



ISSN 2949-0693

ИННОВАЦИОННОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

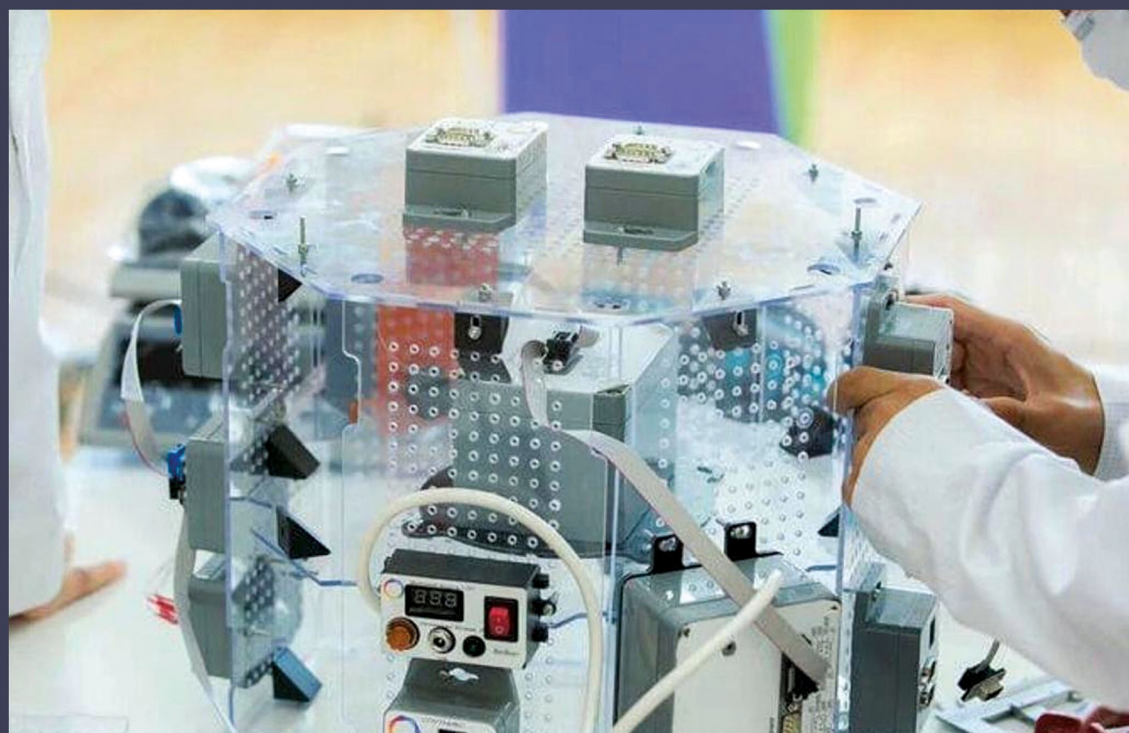
Научный журнал

Том 2, № 3 • 2023

INNOVATIVE INSTRUMENTATION



ГУАН





ГУАП

Санкт-Петербургский
государственный
университет
аэрокосмического
приборостроения

ИННОВАЦИОННОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Научный журнал

Том 2, № 3 • 2023

INNOVATIVE INSTRUMENTATION

Scientific Journal

Vol. 2, no. 3 • 2023



SUAI

Saint Petersburg
State University
of Aerospace
Instrumentation

Innovative Instrumentation

Founded in 2022

Founder

Saint Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation

Publisher

Saint Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation

Chief Editor

E. A. Frolova,
D. Sc. in Technical Sciences, Associate Professor,
Director at the Institute of Fundamental
Training and Technological Innovation,
Saint Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation

Deputy Chief Editor

S. A. Nazarevich,
PhD in Technical Sciences,
Associate Professor

Executive Secretary

V. A. Tushavin,
D. Sc. in Technical Sciences

Editorial Board

A. R. Bestugin, D. Sc., Prof.
A. S. Budagov, D. Sc., Assoc. Prof.
N. A. Zhilnikova, D. Sc., Assoc. Prof.
M. L. Krichevsky, D. Sc., Prof.
N. N. Maiorov, D. Sc., Assoc. Prof.
A. V. Nebylov, D. Sc., Prof.
A. O. Smirnov, D. Sc., Assoc. Prof.
T. M. Tatarnikova, D. Sc., Prof.
V. A. Tushavin, D. Sc.
V. G. Farafonov, D. Sc., Prof.
E. A. Frolova, D. Sc., Assoc. Prof.
V. F. Shishlakov, D. Sc., Prof.

Scientific Journal

The journal was registered in the Federal Service for
Supervision of Communications, Information Technology
and Mass Media (Roskomnadzor),
PI no. FS 77-83496 from June, 24, 2022

Publication frequency: 6 issues per year

The journal's pages are open for discussion
materials; its content does not necessarily reflect
the views of the founder and the editorial board.

Reprinting of publications from the journal
"Innovative Instrumentation" to foreign editions
is allowed by agreement with the editorial board.

Reference to the journal "Innovative Instrumentation"
is mandatory.

Editorial and publisher's address

The Editorial and Publishing Center,
SUAI, 67, lit. A, Bolshaya Morskaya str.,
Saint Petersburg, 190000, Russian Federation
Tel.: (812) 494-70-69
E-mail: ip@guap.ru
Website: <https://guap.ru/inps>

Editorial Council

Yu. A. Antokhina, D. Sc., Prof.
A. V. Demidov, D. Sc., Prof.
V. V. Ivanov, D. Sc., RAS Corr. Member
G. A. Korzhavin, D. Sc., Prof.
A. A. Ovodenko, D. Sc., Prof.
V. V. Okrepilov, D. Sc., Prof., RAS Academician
V. G. Peshehonov, D. Sc., Prof., RAS Academician
V. I. Shevchenko, D. Sc.
E. V. Shlyakhto, D. Sc., Prof., RAS Academician

Editor *V. A. Chernikova*
Computer layout and design *Yu. V. Umnitsyna*

Submitted for publication 20.04.2023. Signed for printing: 25.04.2023. Format 60 × 84 1/8.

Printed at the Editorial and Publishing Center, SUAI,
67, lit. A, Bolshaya Morskaya str., Saint Petersburg, 190000, Russian Federation

Free distribution

Инновационное приборостроение

Основан в 2022 г.

Учредитель

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»

Издатель

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»

Главный редактор

Е. А. Фролова,
доктор технических наук, доцент,
директор института фундаментальной
подготовки и технологических инноваций,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»

Заместитель главного редактора

С. А. Назаревич,
кандидат технических наук, доцент

Ответственный секретарь

В. А. Тушавин,
доктор технических наук

Редакционная коллегия

А. Р. Бестугин, д-р техн. наук, проф.
А. С. Будагов, д-р экон. наук, доц.
Н. А. Жильникова, д-р техн. наук, доц.
М. Л. Кричевский, д-р техн. наук, проф.
Н. Н. Майоров, д-р техн. наук, доц.
А. В. Небылов, д-р техн. наук, проф.
А. О. Смирнов, д-р физ.-мат. наук, доц.
Т. М. Татарникова, д-р техн. наук, проф.
В. А. Тушавин, д-р техн. наук
В. Г. Фарафонов, д-р физ.-мат. наук, проф.
Е. А. Фролова, д-р техн. наук, доц.
В. Ф. Шишлаков, д-р техн. наук, проф.

Научный журнал

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций 24 июня 2022 г.
(Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-83496
от 24.06.2022 – печатное издание)

Периодичность издания: 6 номеров в год

Страницы журнала открыты для дискуссионных
материалов; его содержание не обязательно
отражает точку зрения учредителя и редакции.

Перепечатка публикаций из журнала «Инновационное
приборостроение» в зарубежные издания допускается
по согласованию с редакцией.

Ссылка на журнал «Инновационное приборостроение»
обязательна.

Адрес редакции и издателя

Редакционно-издательский центр
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»,
190000, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
Тел.: (812) 494-70-69
E-mail: ip@guar.ru
Сайт: <https://guar.ru/inps>

Редакционный совет

Ю. А. Антохина, д-р экон. наук, проф.
А. В. Демидов, д-р техн. наук, проф.
В. В. Иванов, д-р экон. наук, чл.-корр. РАН
Г. А. Коржавин, д-р техн. наук, проф.
А. А. Оводенко, д-р техн. наук, проф.
В. В. Окрепилов, д-р экон. наук, проф., акад. РАН
В. Г. Пешехонов, д-р техн. наук, проф., акад. РАН
В. И. Шевченко, д-р физ.-мат. наук
Е. В. Шляхто, д-р мед. наук, проф., акад. РАН

Редактор *В. А. Черникова*

Компьютерная верстка и дизайн *Ю. В. Умницыной*

Подписано к печати 20.04.2023. Дата выхода в свет: 25.04.2023. Формат 60 × 84 1/8.
Уч.-изд. л. 12,8. Усл. печ. л. 12,2. Тираж 1000 экз. (1-й завод – 100 экз.). Заказ № 157.

Отпечатано в редакционно-издательском центре ГУАП
190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

Распространяется бесплатно

О ЖУРНАЛЕ

Научный журнал «Инновационное приборостроение» – периодическое научное СМИ, которое издается с 2022 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП) с целью консолидации и развития научных знаний и практических наработок в основных сферах его научной деятельности. В журнале «Инновационное приборостроение» публикуются научные обзоры, статьи проблемного и научно-практического характера по следующим направлениям: приборостроение, метрология, стандартизация и управление качеством; радиотехника, инфокоммуникационные технологии и системы связи; кибберфизические системы и цифровая трансформация; фундаментальные науки и прикладные исследования; цифровая экономика и управление организацией.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-83496 от 24.06.2022.

Исследование влияния скорости трассировки на точность измерения шероховатости профилометром SurfTest SJ-410

Кирилл Валерьевич Епифанцев¹

✉ epifancew@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5705-0282

Николай Юрьевич Ефремов¹

nikolajefremov@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-6265-7302

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В условиях непрерывного развития промышленности, разработки более точных приборов, машин в области электроэнергетики, авиационных высокоскоростных двигателей и преобразования различных видов энергии для повышения коэффициента полезного действия необходимо использование более низких параметров шероховатости кинематических элементов, находящихся в зоне непосредственного контакта. Следовательно, необходимо совершенствовать приборы для измерения шероховатости. Для расширения точности и диапазонов измерений данных приборов нужно развивать эталонную базу профилометров, увеличивая реализуемость поверочной схемы за счет применения эталонов российского производства. В настоящее время приборы для измерения шероховатости «привязаны» к нескольким стандартам: в России данные методы регулируются межгосударственными и национальными стандартами, зарубежные стандарты используются в составе иностранного программного обеспечения – это стандарты ISO, ANSI, JIS. Данная группа европейских, американских, японских стандартов традиционно имеет небольшую разностную интерпретацию в области определения параметров шероховатости, скорости прохождения щупа, порядка отображения полученной информации. В связи с этим необходимо более подробно представить порядок проведения измерений на профилометре с различными типами настроек.

Ключевые слова: профилометр, настройки трассировки, результат измерения, погрешность измерения

Для цитирования: Епифанцев К. В., Ефремов Н. Ю. Исследование влияния скорости трассировки на точность измерения шероховатости профилометром SurfTest SJ-410 // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 5–11. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-5-11.

Original article

Investigation of the effect of tracing speed on the accuracy of roughness measurement profilometer SurfTest SJ-410

Kirill V. Epifancev¹

✉ epifancew@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5705-0282

Nikolay Yu. Efremov¹

nikolajefremov@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-6265-7302

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. In the conditions of continuous development of industry, the development of more precise instruments, machines in the field of electric power, high-speed aircraft engines and conversion of various types of energy to increase efficiency, it is necessary to use lower roughness parameters of kinematic elements located in the zone of direct contact. Therefore, it is necessary to improve the devices for measuring roughness. To expand the accuracy and measurement ranges of these devices, it is necessary to develop the reference base of profilometers, increasing the feasibility of the verification scheme through the use of Russian-made standards. Currently, devices for measuring roughness are tied to several standards: in Russia, these methods are regulated by interstate and national standards, foreign standards are used as part of foreign software, these are ISO, ANSI, JIS standards. This group of European, American, and Japanese standards traditionally have a small difference interpretation in the field of determining the roughness parameters, the speed of the probe passage, and the order of displaying the information received. In connection with this, it is necessary to present in more detail the order of measurements on this device with different types of settings.

Keywords: profilometer, trace settings, measurement result, measurement error

For citation: Epifancev K. V., Efremov N. Yu. Investigation of the effect of tracing speed on the accuracy of roughness measurement profilometer SurfTest SJ-410. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):5–11. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-5-11.

Введение

Одним из главных эксплуатационных свойств изделия является шероховатость поверхности. Присутствие микронеровностей и их размер сказываются на прочности, химической стойкости, истирании и даже на внешнем виде изделия. Но любая реальная поверхность после металлообработки приобретает впадины и выступы, которые отсутствуют на идеально гладкой поверхности. Следовательно, шероховатость поверхностей является одной из ключевых характеристик изделий из металла, определяющих их качество [1].

В составе технических требований к качеству изготовления деталей, указываемых на чертежах, отдельную группу занимают показатели шероховатости и волнистости поверхности. Волнистость нормируется существенно реже. Важность контроля шероховатости поверхности подчеркивает факт наличия более 30 ее различных показателей (рис. 1).

Совокупность показателей, обозначающих возможную ориентацию направлений неровностей поверхностей с определенными значениями и их характеристикой, задается в нормативных документах [2–4].

Неровности на большинстве поверхностей возникают по причине образующихся деформаций верхнего слоя материала при осуществляемой обработке с использованием различных технологий. При массовом производстве деталей иногда нарушается заданная форма. Подобные нарушения увеличивают допустимый износ деталей, которые указаны в [5]. Согласно [2], шероховатость поверхности изделий можно оценивать количественно одним или несколькими параметрами:

- 1) высотными:
 - среднее арифметическое отклонение профиля (R_a);
 - высота неровностей профиля по десяти точкам (R_z);
 - наибольшая высота неровностей профиля (R_{max});
- 2) шаговыми:
 - средний шаг неровностей (S_m);
 - средний шаг местных выступов профиля (S);
 - относительная опорная длина профиля (t_p).

Материал и методы исследования

Эксперименты в рамках исследования были проведены на профилометре Mitutoyo SurfTest SJ-410 (рис. 2) – приборе для измерения шероховатости поверхности преимущественно в производственных условиях. SJ-410, в соответствии с национальными и международными стандартами (JIS, VDA, ISO-1997 и ANSI [6]), оценивает параметры неровностей и анализирует шероховатость поверхности.

В табл. 1 приведены метрологические характеристики прибора.

На результаты измерений любого профилометра, помимо внешних факторов, влияют и условия трассировки.

Для профилометра SurfTest SJ-410 перед началом измерения шероховатости и калибровки прибора необходимо проверять/задавать следующие основные параметры режима трассировки поверхности [7]:

- 1) базовая длина λ_c (граничная длина отсечки), мм (от 0,08 до 8) – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей,



• Рис. 1. Профилограмма шероховатости поверхности – скриншот из программного обеспечения профилометра

• Fig. 1. Profilogram of surface roughness – screenshot from profilometer software



• Рис. 2. Портативный профилометр Mitutoyo SurfTest SJ-410

• Fig. 2. Mitutoyo SurfTest SJ-410 portable profiler

- Таблица 1. Метрологические характеристики профилометра Mitutoyo SurfTest SJ-410
- Table 1. Metrological characteristics Mitutoyo SurfTest SJ-410 profiler

Диапазон измерений, мкм	Разрешение, мкм
Автоматический	0,000125–0,0125, в зависимости от диапазона измерений
800	0,0125
80	0,00125
8	0,000125

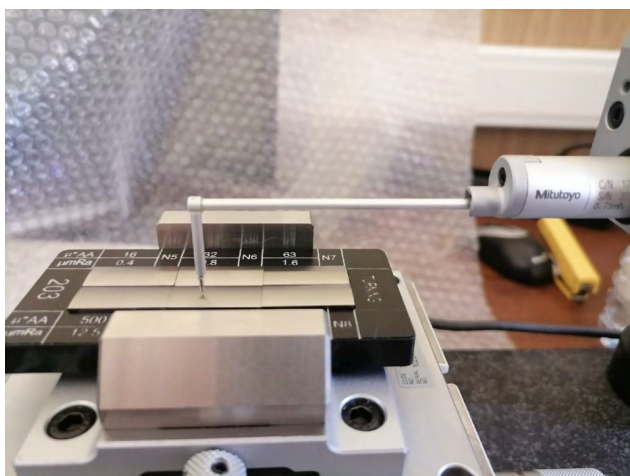
характеризующих шероховатость поверхности [2];

2) число повторов базовых длин N (стандартное значение – 5), на которых определяют шероховатость для получения среднего арифметического, что, в свою очередь, является шероховатостью всей длины оценки;

3) длина отсечки шага λ_s , мкм (от 2,5 до 25). Отсечка шага – значение длины волны, равное базовой длине и условно принимаемое в качестве верхней границы полосы пропускания профилометра. Значение отсечек шага выбирается из ряда: 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм [3];

4) скорость v_t – скорость ошупывания профилометром измеряемой поверхности.

