2020 года) / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2020. С. 307-308.

8. Родионова Д.А., Фирсова С.А. Разработка автоматизированной системы контроля и учёта рабочего времени преподавателя вуза в условиях дистанционного режима работы // Материалы XXIV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. В 3-х частях. (Саранск, 19-21 мая 2021 года) / Сост. А.В. Столяров, отв. за выпуск П.В. Сенин. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2021. С. 213-218.