В рамках исследования было изучено влияние изменения скорости трассировки на точность измерения шероховатости поверхности. Было использовано пять образцов, каждый из которых ошупывался по три раза на трех скоростях – 0,05,



- Рис. 3. Щуп для профилометра Mitutoyo SurfTest SJ-410
- Fig. 3. Probe for Mitutoyo SurfTest SJ-410 profiler

- Таблица 2. Характеристики образцов шероховатости
- Table 2. Characteristics of roughness samples

Изначальный номер образца	Номер образца в исследовании	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм
5	1	0,4
6	2	0,8
7	3	1,6
8	4	3,2
9	5	6,3

- Таблица 3. Параметры режимов для первого опыта
- Table 3. Parameters of modes for the first experience

Номер образца	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм	Базовая длина λ_c , мм	Длина отсечки шага λ_s , мкм	Число базовых длин N
1	0,4	0,25	2,5	5
2	0,8	0,8		
3	1,6	0,8		
4	3,2	2,5	8	
5	6,3	2,5		

0,2, 0,5 мм/с. Каждая повторная трассировка начиналась с новой точки.

Для измерения шероховатости использовали профилометр Mitutoyo SurfTest SJ-410 с безопорным щупом 0,75 мН (рис. 3).

Для исследования использованы образцы шероховатости поверхности торговой марки GRIFT, R_a 0,4–12,5 (рис. 3). Данные образцы производят металлические поверхности, полученные путем обработки точением с учетом основного направления и характеристик неровностей.

В табл. 2 приведены характеристики образцов, их исходные номера и номера, присвоенные при проведении исследования [6, 7].

Параметры заданных режимов приведены в табл. 3.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерений первого опыта приведены в табл. 4.

Далее была вычислена относительная погрешность (табл. 5). Превышение допустимой

- Таблица 4. Результаты измерений опыта № 1
- Table 4. Measurement results of experiment no. 1

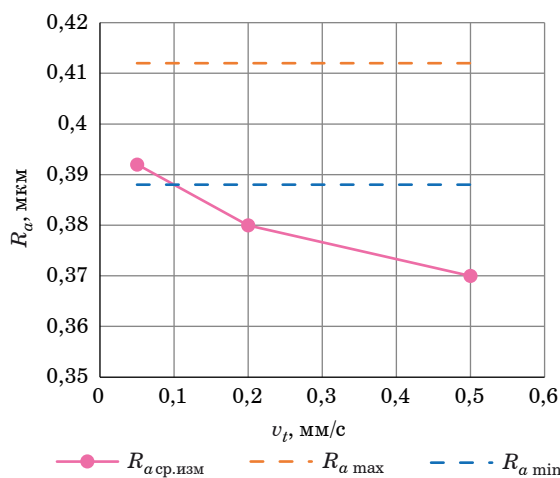
Номер образца	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм	Базовая длина λ_c , мм	Длина отсечки шага λ_s , мкм	Скорость ощупывания поверхности v , мм/с	Измеренное среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм	
					R_{ai}	$R_{a\text{cp}}$
1	0,4	0,25	2,5	0,05	0,384	0,392
					0,383	
					0,408	
				0,2	0,366	0,380
					0,378	
					0,396	
				0,5	0,369	0,370
					0,368	
					0,374	
2	0,8	0,8	2,5	0,05	0,633	0,666
					0,681	
					0,685	
				0,2	0,632	0,684
					0,724	
					0,697	
				0,5	0,624	0,660
					0,681	
					0,676	
3	1,6	0,8	2,5	0,05	1,486	1,485
					1,497	
					1,471	
				0,2	1,481	1,485
					1,503	
					1,472	
				0,5	1,491	1,480
					1,483	
					1,467	
4	3,2	2,5	8	0,05	3,278	3,275
					3,282	
					3,266	
				0,2	3,268	3,264
					3,268	
					3,256	
				0,5	3,261	3,266
					3,276	
					3,260	
5	6,3	2,5	8	0,05	6,710	6,705
					6,681	
					6,724	
				0,2	6,676	6,686
					6,671	
					6,700	
				0,5	6,708	6,697
					6,699	
					6,684	

- Таблица 5. Относительная погрешность измерений опыта № 1
- Table 5. Relative measurement error of the experiment no. 1

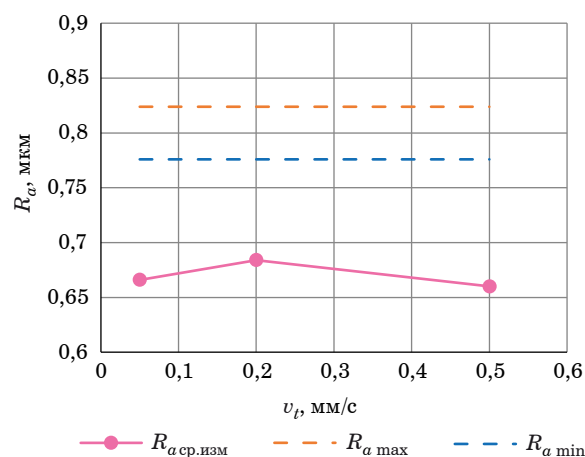
Номер образца	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм	Скорость ошупывания поверхности v_t , мм/с	Среднее значение R_a , мкм	Относительная погрешность, %
1	0,4	0,05	0,392	2,0
		0,2	0,380	5,0
		0,5	0,370	7,5
2	0,8	0,05	0,666	16,6
		0,2	0,684	14,5
		0,5	0,660	17,5
3	1,6	0,05	1,485	7,2
		0,2	1,485	7,2
		0,5	1,480	7,5
4	3,2	0,05	3,275	2,3
		0,2	3,264	2,0
		0,5	3,266	2,1
5	6,3	0,05	6,705	6,4
		0,2	6,686	6,1
		0,5	6,697	6,3

относительной погрешности ($\delta = 3\%$) обусловлено неточностью образцов.

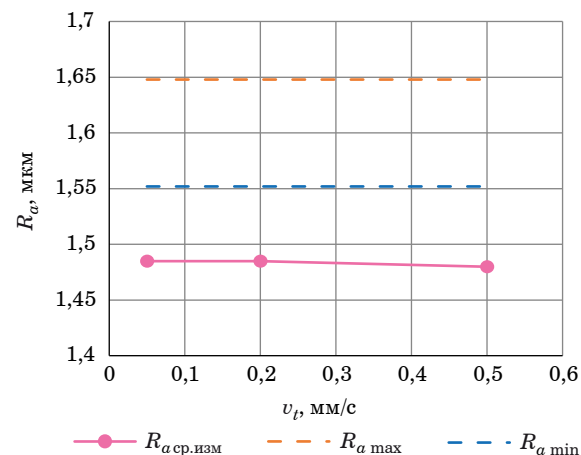
Для анализа результатов измерений, приведенных в табл. 4, были построены графики зависимости R_a от v_t (рис. 4–8).



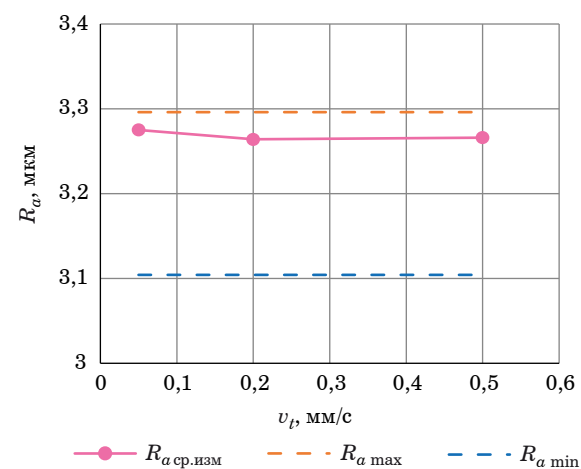
- Рис. 4. График $R_a(v_t)$ для образца № 1
- Fig. 4. $R_a(v_t)$ graph for sample no. 1



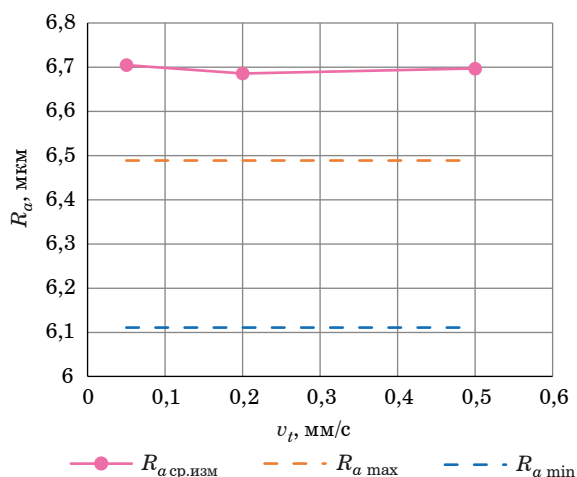
- Рис. 5. График $R_a(v_t)$ для образца № 2
- Fig. 5. $R_a(v_t)$ graph for sample no. 2



- Рис. 6. График $R_a(v_t)$ для образца № 3
- Fig. 6. $R_a(v_t)$ graph for sample no. 3



- Рис. 7. График $R_a(v_t)$ для образца № 4
- Fig. 7. $R_a(v_t)$ graph for sample no. 4



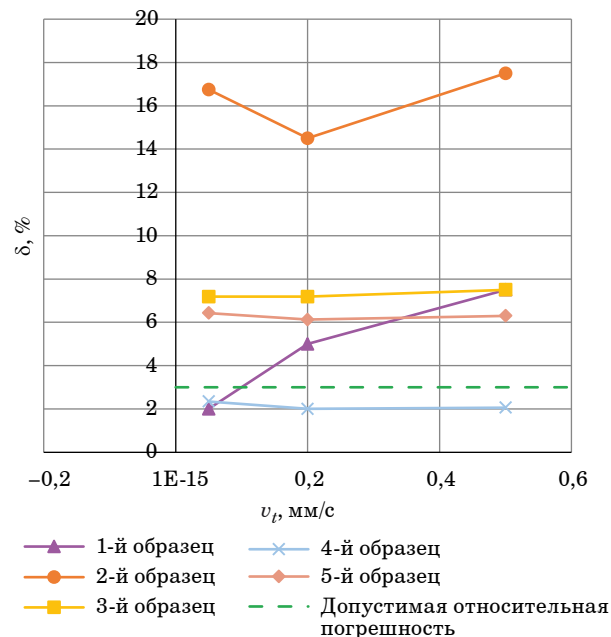
- Рис. 8. График $R_a(v_t)$ для образца № 5
- Fig. 8. $R_a(v_t)$ graph for sample no. 5

На рис. 9 показан график зависимости δ от v_t для всех образцов.

По графикам, изображенным на рис. 4–8, можно сделать вывод, что изменение скорости несущественно влияет на измеряемое значение шероховатости поверхности, за исключением образца с наименьшей шероховатостью поверхности.

График на рис. 9 наглядно демонстрирует превышение допустимой относительной погрешности ($\delta = 3\%$) образцами № 1–3, 5, образец № 4 – в пределах нормы.

Для образцов № 2–5 (имеющих R_a 0,8; 1,6; 3,2; 6,3 мкм соответственно) оптимальной скоростью является $v_t = 0,2$ мм/с. Для образца № 1, с наименьшим среднеквадратическим отклонением профиля ($R_a = 0,4$ мкм), как видно из рис. 9, с уменьшением скорости увеличивается точность измерений.



- Рис. 9. График $\delta(v_t)$ для всех образцов
- Fig. 9. Graph $\delta(v_t)$ for all samples

Заключение

В ходе проведенного исследования выявлено, что скорость трассировки оказывает существенное влияние на точность измерений шероховатости поверхности профилометром Mitutoyo SurfTest SJ-410 только для гладких поверхностей с уровнем R_a , близким к 0,4 мкм. Для поверхностей с большим уровнем шероховатости влияние скорости трассировки минимально. Рекомендуемым значением скорости трассировки для всего исследованного диапазона шероховатости поверхности следует считать $v_t = 0,2$ мм/с.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Епифанцев К. В., Мишура Т. П. Метрологическое обеспечение измерений при контроле шероховатости: учеб.-метод. пособие. СПб.: ГУАП, 2023. 49 с.
2. ГОСТ 25142-82 (СТ СЭВ 1156-78). Шероховатость поверхности. Термины и определения (с изменением № 1). М.: Изд-во стандартов, 1983. 28 с.
3. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики (с изменениями № 1, 2). М.: Изд-во стандартов, 1973. 15 с.
4. ГОСТ 19300-86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры (с изменением № 1). М.: Изд-во стандартов, 1987. 12 с.
5. ГОСТ 2.309-73. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения шероховатости поверхностей (с изменениями № 1, 2, 3). М.: Изд-во стандартов, 1975. 14 с.
6. ГОСТ Р ИСО 4287-2014. Геометрические характеристики изделий (gps). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.
7. ГОСТ 9378-93 (ИСО 2632-1-85, ИСО 2632-2-85). Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия (с поправкой). М.: Изд-во стандартов, 2002. 12 с.

REFERENCES

1. Epifantsev K. V., Mishura T. P. Metrological support of measurements during roughness control: educational and methodical manual. SPb.: SUAI; 2023. 49 p. (In Russ.).
2. GOST 25142-82 (ST CMEA 1156-78). Surface roughness. Terms and definitions (with change no. 1). Moscow: Standards Publishing House; 1983. 28 p. (In Russ.).
3. GOST 2789-73. Surface roughness. Parameters and characteristics (with changes no. 1, 2). Moscow: Standards Publishing House; 1973. 15 p. (In Russ.).
4. GOST 19300-86. Measuring instruments for surface roughness by the profile method. Profilographers-contact profilometers. Types and basic parameters (with change no. 1). Moscow: Standards Publishing House; 1987. 12 p. (In Russ.).
5. GOST 2.309-73. Unified system of design documentation (ESCD). Designations of surface roughness (with changes no. 1, 2, 3). Moscow: Standards Publishing House; 1975. 14 p. (In Russ.).
6. GOST R ISO 4287-2014. Geometric characteristics of products (gps). Surface structure. Profile method. Terms, definitions and parameters of the surface structure. Moscow: Standards Publishing House; 2016. 23 p. (In Russ.).
7. GOST 9378-93 (ISO 2632-1-85, ISO 2632-2-85). Samples of surface roughness (comparisons). General Technical Conditions (as amended). Moscow: Standards Publishing House; 1997. 12 p. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Епифанцев Кирилл Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровая метрология, измерение дефектов формы, измерительные преобразователи, нормирование точности.

Ефремов Николай Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровая метрология, полимерные композиционные материалы, методы оптимизации.

Epifancev Kirill V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – digital metrology, measurement of defect forms, measurement transformations, value rating.

Efremov Nikolay Yu., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – digital metrology, polymer composite materials, optimization methods.

Поступила в редакцию 03.02.2023

Поступила после рецензирования 13.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 03.02.2023

Revised 13.02.2023

Accepted 30.03.2023

Автоматизация системы поисковой оптимизации веб-ресурса

Тимофей Игоревич Комаров¹

✉ tim1kom@yandex.ru

Александр Валерьевич Чабаненко¹

a@chabanenko.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Исследуется область конкурентного продвижения коммерческих веб-ресурсов. Сформулированы критерии заинтересованных сторон по отношению к веб-ресурсу. Анализируются способы разработки сайта и выбирается лучший. Разработан алгоритм оптимизации веб-ресурса.

Ключевые слова: веб-ресурс, оптимизация, информационные технологии, критерии

Для цитирования: Комаров Т. И., Чабаненко А. В. Автоматизация системы поисковой оптимизации веб-ресурса // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 12–16. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-12-16.

Original article

Automation of the system of search engine optimization of a web resource

Timofey I. Komarov¹

✉ tim1kom@yandex.ru

Alexander V. Chabanenko¹

a@chabanenko.ru

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article explores the area of competitive promotion of commercial web resources. Stakeholder criteria are formulated and applied to the web resource. Website development methods are analyzed and the best one is selected. An algorithm for optimizing a web resource is being developed.

Keywords: web resource, optimization, IT, criteria

For citation: Komarov T. I., Chabanenko A. V. Automation of the system of search engine optimization of a web resource. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):12–16. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-12-16.

Введение

Информационные технологии сокращают путь покупателя от нахождения необходимой вещи до ее приобретения посредством предоставления скоростного сервиса. Такие функции может на себя взять только оптимизированный веб-ресурс, обладающий всеми потребительскими свойствами.

Таким образом, требуется найти, изучить и внедрить такой автоматизированный метод продвижения веб-ресурса, который бы дал наиболее широкие возможности, при этом действовал автоматически и являлся выгодным вложением в качество.

В представленной работе разработан усовершенствованный метод оптимизации веб-ресурса.

Анализ требований заинтересованных сторон в сфере информационных технологий

Сфера информационных технологий затрагивает не только специалистов данной области, но и компании, заинтересованные в увеличении продаж за счет продвижения.

Для изучения запросов и ожиданий заинтересованных сторон было произведено анкетирование методом SERVQUAL, в результате которого было установлено, что наиболее значимое требование – «выход» веб-ресурса на лидирующие позиции поискового ресурса по определенному запросу (рис. 1).

Таким образом, оснащение компании информационных технологий современной техникой, улучшение эргономики и интерфейса



• Рис. 1. Требования заинтересованных сторон: первый столбец – оценка уровня ожиданий респондентов; второй столбец – уровень восприятия
 • Fig. 1. Stakeholder requirements: the first column – an assessment of the level of expectations of the respondents; the second column – the level of perception

веб-ресурсов, круглосуточная техническая поддержка, оперативное реагирование – это те критерии, которые заинтересованные лица выделяют в первую очередь. Однако опрос показал, что компании не соответствуют уровню ожиданий и требуют доработки в указанных направлениях.

Особенности развития рынка информационных технологий

В настоящее время строится тренд дизайна эргономики и интерфейса управления технической системой, но без изменения самой технической составляющей системы.

На примере всем известного банка «Тинькофф» рассмотрим, как влияет тренд на продвижение услуг банка. В начале 2020 г. «Тинькофф» провел значительное обновление своего приложения, внедрив множество новых функций и сервисов [1]. Среди них:

- 1) добавление «темной темы»;
- 2) возможность бронирования отелей и ресторанов напрямую из приложения;
- 3) возможность продления полиса обязательного страхования автогражданской ответственности и быстрое оформление страхового случая.

Таким образом, банк не добавил ни одной новой функции, а лишь изменил способ взаимодействия, что позволило вывести компанию на рекордные значения чистой прибыли. Так, прибыль компании за 2020 г. составила 195,8 млрд рублей, что на 22 % выше, чем за предыдущий год [2].

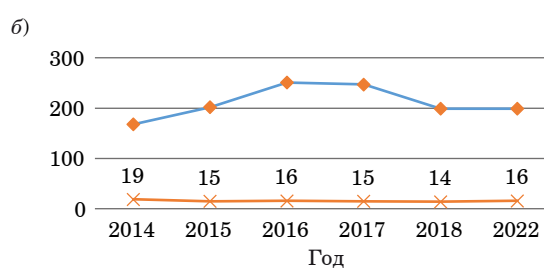
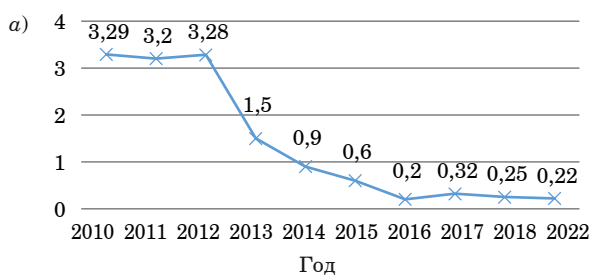
Исследование работоспособности поисковой оптимизации веб-ресурсов

Перед разработкой нового веб-ресурса необходимо обратиться к хронологии развития показателей среди аналогов, чтобы сформировать общую тенденцию и выбрать нужное направление. В качестве аналогов были выбраны следующие веб-ресурсы: «Гильдия мастеров» (2010), «V-events» (2011), «Антеприза» (2012), «Академия приключений» (2013), «Trand event» (2014), «Main Division» (2015), «Свыше» (2016), «Rent Event» (2017), «4 апреля» (2018) и «Division» (2021). Значения характеристик веб-ресурса приведены в табл. 1 [3].

Из данных табл. 1 видно, что характеристики имеют очень разрозненные значения, порой превышающие в два, а то и три раза значения предыдущих лет. Более наглядное сравнение показателей приведено на рис. 2.

- Таблица 1. Ретроспективный анализ характеристик веб-ресурса
- Table 1. Retrospective analysis of web resource characteristics

Характеристика	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2022 г.
1. Число посетителей сайта в неделю	98	127	132	112	168	202	251	247	199	309
2. Число заказов с сайта в неделю	9	13	12	18	19	15	16	15	14	16
3. Скорость загрузки веб-страниц, с	3,29	3,2	2,28	1,5	0,9	0,6	0,2	0,32	0,25	0,22



- Рис. 2. Сравнение исследуемых образцов по показателям: а – по скорости загрузки веб-страницы; б – по числу посетителей и числу заказов в неделю
- Fig. 2. Comparison of examples of samples by indicators: а – by the speed of loading web pages; б – receipts and receipts of orders per week

Из рис. 2 можно сделать вывод, что с каждым годом время загрузки веб-страницы снижается (рис. 2, а), а число заказов и посетителей растет (рис. 2, б). Значит, нужно двигаться в ногу с тенденциями.

Исследование возможных моделей осуществления поисковой оптимизации веб-ресурса

Для повышения качества поисковой оптимизации веб-ресурса необходимо выбрать способ для его разработки.

Допустимыми альтернативами являются сайт на движке «Wordpress» (A_1), сайт на движке «Joomla» (A_2), сайт на конструкторе «Tilda» (A_3), сайт на конструкторе «Wix» (A_4).

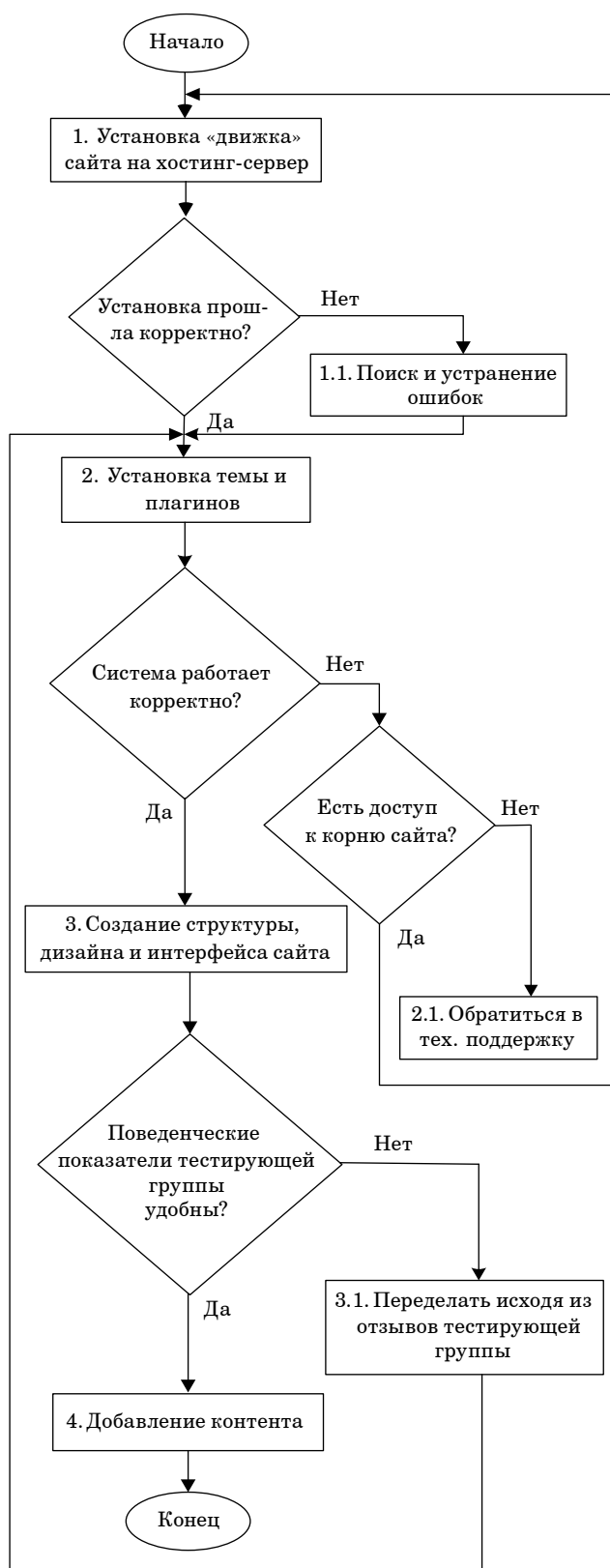
Критерии для оценки были выбраны следующие: стоимость осуществления (K_1), временные затраты на создание (K_2), функциональность конечного веб-ресурса (K_3), временные затраты на поддержку веб-ресурса (K_4), оптимизация по поисковой системе (K_5).

Определим по формулам (1) и (2) веса критериев.

Сумма оценок рассчитывается по формуле:

- Таблица 2. Свертка альтернатив по критериям
- Table 2. Alternatives according to criteria

Альтернатива	Критерий					Взвешенные оценки альтернатив
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	
	0,20	0,25	0,16	0,11	0,27	
A_1	0,31	0,09	0,50	0,10	0,45	$= 0,31 \cdot 0,20 + 0,09 \cdot 0,25 + 0,50 \cdot 0,16 + 0,10 \cdot 0,11 + 0,45 \cdot 0,27 = 0,30$
A_2	0,32	0,17	0,14	0,16	0,29	$= 0,32 \cdot 0,20 + 0,17 \cdot 0,25 + 0,14 \cdot 0,16 + 0,16 \cdot 0,11 + 0,29 \cdot 0,27 = 0,22$
A_3	0,28	0,43	0,28	0,44	0,17	$= 0,28 \cdot 0,20 + 0,43 \cdot 0,25 + 0,28 \cdot 0,16 + 0,44 \cdot 0,11 + 0,17 \cdot 0,27 = 0,29$
A_4	0,09	0,31	0,08	0,29	0,10	$= 0,09 \cdot 0,20 + 0,31 \cdot 0,25 + 0,08 \cdot 0,16 + 0,29 \cdot 0,11 + 0,10 \cdot 0,27 = 0,17$
	Σ					1



• Рис. 3. Алгоритм оптимизации веб-ресурса
 • Fig. 3. Web resource optimization algorithm

$$C_{ni} = \sum K_n, \quad (1)$$

где C_{ni} – сумма оценки каждого критерия; K_n – значение оценки n -го критерия (в нашем случае от 1 до 5).

Вес целей рассчитывается по формуле:

$$V_n = \frac{C_{ni}}{\sum C_{ni}}, \quad (2)$$

где V_n – вес цели n -го критерия; C_{ni} – сумма оценок n -го критерия (в нашем случае от 1 до 5).

Балльная шкала для оценки критериев: 1 – равная важность, 2 – умеренное превосходство, 3 – значительное превосходство, 4 – сильное превосходство, 5 – очень сильное превосходство.

Свертка оценок альтернатив методом взвешенной суммы приведена в табл. 2. Таким образом, наилучшая альтернатива – A_1 (т. е. сайт на движке «Wordpress»), которая имеет максимальную взвешенную оценку 0,30; наименее предпочтительный вариант – сайт на конструкторе «Wix» (A_4) со взвешенной оценкой = 0,17.

Разработка модели обеспечения качества процесса поисковой оптимизации веб-ресурсов

Алгоритм оптимизации веб-ресурса показан на рис. 3. Процесс оптимизации состоит из пяти основных операций общей продолжительностью 100 мин.

Заключение

Большое развитие на данный момент получила область конкурентного продвижения коммерческих веб-ресурсов заинтересованных сторон, которыми являются как потребители, так и поставщики. Оснащение ИТ-компании современной техникой, улучшение эргономики и интерфейса веб-ресурсов, круглосуточная техническая поддержка, оперативное реагирование – это те критерии, которые заинтересованные лица выделяют в первую очередь.

Для повышения качества поисковой оптимизации веб-ресурса был выбран способ для его разработки – сайт на движке «Wordpress».

Для оптимизации веб-ресурса необходимо применить алгоритм, состоящий из пяти основных операций, при этом временные затраты составят до 100 мин.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тинькофф: «темная тема», e-Sim и многое другое. URL: <https://www.tinkoff.ru/about/news/27102020-tinkoff-updated-and-added-new-services-to-the-superapp/> (дата обращения: 21.10.2022).
2. Тинькофф: рекордная прибыль. URL: <https://www.tinkoff.ru/about/news/11032021-tcs-group-holding-plc-fin-results-fy-2020/> (дата обращения: 21.12.2022).
3. Новая Яндекс.Метрика. URL: <https://metrika.yandex.ru> (дата обращения: 15.01.2023).
4. Варжапетян А. Г., Семенова Е. Г. Квалиметрия. СПб.: ГУАП, 2019. 196 с.

REFERENCES

1. Tinkoff: "dark theme", e-Sim and much more. Available from: <https://www.tinkoff.ru/about/news/27102020-tinkoff-updated-and-added-new-services-to-the-superapp/> [Accessed 21 October 2022].
2. Tinkoff: record profit. Available from: <https://www.tinkoff.ru/about/news/11032021-tcs-group-holding-plc-fin-results-fy-2020/> [Accessed 21 December 2022].
3. New Yandex.Metrica. Available from: <https://metrika.yandex.ru> [Accessed 15 January 2023].
4. Varzhapetyan A. G., Semenova E. G. Qualimetry. SPb.: SUAI; 2019. 196 p. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Комаров Тимофей Игоревич, магистрант кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – качество систем и программ, эффективность веб-ресурсов.

Чабаненко Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – качество, аддитивные технологии, квалиметрия.

Komarov Timofey I., Master Student at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – the quality of systems and programs, efficiency of web resources.

Chabanenko Alexander V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – quality, additive technologies, qualimetry.

Поступила в редакцию 31.01.2023

Поступила после рецензирования 13.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 31.01.2023

Revised 13.02.2023

Accepted 30.03.2023

Научная статья
УДК 004.932.2

DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-17-20

Метод машинного зрения для контроля качества продукции

Ольга Витальевна Чупринова¹

Chuprinova_o@mail.ru, orcid.org/0000-0002-3630-5995

Анна Сергеевна Степашкина¹

✉ stepashkina.anna@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-3326-0776

Екатерина Владимировна Помазан¹

1katya.pomazan@gmail.com

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены возможности машинного зрения для контроля качества продукции на производстве. Описан метод реализации и построения алгоритмов обработки изображений с помощью машинного обучения.

Ключевые слова: машинное зрение, машинное обучение, контроль качества, визуальный контроль

Для цитирования: Чупринова О. В., Степашкина А. С., Помазан Е. В. Метод машинного зрения для контроля качества продукции // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 17–20. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-17-20.

Original article

Machine vision method for product quality control

Olga V. Chuprinova¹

Chuprinova_o@mail.ru, orcid.org/0000-0002-3630-5995

Anna S. Stepashkina¹

✉ stepashkina.anna@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-3326-0776

Ekaterina V. Pomazan¹

1katya.pomazan@gmail.com

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The possibilities of machine vision for product quality control in production are considered. The method of implementation using machine learning and the construction of image processing algorithms is also described.

Keywords: machine vision, machine learning, quality control, visual control

For citation: Chuprinova O. V., Stepashkina A. S., Pomazan E. V. Machine vision method for product quality control. Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation. 2023;2(3):17–20. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-17-20.

Введение

С переходом развития индустрии на стадию 4.0 появляется новый термин – «умное производство», который предполагает использование на предприятиях сетевых информационных технологий и киберфизических систем на различных этапах жизненного цикла продукции. Для реализации такого процесса чаще всего используется специализированное программное обеспечение, устройства с искусственным интеллектом, машинное обучение и лазеры. Так, например, одной из самых быстро развивающихся технологий является машинное зрение. Интерес к технологиям связан с широкими возможностями их применения: обеспечение безопасности на предприятии, контроль за складскими помещениями и идентификация,

сборка данных о состоянии оборудования, контроль качества выпускаемой продукции и др.

Возможности машинного зрения при контроле качества продукции

Машинное, или компьютерное, зрение – технология автоматизации производственного процесса посредством визуального контроля. Основные задачи систем машинного зрения – получение цифрового изображения, обработка с целью получения необходимой информации и последующий математический анализ полученных данных для решения поставленной задачи. Однако пути решения задачи могут различаться, для разных целей применяются разные алгоритмы обработки

и преобразования информации. Рассмотрим основные задачи машинного зрения.

1. Распознавание: в данном случае целями будут определение пространственного или статистического местоположения объекта и дальнейшая передача информации о месте нахождения этого объекта в систему управления. Пример такой задачи – определение местоположения продукции на складе и отслеживание дальнейшего перемещения.

2. Инспекция: цель данной операции – подтверждение определенных заданных свойств объекта.

3. Измерение: для приложения такого типа главная задача – определение физических параметров объекта, например, размера, формы, диаметра, кривизны и т. д.

4. Идентификация: считывание различного вида кодов, таких как штрихкод, буквенные и цифровые обозначения.

Исходя из основных задач, которые выполняет машинное зрение, мы можем выделить возможности компьютерного зрения для контроля качества продукции:

1) обнаружение визуальных дефектов на поверхности выпускаемой продукции, такие как царапины, трещины, сколы и т. д.;

2) обнаружение отклонений продукции по размеру или форме;

3) обнаружение лишних включений в структуре изделия;

4) проверка маркировки и этикеток.

Говоря о преимуществах использования метода машинного зрения на производстве, можно отметить повышение эффективности и пропускной способности выходного контроля качества, облегчение человеческого труда, уменьшение ошибок, связанных с человеческим фактором.

Для внедрения машинного зрения в процесс выходного контроля качества необходимы две составляющие – сама камера и программное обеспечение. Для визуального контроля изделий на производстве чаще всего применяют монохромные камеры, так как они обладают более высокой чувствительностью, однако этот параметр зависит от особенностей производства: так, при производстве печатной продукции используются цветные камеры. Следующим важным параметром является выбор типа сенсора – CCD (ПЗС) или CMOS (КМОП). Их отличия заключаются в архитектуре: в отличие от ПЗС, на поверхность КМОП-сенсора интегрируются электронные схемы, что позволяет быстрее считывать данные изображения. Такое преимущество важно на производствах, в которых конвейерная лента движется на высокой скорости [1].

Программная часть машинного зрения включает в себя набор алгоритмов, обеспечивающих обработку полученного изображения и последующий

анализ данных. Очень важно, чтобы программное обеспечение учитывало помехи и так называемые шумы изображений, тени, блики и умело их фильтровать. Отметим, что не существует единого алгоритма для машинного зрения из-за разных условий работы, задач и объектов визуализации.

Машинное обучение

Машинное обучение – применение математических моделей данных для обучения систем искусственного интеллекта. Технология машинного обучения основана на анализе входных данных, которые могут быть представлены в различных формах – в виде текстовых данных, изображений и т. д.

В основе машинного обучения лежат три основных компонента:

1) данные. Массив входных данных – датасет, собранный всевозможными способами. При этом чем больше данных, тем эффективнее обучение и точнее результат;

2) признаки – параметры, по которым строится машинное обучение;

3) алгоритм – выбор метода обучения (с учителем или без учителя).

Далее необходимо выбрать цель машинного обучения, так как от этого зависит выбор поставленной перед программой задачи. Основные задачи машинного обучения:

1) извлечение данных – для нахождения закономерностей и исследования зависимостей в ряде показателей;

2) прогнозирование – составление прогноза на основе предыдущих данных;

3) идентификация – отделяет данные с заданными параметрами от остального массива данных;

4) кластеризация – сортировка данных по схожим категориям признаков;

5) регрессия – прогноз на основе выборки данных с различными признаками;

6) классификация – выявление категории объекта на основе имеющихся данных. Чаще всего используется для распознавания объектов.

Методы обеспечения визуального контроля качества

Для реализации задачи визуального контроля качества на производстве рассмотрим машинное обучение с учителем. Главная задача такого метода – выдать достаточно точный ответ на основе анализа входных данных. В этом случае именно входная выборка данных выступает в качестве учителя. По типу отклика ставится задача клас-

сификации, при которой множество возможных ответов конечно.

Выделим основные этапы, необходимые для внедрения машинного зрения при контроле качества продукции на производстве. Для начала необходимо создать выборку данных для обучения искусственного интеллекта. Такая выборка включает в себя фотоматериал выпускаемой продукции с различными видами дефектов, включений, сколов, отклонений размеров, деформаций и других возможных нарушений. Чем больше выборка, тем точнее будет результат.

Второй этап – обучение системы машинного зрения. Один из вариантов обучения – с помощью библиотек языка программирования Python. Камера получает изображения объекта, и далее происходит обработка данных. Обработка визуальных данных, в свою очередь, также состоит из нескольких этапов:

- фильтрация шумов. Алгоритмы так называемого «нижнего уровня» машинного обучения отвечают за обработку изображения с целью корректировки шума, конвертации оттенков серых цветов в упрощенное сочетание черного и белого. После такой обработки программа готова дальше считывать размеры, находить нужные сегменты, определять объекты и другие характеристики изображения;

- декодирование изображения – перевод изображения на язык машины;

- считывание показаний по размеченным областям (сегментам).

Отметим, что выходные значения обязательно должны быть связаны с каждым значением пикселя входного изображения.

Для обучения аналитической модели можно использовать алгоритм дерева решений – автоматический анализ больших массивов данных. Он представляет собой древовидную структуру, с четко вы-

раженной иерархией с правилами вида «если...», «то...», за счет этого алгоритмы дерева решений как аналитическая модель проще, чем нейронные сети. В основе лежат алгоритмы, допускающие оптимальные решения на каждом шаге, которые приводят к завершению цикла. То есть при выборе одного атрибута и разбиении его на подмножества алгоритм не может вернуться назад и выбрать другой атрибут, даже если это даст лучшее итоговое разбиение. Следовательно, на этапе построения дерева решений нельзя точно утверждать, что удастся добиться оптимального разбиения.

На третьем этапе происходит аналитическая обработка данных и получение результата. Обработка визуальных данных проходит путем сравнения полученного с камеры изображения и материала, с помощью которого обучалась сеть. С помощью дерева решений алгоритм приходит к результату о совпадении или несовпадении фрагментов изображений, и итогом будет результат – заключение о наличии или отсутствии дефекта.

Заключение

При переходе на автоматический визуальный выходной контроль продукции с применением методов машинного зрения промышленное предприятие может повысить производительность без потери качества. Для машинного зрения не требуется замена действующих конвейерных линий или переход на «умные» устройства, кроме самой камеры.

Кроме того, для методов машинного зрения может быть проведена оценка качества с помощью заготовленного для этого датасета или другого аналитического алгоритма. Это является главными преимуществами по сравнению с ручной проверкой продукции оператором.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Моргунов В. В. Применение машинного зрения в области контроля качества // Междунар. студ. науч. вестн. 2019. № 2. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19609> (дата обращения: 20.01.2023).
2. Степашкина А. С., Епифанцев К. В. Дистанционный контроль качества сварных соединений пленок методом измерений дефектов системой искусственного интеллекта // Альманах соврем. метрологии. 2022. № 4 (32). С. 75–88.
3. Макаров И. Д., Панов А. В. Искусственный интеллект: перспективы развития // Студ. науч. форум: Материалы XIV Междунар. студ. науч. конф. URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018031957> (дата обращения: 20.01.2023).
4. Акимов А. А. Обзор современных методов искусственного интеллекта по распознаванию девиантного поведения индивида // Вестн. Технолог. ун-та. 2020. Т. 23, № 8. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43924350> (дата обращения: 20.01.2023).
5. Алферьев Д. А. Программные средства моделирования и разработки систем искусственного интеллекта // Крым. науч. вестн. 2020. № 1 (26). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42872560> (дата обращения: 20.01.2023).

6. Габдиев Ф. Ф. Глубокие нейронные сети для решения задачи распознавания лиц по фотоизображению // Соврем. наукоемкие технологии. 2020. № 5. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42918766> (дата обращения: 20.01.2023).

REFERENCES

1. Morgunov V. V. Application of machine vision in the field of quality control. International Student Scientific Bulletin. 2019;(2). (In Russ.). Available from: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19609> [Accessed 20 January 2023].
2. Stepashkina A. S., Epifantsev K. V. Remote quality control of welded joints of films by measuring defects by artificial intelligence system. Almanac of modern metrology. 2022;(4(32)):75–88. (In Russ.).
3. Makarov I. D., Panov A. V. Artificial intelligence: development prospects. Student Scientific Forum: Materials of the XIV International Student Scientific Conference. (In Russ.). Available from: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018031957> [Accessed 20 January 2023].
4. Akimov A. A. Review of modern artificial intelligence methods for recognizing deviant behavior of an individual. Bulletin of the Technological University. 2020;23(8). (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43924350> [Accessed 20 January 2023].
5. Alferyev D. A. Software tools for modeling and development of artificial intelligence systems. Crimean Scientific Bulletin. 2020;(1(26)). (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42872560> [Accessed 20 January 2023].
6. Gabdiev F. F. Deep neural networks for solving the problem of face recognition by photo image. Modern high-tech technologies. 2020;(5). (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42918766> [Accessed 20 January 2023].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чупринова Ольга Витальевна, аспирант, ассистент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – метрология, системы автоматизации, программирование.

Степашкина Анна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – математическое моделирование, технологии искусственного интеллекта.

Помазан Екатерина Владимировна, студентка кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – инноватика, стандартизация.

Chuprinova Olga V., Postgraduate Student, Assistant at the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – metrology, automation systems, programming.

Stepashkina Anna S., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – mathematical modelling, artificial intelligent technologies.

Pomazan Ekaterina V., Student at the Department of Metrological Support of Innovative Technologies and Industrial Safety, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – innovation, standardization.

Поступила в редакцию 06.03.2023

Поступила после рецензирования 09.03.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 06.03.2023

Revised 09.03.2023

Accepted 30.03.2023

Научная статья
УДК 004.055+374.1

DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-21-27

Анализ платформ для обучения основам информационной безопасности

Сергей Валентинович Солёный¹

ssv@guap.ru, orcid.org/0000-0002-7919-3890

Илья Андреевич Воропаев¹

✉ ia_voropaev@guap.ru, orcid.org/0000-0003-1291-3694

Екатерина Александровна Прожирко¹

ekaterina.prozhirko519@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-7287-196X

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В современном мире с использованием информационных технологий в дистанционном обучении и образовании в учебных заведениях начали применять систему онлайн-образования. Онлайн-платформа для обучения – это основанная на программном обеспечении онлайн-инфраструктура, которая позволяет пользователям обучаться по уже готовым учебным материалам и публиковать свои учебные пособия или курсы. На данный момент такой вид обучения является таким же результативным, как и очное обучение, и имеет преимущества в виде меньших временных затрат. В статье будет приведен анализ курсов по информационной безопасности на наиболее популярных российских онлайн-платформах для обучения – «Яндекс.Практикум», «Нетология», Stepik, Skillspace, MOOC, iSpringLearn.

Ключевые слова: онлайн-обучение, автоматизированное обучение, дистанционное обучение, информационная безопасность, монетизация

Для цитирования: Солёный С. В., Воропаев И. А., Прожирко Е. А. Анализ платформ для обучения основам информационной безопасности // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 21–27. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-21-27.

Original article

Analysis of the platform for teaching the basics of information security

Sergey V. Solyonyj¹

ssv@guap.ru, orcid.org/0000-0002-7919-3890

Ilya A. Voropaev¹

✉ ia_voropaev@guap.ru, orcid.org/0000-0003-1291-3694

Ekaterina A. Prozhirko¹

ekaterina.prozhirko519@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-7287-196X

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. In the modern world in educational facilities began to apply the online education system with the use of information technology in distance learning and education. Online learning platform is a software-based online infrastructure, which allows users to learn from ready-made training materials, and publish their tutorials or courses. For now, this type of training is just as effective as full-time training and has the advantage of less time consuming. This article makes a brief review of IS courses on most popular Russian online learning platforms (Practicum.yandex.ru, Netology.ru, Skillspace.ru, MOOC.org, iSpring Learn).

Keywords: online learning, automated learning, distance learning, information security, monetization

For citation: Solyonyj S. V., Prozhirko E. A., Voropaev I. A. Analysis of the platform for teaching the basics of information security. Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation. 2023;2(3):21–27. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-21-27.

Введение

В чем потребность выведения отдельного стандарта для онлайн-образования? В парадигме ускоренного развития научного мира и постоянного состояния технологического прорыва остро стоит вопрос о доступности информации, что вы-

ливается в желание человека делиться своими знаниями. Ранее обучение в учебном заведении считалось самым верным способом получения информации. На текущий момент существует множество организаций, обладающих значительной компетентностью в различных областях и соответствующих требованиям по наполнению

и обучению штата сотрудников и подбору новых кадров. Это заставляет компании создавать собственные модели обучения и обучающие сервисы внутри компаний, которые наиболее эффективно выполняют задачи по формированию компетенций у новых сотрудников. Данные методики находят применение в образовательных сервисах и компаниях, которые закрывают потребность крупных компаний в подборе кадров для обучения. Таким образом, крупные компании, находящиеся на острие научного и технологического прогресса, оказываются лидерами также и в области апробации и внедрения новых высокоэффективных методов образования, которые ведут к увеличению общего уровня компетентности кандидатов на рынке труда. Игнорировать данные тенденции – значит полностью отказаться от развития образовательных моделей, поскольку на текущий момент именно такая бизнес-модель приносит стабильный заработок и развитие крупным игрокам на рынке высоких технологий. Основным трендом, который мы будем рассматривать в данной статье, – новый формат онлайн-образования, ставший уже привычным современному пользователю и который мы можем называть стандартом онлайн-образования. Данный стандарт продиктован самими крупными игроками рынка онлайн-образования, поэтому нами были выделены и проанализированы все основные подходы и методики, применяемые в онлайн-образовании в качестве автоматизированных и автоматических средств для повышения компетентности их будущих соискателей.

В современном онлайн-образовании можно выделить два основных вида – автоматизированное и дистанционное.

Первое практически полностью лишено непосредственного общения между преподавателем и учеником. Чаще всего оно ограничено чатами, отзывами преподавателя или комментариями. Роль преподавателя в процессе обучения сводится к подготовке курсов, оценке загруженных учеником заданий и отслеживанию статистики учеников. В остальном изучение материалов выполнено в виде подготовленных статей (лонгридов), видеолекций и презентаций. Оценка знаний выполняется в виде заранее подготовленных тестовых заданий, заданий для загрузки (проверяется преподавателем) и других типов заданий. Ассортимент заданий полностью зависит от площадки. Также прохождение автоматизированного курса чаще всего не привязано ко времени, т. е. ученик может пройти тест, прочитать лекцию и т. д. в любой удобный ему момент.

Дистанционное обучение объединяет элементы очного и автоматизированного обучения. Оно

включает в себя уже названные лонгриды, тестовые задания и задания на загрузку, но большая часть обучения происходит в формате онлайн-лекций. Роль преподавателя в таком виде обучения намного выше, чем в автоматизированном. Здесь преподаватель непосредственно проводит занятие, а не только готовит курс и проверяет задания.

Онлайн-платформы для организации дистанционного обучения в учебных заведениях и условия их подключения

Среди автоматизированных систем обучения самыми известными являются Stepik, SkillSpace и iSpringLearn.

Среди них широкий ассортимент и самую большую известность среди пользователей имеет платформа Stepik [1]. По своему функционалу эта платформа более приспособлена к обучению программированию, однако она предоставляет все возможности для создания курсов на любые темы. Кроме уже упомянутых типов занятий, Stepik предлагает, например, задания на написание программы. Программа проверяется встроенным компилятором/интерпретатором. При этом, в отличие от двух других платформ, Stepik используется для создания открытых курсов, доступных для прохождения за пределами одной компании, а также для создания бесплатных курсов. SkillSpace дает возможность создания курсов на продажу, но основной функционал подразумевает использование внутри организации [2, 3]. Использование iSpringLearn вне организации не подразумевается вовсе.

Среди платформ дистанционного обучения выделяются «Яндекс.Практикум» и «Нетология». Также, в качестве примера, рассмотрим систему LMS, используемую в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения. По наполнению эти три системы очень похожи. Для удобства работы такие площадки подключают внешнюю (или создают свою) систему видеосвязи. Так, в LMS – это система Big Blue Button. Подробное сравнение систем приведено в табл. 1.

Для изучения информационной безопасности наиболее распространены онлайн-лекции, изучение теоретического материала, тесты и практические задания. Ниже приведено сравнение курсов по информационной безопасности на автоматизированных площадках онлайн-образования (табл. 2) и площадках дистанционного образования (табл. 3).

- Таблица 1. Сравнение функционала площадок размещения онлайн-курсов по информационной безопасности
- Table 1. Comparison of the functionality of sites for hosting online courses on information security

Критерий сравнения		iSpringLearn	Stepik	«Яндекс.Практикум»	SkillSpace	«Нетология»
Доступные варианты занятий	Лонгрид (урок)	Есть	Есть	Есть	Есть	–
	Презентация	Есть (нужно загружать отдельно)	Нет	Есть	Нет	–
	Видео	Есть (в составе лонгрида)	Есть	Есть	Есть	Есть
	Оценка прохождения курса преподавателем	Нет	Есть	Есть	Нет	–
Доступные варианты заданий	Выбор одного варианта ответа	Есть	Есть	Есть	Только платно	–
	Выбор нескольких вариантов ответа	Есть	Есть	Есть	Только платно	–
	Задача на сортировку	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Задача на сопоставление	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Табличная задача	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Заполнить пропуски	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Текстовая задача	В составе краткого ответа	Есть	Нет	Нет	–
	Численная задача	В составе краткого ответа	Есть	Нет	Нет	–
	Математическая задача	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Численная задача со случайной генерацией условия	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Краткий ответ на вопрос (свободный ответ)	Есть	Есть	Нет	Только платно	–
	Программирование	Нет	Есть	Есть	Нет	–
	Задача на данные	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	SQL Challenge	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	HTML- и CSS-задача	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Задача на Linux	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Задание на внешнем ресурсе	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	LTI consumer	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Задача на программирование в Linux	Нет	Есть	Нет	Нет	–
	Задача с JetBrainsIDE	Нет	Есть	Нет	Нет	–
Задание (загрузка файла на проверку)	Есть	Нет	Есть	Только платно	–	

- Окончание табл. 1
- End of the table 1

Критерий сравнения		iSpringLearn	Stepik	«Яндекс.Практикум»	SkillSpace	«Нетология»
Возможности связи «студент – преподаватель»	Система мероприятий	Есть	Нет	Есть	Нет	–
	Онлайн-чат	Нет	Нет	Есть	Есть (платно)	–
	Обратная связь от учеников	Есть (вопросы)	Есть (комментарии и отзывы)	–	Нет (только чат)	–
	Новости	Есть	Есть	Есть	Нет	–

- Таблица 2. Сравнение наполнения курсов по информационной безопасности на автоматизированных площадках
- Table 2. Comparison of the content of information security courses at automated sites

Критерий сравнения		Stepik	iSpringLearn	Skillspace
Доступные варианты занятий	Лонгрид (урок)	Есть	Есть	Есть
	Презентация	Есть	Есть	–
	Видео	Есть	Есть	Есть
	Оценка прохождения курса преподавателем	Есть	–	–
Доступные варианты заданий	Выбор одного варианта ответа	Есть	Есть	Есть
	Выбор нескольких вариантов ответа	Есть	Есть	Есть
	Задача на сортировку	–	–	–
	Задача на сопоставление	–	–	–
	Табличная задача	–	–	–
	Заполнить пропуски	Есть	–	–
	Текстовая задача	–	–	–
	Численная задача	–	–	–
	Краткий ответ на вопрос (свободный ответ)	–	Есть	Есть
	Программирование	–	–	–
	Задача на данные	–	–	–
	Задание на внешнем ресурсе	–	–	–
	Задача на программирование в Linux	–	–	–
Задание (загрузка файла на проверку)	–	Есть	Есть	
Возможности связи «студент – преподаватель»	Система мероприятий	–	Есть	Есть
	Онлайн-чат	–	–	Есть
	Обратная связь от учеников	Есть	Есть	В виде чата
	Новости	Есть	Есть	Есть

- Таблица 3. Сравнение наполнения курсов по информационной безопасности на площадках дистанционного обучения
- Table 3. Comparison of the content of information security courses at distance learning sites

Функциональные возможности платформ		«Нетология» (https://netology.ru/programs/unic#/?)	МООС (https://mooc.ru/category/information-security/free)	LMS
Доступные варианты занятий	Лонгрид (урок)	–	–	Есть
	Презентация	–	–	Есть
	Видео	Есть	Есть	Есть
	Оценка прохождения курса преподавателем	–	–	Есть
	Онлайн-лекции	Есть	Есть	Есть
Доступные варианты заданий	Практическое задание	–	Есть	Есть
	Тесты	–	–	Есть

Монетизация

Среди названных выше площадок только несколько позволяют создавать пользователям собственные курсы. Так, ни «Яндекс.Практикум», ни «Нетология» не дают возможности создать свой курс. Результаты аналитики возможностей монетизации созданных курсов по информационной безопасности, предоставляемых прочими площадками, приведены ниже.

iSpringLearn изначально создана для внутреннего обучения в организации. Единственный способ заработка – продажа доступа к курсу вне площадки, но в таком случае отслеживание финансовой стороны вопроса ложится полностью на создателя курса.

SkillSpace имеет внутренний кошелек и позволяет устанавливать цену за курс и продавать

его внутри площадки. Однако площадка не имеет своей системы платежей. Для оплаты необходимо создать внешний магазин (например, «ЮMoney»), а на площадке уже внести реквизиты этого магазина.

Эти две площадки требуют наличия подписки, т. е. часть полученных с продаж денег будет идти на ее оплату.

Stepik – самая удобная площадка для заработка на открытых курсах. Кроме того, что площадка позволяет создавать курсы без подписок (подписка есть, но она лишь добавляет функционал, а не открывает доступ к площадке), она имеет собственную систему обработки платежей, что позволяет избежать настройки внешнего магазина. Также система позволяет самому выбирать стоимость курса. Сравнение систем монетизации приведено в табл. 4.

- Таблица 4. Сравнение площадок относительно настройки монетизации
- Table 4. Comparison of sites regarding monetization settings

Функциональные возможности платформ	Stepik	SkillSpace
Система обработки платежей	Своя	Внешняя
Возможность настроить систему напрямую	Есть	Нет
Вывод средств	Напрямую на счет	На виртуальный кошелек
Требует дополнительных программных средств	Нет	Да
Отслеживание дохода и статистики	Есть	Нет
Необходимые реквизиты	Тип получателя (физлицо, юрлицо, индивидуальный предприниматель, самозанятый), банковский идентификационный код, расчетный счет	Название, идентификатор магазина, секретный ключ, тип налогообложения (для «Тинькофф»)

Заключение

Методики, представленные на различных автоматизированных платформах, являются преобразованием классических методик образования, существовавших ранее, – они лишь дополнены современными инструментами, ставшими доступными на текущий момент в связи с развитием онлайн-технологий [4, 5]. Основным трендом в представлении материала является ускорение процесса прочтения или применение новых методик для улучшения восприятия обучающимися материала – форматы видеолекций, ускоренные лонгриды, практические митапы в формате онлайн. Определенным «стандартом» среди открытых онлайн-платформ (платформ, предоставляющих услуги по размещению онлайн-курсов преподавателям на свободной или возмездной основе без необходимости трудоустройства в компании – разработчике платформы) можно считать необходимость внедрения систем монетизации курсов для автоматизированных и дистанционных платформ для онлайн-образования, что призвано сократить процесс от получения первичной информации о курсе до первых уроков и начала прохождения курса обучения. Платформы для автоматизированного образования также позволяют получать монетизацию от однажды разработанного онлайн-курса без увеличения постоянных затрат на данный курс. Все данные мето-

дики могут и должны быть внедрены в существующую модель образования по информационной безопасности для обеспечения развития системы образования и соответствия сформировавшимся на 2023 г. стандартам предоставления услуг онлайн-образования.

Для обучения в крупных университетах уже применялись системы дистанционного обучения, особенно во время пандемии. Тогда лекции полностью перешли в онлайн-формат и проводились либо посредством видеосвязи (Zoom, Discord), либо на площадках дистанционного обучения (например, LMS или BigBlueButton). Однако опыт крупных образовательных компаний показывает, что возможно дальнейшее внедрение автоматизированных систем образования как средства улучшения восприятия материала. Так, лонгриды и тесты можно использовать для закрепления пройденного на лекции материала, либо для самостоятельного изучения материала, не входящего в основную программу, или для дополнительного образования. Внедрение этих и других форматов автоматизированных систем онлайн-образования позволит облегчить преподавателям изложение материала и проверку успеваемости студентов. Студентам это позволит иначе распределять собственное время, глубже понимать изученный материал и дополнительно изучать материал, не вошедший в основную программу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Запорожко В. В., Кобзева М. А.* Разработка массового открытого онлайн-курса на базе образовательной платформы Stepik // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всерос. науч.-метод. конф. 2019. С. 5179–5187. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37075735> (дата обращения: 10.01.2023).
2. *Ильина В. Ю., Кукушкин Ю. М.* Платформа дистанционного обучения в вузе: альтернативы Moodle и другим зарубежным СДО // Современная филология. Социальная и национальная вариативность языка и литературы: Материалы VII Междунар. науч. конгр. Симферополь, 2022. С. 414–419. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49472985> (дата обращения: 10.01.2023).
3. Возможности площадки SkillSpace. URL: <https://skillspace.ru/features> (дата обращения: 10.01.2023).
4. *Сабиров Д.* Сервисы онлайн-образования для ИТ-специалистов в РУНЕТЕ // Системный администратор. 2020. № 7–8 (212–213). С. 84–87. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43815039> (дата обращения: 10.01.3023).
5. *Менциев А. У., Даулетукаева К. Д.* MOOK как новый инструмент дистанционного образования: педагогическая основа MOOK, проблемы и ограничения // ЦИТИСЭ: электрон. реценз. науч. журн., сетевое изд. 2019. № 2 (19). С. 33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38506003> (дата обращения: 10.01.3023).

REFERENCES

1. Zaporozhko V. V., Kobzeva M. A. Development of a massive open online course based on the Stepik educational platform. University complex as a regional center of education, science and culture: Materials of the All-Russian scientific and methodological conference. 2019, pp. 5179–5187. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37075735> [Accessed 10 January 2023].

2. Plyina V. Yu. Kukushkin Yu. M. Distance learning platform at the university: alternatives to Moodle and other foreign LMS. Modern philology. Social and national variety of language and literature. Materials of the VII International scientific congress. Simferopol; 2022, pp. 414–419. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49472985> [Accessed 10 January 2023].
3. Opportunities of the SkillSpace platform. Available from: <https://skillspace.ru/features> [Accessed 10 January 2023].
4. Sabirov D. Online education services for IT specialists in RUNET. System administrator. 2020;(7–8(212–213)):84–87. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43815039> [Accessed 10 January 2023].
5. Mentsiev A. U., Dauletukaeva K. D. MOOC as a new tool for distance education: Pedagogical basis of MOOC, problems and limitations. CITISE. 2019;(2(19)):33. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38506003> [Accessed 10 January 2023].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Солёный Сергей Валентинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники, директор Инженерной школы Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – автоматизация, робототехника, электроэнергетика.

Воропаев Илья Андреевич, ассистент кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационная безопасность, безопасность информационных систем, архитектура информационных систем, распределенные информационные системы, децентрализованные информационные системы.

Прождирко Екатерина Александровна, студентка кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационная безопасность, программирование, безопасность информационных систем.

Solyonyj Sergey V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head at the Department of Electromechanics and Robotics, Director at the School of Engineering, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – automation, robotics, power industry.

Voropaev Ilya A., Assistant at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – information security, security of information systems, architecture of information systems, distributed information systems, decentralized information systems.

Prozhirko Ekaterina A., Student at the Department of Radio Engineering and Optoelectronic Complexes, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – information security, programming, security of information systems.

Поступила в редакцию 17.02.2023

Поступила после рецензирования 24.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 17.02.2023

Revised 24.02.2023

Accepted 30.03.2023

Научная статья
УДК 621.311.1

DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-28-35

Сравнительный анализ программного обеспечения, применяемого для решения электроэнергетических задач

Оксана Ярославовна Солёная¹

✉ osolenaya@list.ru, orcid.org/0000-0003-4901-3884

Антон Юрьевич Стекленёв¹

steklenevanton@yandex.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Приводится анализ программных комплексов, предназначенных для решения электроэнергетических задач. Проведен обзор их возможностей, обозначены преимущества и недостатки.

Ключевые слова: анализ, программный комплекс, режим работы электросети, ток короткого замыкания

Для цитирования: Солёная О. Я., Стекленёв А. Ю. Сравнительный анализ программного обеспечения, применяемого для решения электроэнергетических задач // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 28–35. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-28-35.

Original article

Comparative analysis of software for electrical power tasks

Oksana Ya. Solenaya¹

✉ osolenaya@list.ru, orcid.org/0000-0003-4901-3884

Anton Yu. Steklenev¹

steklenevanton@yandex.ru

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article provides an analysis of software packages designed to perform electrical energy tasks. A review of its functional, advantages and disadvantages is given in this article.

Keywords: analysis, software package, short-circuit current, electrical power grid mode

For citation: Solenaya O. Ya., Steklenev A. Yu. Comparative analysis of software for electrical power tasks. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):28–35. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-28-35.

Введение

С развитием информационных технологий решение инженерных задач все больше основывается на использовании прикладного программного обеспечения (ПО), что позволяет автоматизировать многие рабочие процессы и существенно сократить общий срок выполнения проектов по созданию электрической сети. Используемые специализированные программно-вычислительные комплексы (ПВК), как и любой инструмент, имеют свои преимущества и недостатки, анализу которых, с целью определения оптимальной программы для выполнения электроэнергетических задач, посвящено данное исследование.

К базовым электроэнергетическим задачам относятся:

- проектирование схем электроснабжения;
- графический анализ исследуемых характеристик электрооборудования, режимных параметров электрической сети;
- расчет токов короткого замыкания;
- моделирование и расчет режимов работы электрической сети;
- анализ статической и динамической устойчивости электроэнергетической системы.

Поскольку у каждого ПВК своя специфика как задания исходных данных, так и выполнения моделирования, проведение детального анализа особенностей работы конкретного комплекса является актуальным научным исследованием, позволяющим выявить их достоинства и недостатки, а также сократить временные ресурсы исследователя.

Программно-вычислительный комплекс АРМ СРЗА

АРМ СРЗА – специализированное программное обеспечение, состоящее из 11 приложений и предназначенное для расчета электрических величин при однократных и множественных несимметричных повреждениях в электрической сети переменного тока, а также автоматизированного расчета уставок релейной защиты и автоматики. Данный комплекс эксплуатируется как в объединенных диспетчерских управлениях (ОДУ) различных регионов Российской Федерации (ОДУ Востока, ОДУ Сибири, ОДУ Северо-Запада и т. д.), так и в центральном диспетчерском управлении единой Энергетической системы России (ЦДУ ЕЭС). Также АРМ СРЗА используется в крупнейших энергетических компаниях Белоруссии, Казахстана, Латвии, Литвы и Монголии [1].

Комплекс АРМ СРЗА содержит следующие модули:

- графический редактор схем замещения электрической сети;

- программы расчета: токов короткого замыкания по месту повреждения, электрических величин при повреждениях сети любой сложности, параметров схемы замещения электрической сети;

- программа подготовки файла коррекции при изменении сетевых данных по заданным последовательностям токов и индуктивным группам;

- определение мест повреждений по показаниям фиксирующих приборов;

- таблицы определения места повреждения;

- проведение расчетов, необходимых для выбора аппаратов релейной защиты;

- программа анализа срабатывания защит (ПАЗ), в которой на каждом шаге проводятся контроль состояния устройств защиты, формирование изменений параметров электросети, вызванных отключениями потребителей при срабатывании защиты;

- программа создания новой сети на базе эквивалента – построение сети меньшего объема на основе исходной сети, часть которой, не вошедшая в новую сеть, представляется в виде эквивалента.

Для создания расчетных моделей в АРМ СРЗА применяются понятия «ветвь», под которой подразумевается элемент электрической сети с конкретным типом электрооборудования (трансформатор, линия электропередач, линейный реактор и др.), и «узел», т. е. шина подключения элементов сети или точки разветвления сложных по конфигурации электрических схем.

Программный комплекс АРМ СРЗА предоставляет пользователю следующие возможности:

- расчет электрических параметров в диалоговом режиме, с указанием вида, места повреждения и коммутирующих устройств непосредственно на схеме;

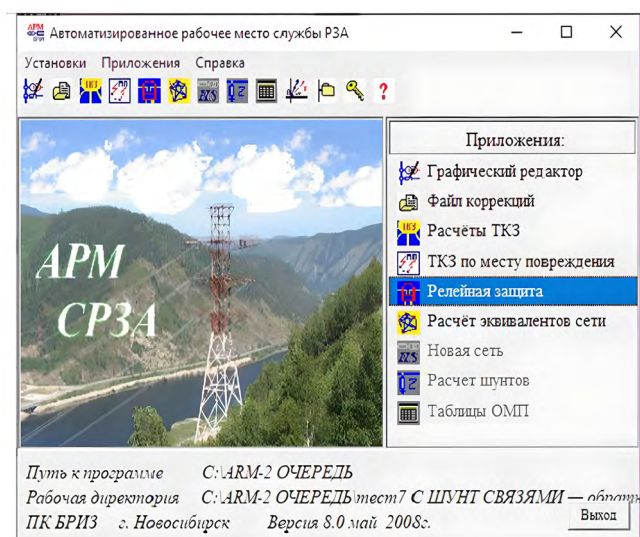
- автоматическое создание протокола проведенных расчетов. Имеется возможность пользовательского регулирования объема и формы протокола;

- использование калькулятора комплексных величин и векторных диаграмм для графического анализа электросети;

- ввод произвольных формул в список электрических величин;

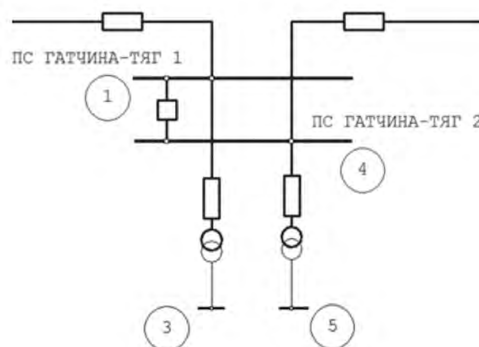
- расчет параметров сети для повреждения любой сложности;

- одновременная работа с несколькими сетями благодаря мультиоконному режиму;



• Рис. 1. Рабочая область АРМ СРЗА

• Fig. 1. Working area of ARM CRZA



• Рис. 2. Графический вид схемы в АРМ СРЗА

• Fig. 2. Working area of ARM CRZA

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	3110	1.20	ВИД-КЗ А0 УЗЕЛ-КЗ 8901		ЗІ0=2592 -82 ЗU0=33.02 -180
	УСТ	2395	1.20	ВИД-КЗ ВС0 УЗЕЛ-КЗ 8901		ЗІ0=1995 98 ЗU0=25.42 -0

- *Рис. 3. Пример протокола расчета первой ступени дистанционной защиты*
- *Fig. 3. An example of a protocol for calculating the first stage of distance protection*

– создание сети с неограниченным количеством ветвей и узлов. Модель сети может быть представлена как в графическом, так и в табличном виде (в зависимости от вида возможен импорт/экспорт модели в САД-программы или Microsoft Excel) [2].

Интерфейс ПВК АРМ СРЗА показан на рис. 1.

Выбор параметров электрооборудования осуществляется благодаря встроенной базе данных с возможностью отслеживания изменения текущей стоимости. Пример построенной электрической схемы приведен на рис. 2 [3].

По выполненным расчетам оформляется протокол, позволяющий оформлять отчетную документацию проекта (рис. 3).

Таким образом, комплекс АРМ СРЗА позволяет решать широкий спектр задач, включая возможности определения уровня токов короткого замыкания (КЗ) для дальнейшего выбора токоведущих частей и настройки селективности срабатывания защит. Наиболее целесообразный вариант применения данного программного обеспечения – расчет параметров электрической сети и выбор устройств релейной защиты и автоматики.

Программно-вычислительный комплекс RastrWin

RastrWin – это программное обеспечение отечественного производства, предназначенное для проведения анализа, расчета и оптимизации установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС).

Данное ПО применяется в промышленных организациях на территории России, Белоруссии, Молдовы, Монголии, Киргизии и Сербии. Среди крупнейших пользователей – «Федеральная сетевая компания – Россети», проектный институт «Энергосетьпроект» и сетевой оператор Единой энергетической системы России (СО ЕЭС).

Комплекс RastrWin состоит из отдельных модулей, предназначенных для решения конкретных задач:

– расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и слож-

ности, с уровнем напряжения от 0,4 до 1150 кВ. Возможен учет отклонения частоты;

– оптимизация электросети по уровням напряжения, распределение реактивной мощности;

– структурный анализ потерь мощности в зависимости от типа оборудования, уровня напряжения, характера потерь;

– анализ допустимого уровня токовой загрузки линий и трансформаторов;

– проведение расчета параметров сети с несколькими вариантами возможных аварийных ситуаций;

– сравнительный анализ режимов по заданным пользователем критериям;

– определение коэффициентов, позволяющих оценить влияние изменения входных параметров на результаты расчета [4].

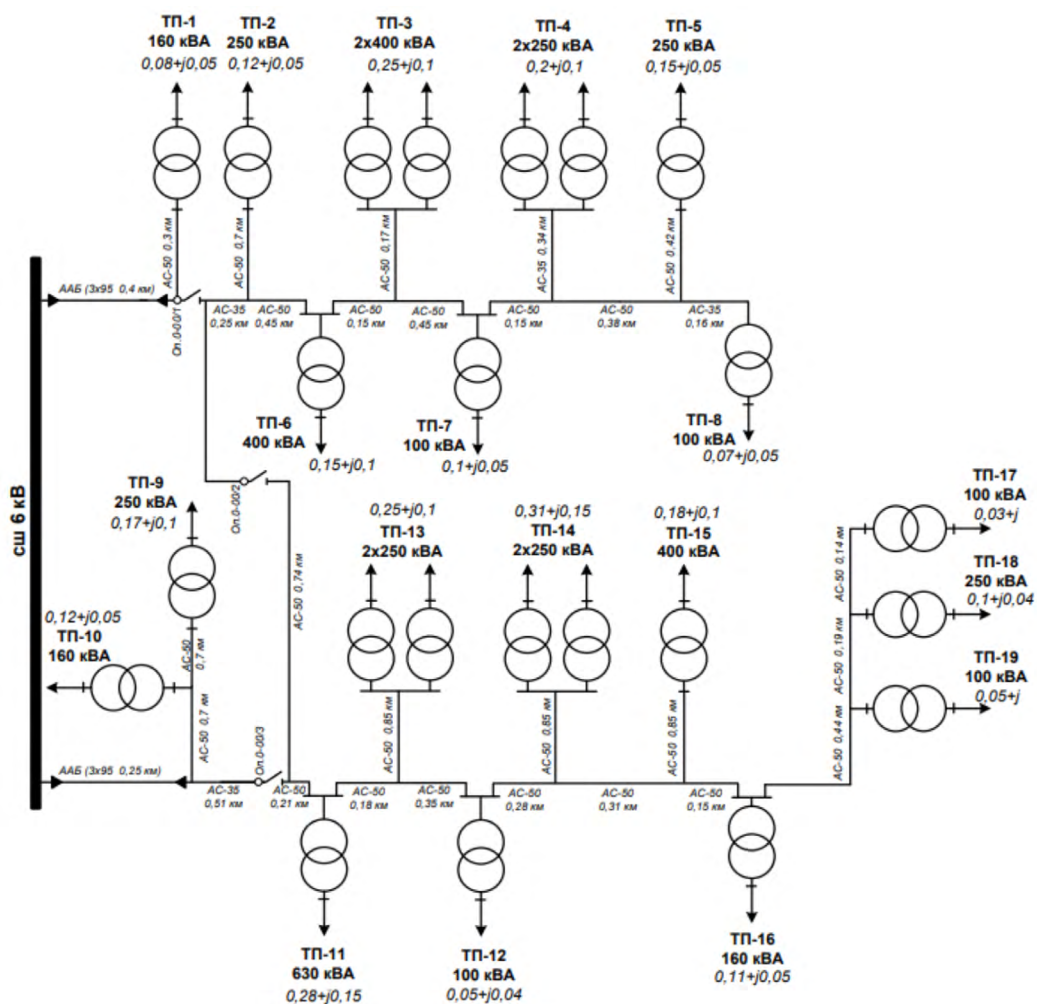
Схема электрической сети с выбором электрооборудования из собственной базы данных RastrWin 3-й версии показана на рис. 4 [5].

Данный ПВК позволяет проводить сравнение параметров режима работы сети при изменении нагрузки, что показано на рис. 5. Также есть возможность составления структурного анализа потерь мощности в зависимости от места расположения линий электропередач (ЛЭП) (рис. 6).

Исходя из полученных данных, основная специализация программного комплекса RastrWin – расчет и анализ изменений параметров режима работы электросети, осуществляемые по заданным пользователем критериям.

Программный комплекс DigSilent PowerFactory

Программный комплекс, производимый немецкой компанией *DIGSILENT GmbH*, представляет собой инструмент для анализа электрических систем, оптимизации и планирования их режимов работы. Содержит базу данных электрооборудования с развернутыми техническими параметрами. В частности, с помощью PowerFactory можно рассчитать установившийся и аварийный режимы, оценить устойчивость электрической сети, величины режимных параметров, в том



- *Рис. 4. Графический вид схемы в RastrWin3*
- *Fig. 4. Graphical view of the scheme in RastrWin3*

Сравнение параметров «Узлы»

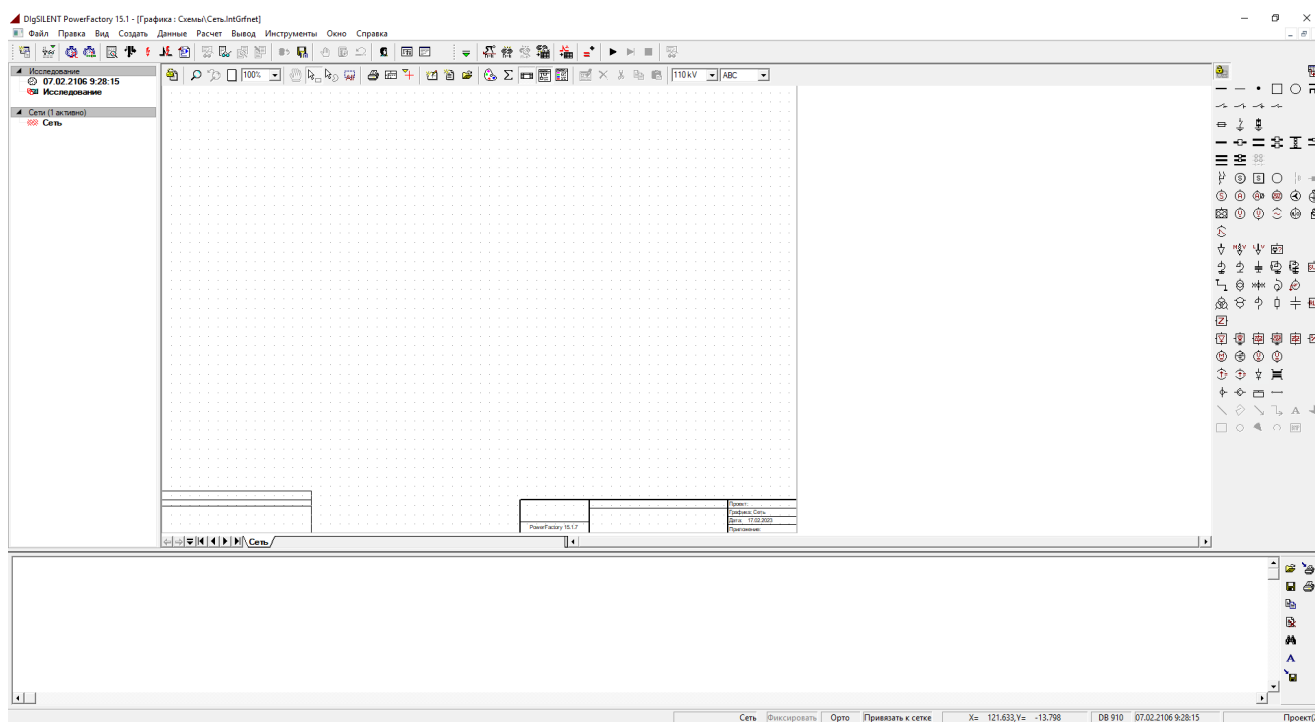
	Номер	Р_н	Р_н(сохр)	Р_г	Р_н(разность)	Р_г(разность)	Р_г(сохр)
1	805			3 496,0			3 496,0
2	1	72,0	72,0	2 000,0			2 000,0
3	4	654,5	654,5	510,0			510,0
4	11	16,0	16,0	3 200,0			3 200,0
5	21	18,0	18,0	1 606,3			1 606,3
6	29	96,0	96,0	2 398,4			2 398,4
7	801	400,0	400,0				
8	803	117,0	117,0	1 300,0			1 300,0
9	804	14,0	14,0				
10	806			365,0			365,0
11	807	1 574,0	1 574,0	1 270,0			1 270,0
12	809	760,0	760,0				
13	811	3 637,0	3 637,0	5 750,0			5 750,0
14	812	1 100,0	1 100,0				
15	813	79,0	79,0				
16	814	177,0	177,0	800,0			800,0
17	816	618,3	618,3	395,0			395,0
18	821			1 120,0			1 120,0

выбрано 195 записей из 195

- *Рис. 5. Сравнение параметров «Узлы» при изменении нагрузки*
- *Fig. 5. Comparison of parameters “Knots” when changing the load*

	№-н	Район	Dp	dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Ш_ЛЭП	Ш_Тр	dP_Ш
				dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Корона	XX_тр-р	
1	1	Сургутские	69.99	69.99	69.99		0.00	0.00		
2		220		69.99	69.99		0.00	0.00		
3	2	Мегийон	31.28	31.28	31.28		0.00	0.00		
4		220		31.28	31.28		0.00	0.00		
5	3	Уренгой	12.30	12.30	12.30		0.00	0.00		
6		220		12.30	12.30		0.00	0.00		
7	4	Западные	17.58	17.58	17.58		0.00	0.00		
8		220		17.58	17.58		0.00	0.00		
9	5	Тобольск	3.32	3.32	3.32		0.00	0.00		
10		220		3.32	3.32		0.00	0.00		
11	7	ОЭС Урала	672.38	672.38	660.10	12.27	0.00	0.00		
12		220		49.87	49.87		0.00	0.00		
13		500		622.51	610.24	12.27	0.00	0.00		

- *Рис. 6. Пример исполнения структурного анализа потерь, дифференцированного по районам*
- *Fig. 6. An example of the execution of a structural analysis of losses, differentiated by regions*



- *Рис. 7. Графический интерфейс PowerFactory*
- *Fig. 7. PowerFactory GUI*

числе токов КЗ, провести координацию работы защитных устройств, а также выполнить модальный анализ и анализ по гармоникам.

Комплекс PowerFactory оснащен следующими функциями:

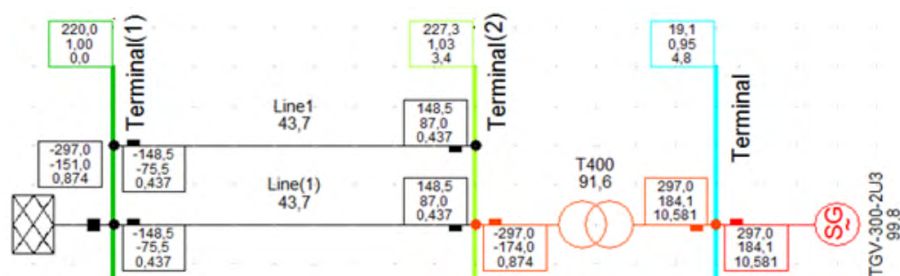
- расчет симметричных и несимметричных установившихся режимов КЗ для сетей произвольных конфигураций;
- моделирование электромеханических и электромагнитных переходных процессов;

– определение надежности электросети и ее составляющих;

– расчет динамической и статической устойчивости;

– возможность привязки элементов схемы ко времени ввода и вариантам развития;

– мониторинг аварийных ситуаций с возможностью расчета пользовательских сценариев отказов и оценки их вероятности;



- *Рис. 8. Схема электрической сети, построенная в PowerFactory*
- *Fig. 8. Network monitoring circuit connected in PowerFactory*

– анализ развития магистральных и распределительных схем электроснабжения с учетом перспективного увеличения мощности [6].

Графический вид пользовательского интерфейса PowerFactory приведен на рис. 7. Пример спроектированной в данном комплексе схемы показан на рис. 8 [7].

Использование вычислительного комплекса PowerFactory также позволяет проводить расчеты для зарубежных электрических сетей, применяя отличающиеся от отечественных нормативы: например, частоту тока в 60 Гц. Однако следует учитывать, что, в силу международной ориентации программы, многие элементы электрооборудования, предлагаемые встроенной базой данных, могут оказаться недоступными для приобретения на отечественном рынке.

Заключение

Все вышеперечисленные программно-вычислительные комплексы способны выполнять такие базовые функции, как проектирование схемы электросети, расчет режимных параметров и выбор электрооборудования. Каждый программный продукт обладает своими преимуществами и недостатками, которые по-разному проявляют себя в зависимости от целей пользователей.

В наиболее широко применяемом в Российской Федерации комплексе RastrWin3 отсутствует возможность расчета токов КЗ в базовой версии. Также в этом вычислительном комплексе невозможно производить анализ динамической устойчивости. Нехватка некоторых функций частично устраняется путем приобретения дополнительных модулей, например, RastrKZ для расчетов токов КЗ, но при этом увеличивается стоимость закупки ПО. За счет распространения RastrWin3 на отечественном рынке работа на многих предприятиях может быть приспособлена под данное ПО, однако ввод исходных данных осуществляется путем присвоения значений параметров

и названия каждому узлу, что значительно увеличивает затрачиваемое время на проектирование и предъявляет серьезные требования к компетенции пользователя.

Программный пакет АРМ СРЗА является наиболее предпочтительным при расчете аппаратов защиты за счет широкого функционала в данной области и наличия собственной программы анализа срабатывания защит, что обуславливает его широкое применение на предприятиях энергетической отрасли Российской Федерации. В то же время спектр опций при расчете токов КЗ комплекса АРМ СРЗА более узкий по сравнению с аналогами. Применение данной программы требует широких знаний в области энергетики и навыков использования систем автоматизированного проектирования (САПР), что осложняется значительно меньшим количеством обучающих материалов и руководств, по сравнению с RastrWin3 [8]. Вывод результатов в данной программе осуществляется посредством текстового файла, обработка которого (копирование в Microsoft Word или Microsoft Excel) занимает дополнительное время, и возникает вероятность совершения ошибок.

Программно-вычислительный комплекс Dig-Silent PowerFactory ориентирован на зарубежные стандарты и нормативы, что может затруднить работу при выполнении технического задания по отечественным ГОСТам и СНИПам. Вместе с тем данный пакет является наиболее распространенным из вышеописанных во всем мире, что подтверждается большим количеством обучающих материалов. Ввод данных возможен путем выбора искомого элемента из панели инструментов аналогично САД-программам, тем самым снижаются временные затраты на выполнение технического задания и требования к дополнительным навыкам при использовании этого комплекса. Вывод результатов осуществляется путем экспорта показаний в формат Microsoft Word, возможен вывод чертежей в AutoCAD. Также в данное ПО осуществим импорт данных из других САПР.

Сравнивая вышеописанные программные средства, можно отметить, что их функционал является наиболее широким из большого количества специализированных программных реше-

ний, применяющихся в электроэнергетической отрасли, чем обуславливается оптимальный выбор данных вычислительных комплексов для решения электроэнергетических задач.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Расчет тока двухфазного короткого замыкания с учетом характеристик заземления оборудования. URL: <https://goo.su/BWy54me> (дата обращения 16.12.2022).
2. АРМ СРЗА ПК БРИЗ. URL: <https://goo.su/KKzLs> (дата обращения 17.12.2022).
3. *Брилинский А., Севастьянова А.* Сравнительный анализ работы программ для расчета несимметричных коротких замыканий в энергосистемах // CADmaster. 2010. № 5 (55). С. 36–42.
4. RastrWin3 – документация пользователя. URL: <https://goo.su/Kvmg> (дата обращения: 18.12.2022).
5. *Смирных И. Ю., Афанасьев А. П.* Практическое применение программного комплекса RastrWin3 при решении эксплуатационных задач в сетях 6–10 кВ // Вестн. Приамур. гос. ун-та им. Шолом-Алейхема. 2017. № 4 (29). С. 61–66.
6. Digsilent PowerFactory – единая платформа расчета и анализа электроэнергетических систем. URL: <https://goo.su/d3Rn0P> (дата обращения: 22.12.2022).
7. *Рыбакова М. В.* Исследование автоматического регулятора возбуждения сильного действия в программе Power Factory // Интеллектуальные энергосистемы: Труды III Междунар. молодеж. форума. Томск, 28 сент. – 2 окт. 2015 г.: в 3 т. Т. 3. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. С. 58–62.
8. *Казакул А. А.* Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2013. 86 с.

REFERENCES

1. Calculation of two-phase short-circuit current, taking into account equipment grounding characteristics. Available from: <https://goo.su/BWy54me> [Accessed 16 December 2022].
2. ARM SRZA PK BRIZ. Available from: <https://goo.su/KKzLs> [Accessed 17 December 2022].
3. Brilinsky A., Sevastyanova A. Comparative analysis of programs for the calculation of asymmetrical short circuits in power systems. CADmaster. 2010; (5(55)):36–42. (In Russ.).
4. RastrWin3 – User documentation. Available from: <https://goo.su/Kvmg> [Accessed 18 December 2022].
5. Smirnykh I. Yu., Afanasyev A. P. Practical application of RastrWin3 software package in solving operational problems in 6–10 kV networks. Bulletin of Sholom Aleichem Priamurskiy State University. 2017;(4(29)):61–66. (In Russ.).
6. Digsilent PowerFactory – unified platform for power system calculation and analysis. Available from: <https://goo.su/d3Rn0P> [Accessed 22 December 2022].
7. Rybakova M. V. Research of automatic strong-acting excitation controller in Power Factory program. Intelligent energy systems: Proceedings of III International youth forum. Tomsk, 28 September – 2 October 2015: in 3 vol. Vol. 3. Tomsk: TPU Publishing House; pp. 58–62. (In Russ.).
8. Kazakul A. A. Industrial software and computer complexes in the electric power industry. Blagoveshchensk: Amur State University; 2013. 86 p. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Солёная Оксана Ярославовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – энергосбережение и повышение энергетической эффективности, развитие методов оценки безопасности технологических объектов.

Solenaya Oksana Ya., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – energy saving and increasing of energy efficiency, development of methods for assessing the safety of technological objects.

Стеклёв Антон Юрьевич, магистрант кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – качество энергии, влияние помех на работу электросети.

Поступила в редакцию 17.02.2023

Поступила после рецензирования 24.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Steklenev Anton Yu., Master Student at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – power quality, influence of interference on power grid operation.

Received 17.02.2023

Revised 24.02.2023

Accepted 30.03.2023

Вопросы безопасности интеллектуальных систем

Михаил Степанович Куприянов¹

Mikhail.kupriyanov@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4695-45070000-0003-4695-4507

Алла Борисовна Левина¹

✉ alla_levina@mail.ru, orcid.org/0000-0003-4421-2411

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены вопросы безопасности интеллектуальных систем и классы возможных атак. Более детально проанализирован класс атак, направленный на нарушение целостности данных, и показаны способы защиты от данного класса атак на примере кодов, исправляющих ошибки.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, безопасность, криптография, теория кодирования, атаки

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-01024-21-02 от 29.09.2021 (проект FSEE-2021-0015).

Для цитирования: Куприянов М. С., Левина А. Б. Вопросы безопасности интеллектуальных систем // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 36–40. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-36-40.

Original article

Security issues of intelligent systems

Mikhail S. Kupriyanov¹

Mikhail.kupriyanov@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4695-45070000-0003-4695-4507

Alla B. Levina¹

✉ alla_levina@mail.ru, orcid.org/0000-0003-4421-2411

¹ Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article briefly discusses the security issues of intelligent systems, analyzes classes of possible attacks. A class of attacks aimed at violating data integrity is considered in more details, and ways to protect systems against this class of attacks are shown on the example of error-correcting codes.

Keywords: intelligent systems, security, cryptography, coding theory, attacks

Acknowledgements. The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation no. 075-01024-21-02 dated September 29, 2021 (project FSEE-2021-0015).

For citation: Kupriyanov M. S., Levina A. B. Security issues of intelligent systems. Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation. 2023;2(3):36–40. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-36-40.

Введение

Интеллектуальные системы (ИС) в настоящее время являются одной из наиболее актуальных и быстро развивающихся областей науки и техники. Развитие и внедрение ИС обусловлены непрерывным техническим прогрессом, быстро растущими потребностями в оптимизации труда человека и появлением новых технических вызовов. ИС задействованы уже для решения комплексных задач, требующих высокой надежности.

Возникновение понятия «интеллектуальные системы» тесно связано с понятием искусственного интеллекта (ИИ) и современной теорией управления [1–3]. Исследования в области ИИ стали развиваться наиболее активно с 1950-х гг.

в связи с развитием средств вычислительной техники, информатики и кибернетики.

На сегодняшний день робототехнические комплексы и ИС являются одним из приоритетных направлений развития цифровой экономики: они позволяют автоматизировать рутинные процессы и повысить качественный уровень выполнения поставленных задач, что, в свою очередь, положительно влияет на развитие промышленности и экономики государства.

В погоне за техническим прогрессом при внедрении ИС очень часто не уделяется должного внимания безопасности данных систем.

Класс атак, способных нарушить безопасность ИС, в настоящее время обширен, в данной статье будут рассмотрены некоторых из них.

Согласно «Доктрине информационной безопасности» [4], под безопасностью информационных систем понимается защищенность данных и использующей их инфраструктуры от ненамеренного и намеренного воздействия, способного нарушить целостность, доступность и конфиденциальность сведений.

Основные понятия

Для рассмотрения существующих угроз в области ИС необходимо сформулировать ряд базовых понятий, используемых в информационной безопасности.

Целостность данных – невозможность их незаметной корректировки, изменений, замены третьими лицами.

Доступность данных – предоставление полномочным лицам полного и постоянного доступа к необходимой информации.

Конфиденциальность – невозможность получения информации посторонними лицами.

В контексте ИС необходимо также понимать, что все перечисленные критерии относятся не только к данным, но и к объектам/элементам, выполняющим ту или иную задачу ИС.

Для решения большинства задач применяются либо отдельные элементы ИС, либо их совокупность, в которой каждый элемент способен выполнять свои задачи автономно. Спектр задач, которые способен выполнять отдельный элемент системы, ограничивается доступными элементами ресурсами для функционирования, и, соответственно, для расширения его функциональности разработчикам необходимо обеспечить интегрирование систем.

При использовании одиночных элементов надежность системы обусловлена наименее отказоустойчивой составляющей. Таким образом, необходимо предложить методы, которые позволят обеспечить отказоустойчивость всей системы за счет повышения отказоустойчивости отдельных компонентов, что требует значительных затрат.

Возможные угрозы

Перечислим наиболее характерные угрозы для ИС. Атаки на ИС можно разделить на два класса:

- 1) атаки по месту возникновения;
- 2) атаки по уровню воздействия на ИС.

В свою очередь, атаки по месту возникновения можно разделить на:

1) локальные (источником данного вида атак являются пользователи и (или) программы локальной системы);

2) удаленные (источником атаки выступают удаленные пользователи, сервисы или приложения).

При классификации атак по воздействию на информационную систему атаки можно разделить на:

1) активные (результатом воздействия которых является нарушение деятельности информационной системы);

2) пассивные (ориентированные на получение информации из системы без нарушения функционирования информационной системы).

Целостность данных

Рассмотрим одну из угроз ИС – нарушение целостности данных. Данная угроза может появляться и при пассивной, и при активной атаке, а также ее можно спровоцировать и удаленно, и локально.

Растущие объемы информации, циркулирующей в системах обработки, хранения и передачи информации, характерны для современных интеллектуальных систем. Вместе с объемами передаваемых и хранящихся данных возрастают и требования к обеспечению их целостности. На сегодняшний день двумя основными механизмами обеспечения целостности являются методы криптографии и помехоустойчивого кодирования, и от их эффективного комплексного использования во многом зависят скорость работы и безопасность интеллектуальных систем.

Проблемы обеспечения целостности связаны с тем, что современные интеллектуальные системы стремятся к охвату всех возможных средств обеспечения целостности и не уделяют должного внимания вопросам их комплексного использования. В настоящее время существуют проблемы, возникающие в результате неэффективного или неправильного использования средств обеспечения целостности, например, увеличение сложности вычислений при обработке больших массивов данных, появление новых киберугроз в комплексной системе, снижение криптостойкости алгоритмов шифрования, снижение вероятности обнаружения ошибок.

Угрозу для современных интеллектуальных систем несут также сложные модели ошибок, возникающие в устройствах или внедряемые злоумышленником. Большинство криптографических алгоритмов и помехоустойчивых кодов тестируются на устойчивость к аддитивным

ошибкам, но в случае мультипликативных и комбинированных ошибок система может вести себя непредсказуемо, что может привести к сбоям и неисправностям работы. Ошибки умножения и комбинированные ошибки, ошибки в программировании микропроцессоров, «разгона» процессора, аппаратных закладок и другие киберугрозы могут быть результатом действий злоумышленников.

Способ защиты от мультипликативных и аддитивных ошибок был предложен П. Крамером в работе [5]. Среди наиболее ярких применений этих кодовых конструкций можно выделить работу М. Карповского [6], в которой была предложена кодовая конструкция AMD (Algebraic Manipulation Detection codes) для защиты двухуровневой и трехуровневой флэш-памяти NAND для SSD-диска. Флэш-память NAND, используемая в SSD-накопителях, из-за высокой плотности записи данных характеризуется ошибками различной кратности, оказывающими непосредственное влияние на надежность и производительность. AMD- и LDPC- (Low-Density Parity-Check) коды являются довольно перспективными разработками для будущих семейств твердотельных накопителей.

Коды с малой плотностью проверок на четность (LDPC) были предложены Р. Галлагером в 1962 г. и представляют собой тип линейного блочного кода с разреженной проверочной матрицей. Галлагер доказал, что это хороший код с асимптотическим поведением, а его производительность приближается к пределу Шеннона. Однако из-за ограничений вычислительных возможностей в то время код LDPC считался непрактичным и очень долгое время игнорировался, а именно до 1996 г., когда Маккей и Нил доказали, что код LDPC является ценным кодом, а алгоритм вероятностного итеративного декодирования Галлагера был расширен. В то же время обсуждался алгоритм распространения доверия, используемый для декодирования кода LDPC, что значительно способствовало развитию кодов LDPC. Существенный вклад был внесен Люби и другими исследователями в 1997 г., которые представили нерегулярные коды LDPC. Код LDPC называется регулярным, если количество ненулевых элементов в каждом столбце и (или) в каждой строке проверочной матрицы является постоянным. Но если количество ненулевых символов в каждой строке или столбце непостоянно, код будет являться нерегулярным кодом LDPC.

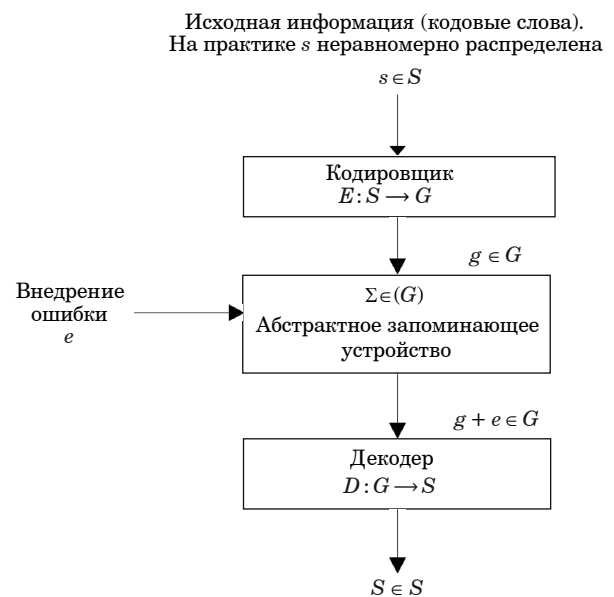
Общая модель алгебраических манипуляций (включая слабые и сильные атаки) над абстрактным запоминающим устройством была впервые представлена Р. Крамером [5] (рисунок). Любые

защищенное устройство в этой модели задается как абстрактное запоминающее устройство ΣG , которое может содержать элемент g из конечной абелевой группы G . Как при сильных, так и при слабых атаках злоумышленник не знает элемента g и может изменить сохраненный элемент g , только добавив ошибку e . Успешная инъекция ошибок называется алгебраической манипуляцией.

В слабой модели противник может выбрать значение e только на основе априорного знания g . Злоумышленник не может изменить ввод s и не может повлиять на вероятность возникновения определенных комбинаций ввода. Таким образом, при моделировании слабой модели алгебраической манипуляции входные значения принято считать равновероятными или равномерно распределенными.

В случае сильной атаки противник может влиять на выходы, выбирая входы. В этом случае противник знает значение s , он может выбрать кодовые слова, которые будут появляться на входе абстрактного запоминающего устройства чаще других. Успех алгебраических манипуляций в сильной модели будет зависеть от параметров определенных кодовых конструкций, а именно – от характерных классов ошибок и комбинаций кодовых слов, дающих необнаруживаемые ошибки.

Еще одним актуальным направлением в изучении AMD-кодов является защита имплантируемых медицинских устройств (ИМУ) от алгебраических манипуляций [7], при которых произвольные ошибки могут нанести прямой вред здоровью человека. Развитие теории кодов, обнаруживающих алгебраические манипуляции,



- Модель алгебраической манипуляции
- Algebraic manipulation model

имеет первостепенное значение для надежности методов и алгоритмов, используемых в надежных нечетких экстракторах, надежных схемах разделения секретов [5, 8], шифровании с открытым ключом, а также для защиты от атак по сторонним каналам [9].

Однако остается не решенным ряд вопросов в области применения кодов AMD. В частности, не существует универсальной методики выбора длины избыточной части AMD-кода для сильных и слабых моделей алгебраических манипуляций. В настоящее время очень мало работ, показывающих взаимозависимость между характером ошибок и вероятностью маскирования ошибок в современных кодовых структурах (полярные коды, LDPC, турбокоды и т. д.). Кроме того, малоизученной областью является устойчивость кодовых конструкций с разреженной структурой (напри-

мер, LDPC-кодов) к сильной модели алгебраических манипуляций с неустойчивым распределением ошибок, заданным злоумышленником.

Заключение

В статье был рассмотрен один из классов атак на интеллектуальные системы. Количество потенциальных угроз и уязвимостей данных систем в настоящее время огромно, и с каждым днем оно только увеличивается. Без детального рассмотрения вопросов безопасности ИС их внедрение создает большие риски. В дальнейшем планируется разработка алгоритмов, проводящих анализ ряда компонентов ИС к конкретным атакам в автоматическом режиме с последующим формированием комплекса защитных мер.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Искусственный интеллект: справочник: в 3 кн. Кн. 1: Системы общения и экспертные системы / под ред. Э. В. Попова. М.: Радио и связь, 1990. 461 с.
2. Искусственный интеллект: справочник: в 3 кн. Кн. 2: Модели и методы / под ред. Д. А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
3. Искусственный интеллект: справочник: в 3 кн. Кн. 3: Программные и аппаратные средства / под ред. В. Н. Захарова и В. Ф. Хорошевского. М.: Радио и связь, 1990. 320 с.
4. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. URL: <http://www.scrf.gov.ru/security/information/document5/> (дата обращения: 19.01.2023).
5. *Cramer R., Dodis Y., Fehr S.* Detection of algebraic manipulation with application to robust secret sharing and fuzzy extractors // *Proceeding of the theory and applications of cryptographic techniques 27th annual International conference on advances in cryptology.* 2008. P. 471–488.
6. *Luo P., Wang Z., Karpovsky M. G.* Secure nand flash architecture resilient to strong fault-injection attacks using algebraic manipulation detection code // *Proceedings of the International conference on security and management (SAM) / The steering committee of the World congress in computer science, computer engineering and applied computing (WorldComp).* 2013. P. 1.
7. *Bu L., Karpovsky M. G., Kinsky M. A.* Bulwark: Securing implantable medical devices communication channels // *Computers and Security.* 2019. Vol. 86. P. 498–511.
8. *Wee H.* Public key encryption against related key attacks // *Public key cryptography – PKC 2012: Lecture notes in computer science / eds by M. Fischlin, J. Buchmann, M. Manulis.* Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. P. 262–279.
9. *Levina A., Taranov S.* Creation of codes based on wavelet transformation and its application in ADV612 chips // *International journal of wavelets, multiresolution and information processing.* 2017. Vol. 15, № 2. P. 1750014.

REFERENCES

1. Artificial intelligence: handbook: in 3 books. Book 1: Communication systems and expert systems; eds by E. V. Popov. Moscow: Radio and Communications; 1990. 461 p. (In Russ.).
2. Artificial intelligence: handbook: in 3 books. Book 2: Models and methods; eds by D. A. Pospelov. Moscow: Radio and Communications; 1990. 304 p. (In Russ.).
3. Artificial intelligence: handbook: in 3 books. Book 3: Software and hardware; eds by V. N. Zakharov and V. F. Khoroшевsky. Moscow: Radio and communications; 1990. 320 s. (In Russ.).
4. Doktrina informacionnoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii. Available from: <http://www.scrf.gov.ru/security/information/document5/> [Accessed 19 January 2023].

5. Cramer R., Dodis Y., Fehr S. Detection of algebraic manipulation with application to robust secret sharing and fuzzy extractors. Proceeding of the theory and applications of cryptographic techniques 27th annual International conference on advances in cryptology. 2008, pp. 471–488.
6. Luo P., Wang Z., Karpovsky M. G. Secure nand flash architecture resilient to strong fault-injection attacks using algebraic manipulation detection code. Proceedings of the International conference on security and management (SAM); The steering committee of the World congress in computer science, computer engineering and applied computing (WorldComp). 2013, pp. 1.
7. Bu L., Karpovsky M. G., Kinsy M. A. Bulwark: Securing implantable medical devices communication channels. Computers and Security. 2019;86:498–511.
8. Wee H. Public key encryption against related key attacks. Public key cryptography – PKC 2012: Lecture notes in computer science; eds by M. Fischlin, J. Buchmann, M. Manulis. Berlin, Heidelberg: Springer; 2012, pp. 262–279.
9. Levina A., Taranov S. Creation of codes based on wavelet transformation and its application in ADV612 chips. International journal of wavelets, multiresolution and information processing. 2017;15(2):1750014.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Куприянов Михаил Степанович, доктор технических наук, профессор, руководитель научного и образовательного направлений, заведующий кафедрой вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина).

Область научных интересов – интеллектуальные системы, искусственный интеллект.

Левина Алла Борисовна, кандидат физико-математических наук, доцент, руководитель лаборатории этики и безопасности искусственного интеллекта Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина).

Область научных интересов – безопасность, криптография, теория кодирования.

Поступила в редакцию 22.02.2023

Поступила после рецензирования 24.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Kupriyanov Mikhail S., D. Sc. in Technical Sciences, Full Professor, Head at Scientific and Educational Areas, Head at the Department of Computer Engineering, St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”.

Research interests – intelligent systems, artificial intelligence.

Levina Alla B., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head at the Laboratory Ethics and Safety of AI, St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”.

Research interests – security, cryptography, coding theory.

Received 22.02.2023

Revised 24.02.2023

Accepted 30.03.2023

Анализ состояния рынка искусственного интеллекта в России

Диана Димовна Буйчик¹

✉ buychikdd@mail.ru

Оксана Ярославовна Солёная¹

osolenaya@list.ru, orcid.org/0000-0003-4901-3884

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Проведен анализ состояния российского рынка искусственного интеллекта. Рассмотрены структура, объем и доли рынка, процессы инвестирования и финансирования в технологии искусственного интеллекта в Российской Федерации. Выполнен обзор основных конкурентов и потребителей на рынке.

Ключевые слова: искусственный интеллект, анализ рынка, технологии, российский рынок, тенденции развития

Для цитирования: Буйчик Д. Д., Солёная О. Я. Анализ состояния рынка искусственного интеллекта в России // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 41–47. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-41-47.

Original article

The analysis of the state of the artificial Intelligence market in Russia

Diana D. Buichik¹

✉ buychikdd@mail.ru

Oksana Ya. Solenaya¹

osolenaya@list.ru

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. In the given article the analysis of a condition of the Russian market of an artificial intellect has been carried out. The structure, volume and shares of the market, processes of investment and financing in the Russian Federation have been considered. A review of the main competitors and consumers in the market is performed.

Keywords: artificial intelligence, market analysis, technology, Russian market, development trends

For citation: Buichik D. D., Solenaya O. Ya. The analysis of the state of the artificial Intelligence market in Russia. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):41–47. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-41-47.

Введение

В настоящее время происходит глобальное преобразование существующих высокотехнологичных отраслей в цифровые. Ключевыми условиями этого перехода являются развитие передовых производственных технологий и их широкое применение. В связи с этим существует необходимость в систематическом изучении условий развития и распространения инновационных технологий, отечественных и зарубежных научно-технических разработок. Исследование рынка, а также выявление ведущих организаций, определяющих развитие отрасли в целом, позволяют определять ключевые потребности, выявлять наиболее успешные стратегии и оценивать перспективы дальнейшего развития и продвижения.

В соответствии с ГОСТ Р 59277-2020, искусственный интеллект (ИИ) представляет собой

набор технологических разработок, имитирующих умственные функции человека и обеспечивающих достижение результатов, сравнимых, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека [1]. Системы ИИ включают в себя программные средства, коммуникационную и информационную инфраструктуру, а также сервисы и службы анализа данных.

Внедрение искусственного интеллекта в высокотехнологичную промышленность способствует совершенствованию автоматизации производственных процессов, снижает операционные расходы, позволяет предсказывать тренды рынка, что в целом дает возможность вывести контроль качества продукции на новый уровень.

Будущую трансформацию и рост экономики и промышленности эксперты связывают с развитием ИИ [2]. Компьютерные алгоритмы искусственного интеллекта вскоре станут новым эта-

пом в развитии рынков высокотехнологических отраслей. Некоторые компании уже внедряют и применяют решения на основе ИИ в своем производственном процессе. Так, на автомобильном концерне *ZF Friedrichshafen AG* искусственный интеллект используется для проведения предупредительного технического обслуживания [3]. Чтобы исключить повреждение деталей до того, как их поломка повредила бы продукцию или замедлила производство, данные об износе деталей собирались с автоматизированных станков и обрабатывались с помощью ИИ, что позволило своевременно заменять более 98 % поврежденных деталей.

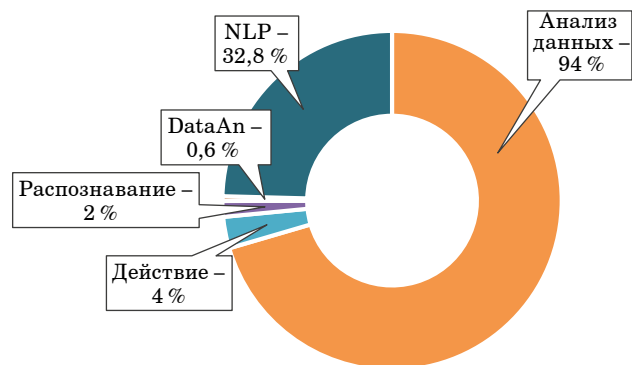
На предприятии *3B Fibreglass* искусственный интеллект, наблюдая за процессом производства стекловолокна, прогнозирует возможные дефекты и предотвращает их при помощи машинного обучения, что позволяет оптимизировать выработку, использование энергии и пропускную способность производства [4].

Анализ структуры, объема и доли рынка искусственного интеллекта в России

Основным сегментом рынка ИИ в России, по состоянию на 2021 г., являлся «Анализ данных», достигший 61,2 % от общего объема [5]. Сегмент «NLP» (Natural Language Processing – обработка текстов на естественном языке) занимал 32,8 %. Структура рынка ИИ показана на рис. 1.

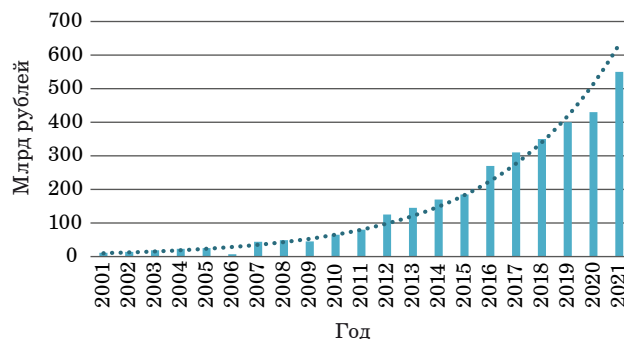
Общий объем рынка ИИ России был оценен в 550 млрд рублей, при этом относительно 2020 г. рост рынка составил 28 % (рис. 2).

В 2021 г., по сравнению с 2020 г., активность инвесторов значительно увеличилась – были проинвестированы 77 сделок на 226 млн долларов против 37 сделок в 2020 г. на 84 млн долларов;

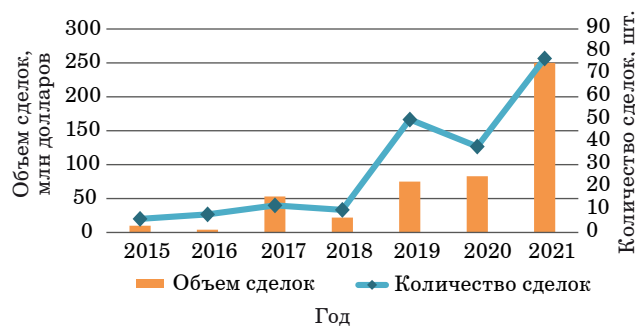


• Рис. 1. Структура рынка искусственного интеллекта в России по состоянию на 2021 г.
 • Fig. 1. Structure of the artificial intelligence market in Russia as of 2021

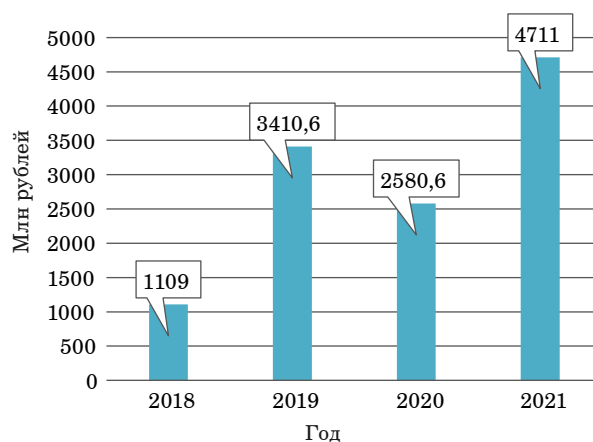
таким образом, рост инвестиций составил около 170 %. Средний рост рынка за период с 2015 по 2021 г. составил 62 % (рис. 3).



• Рис. 2. Размер российского рынка ИИ с 2001 по 2021 г., млрд рублей
 • Fig. 2. Size of the Russian AI market from 2001 to 2021, billion rubles



• Рис. 3. Объем инвестиций в стартапы с технологией ИИ и число инвестиционных сделок с российскими стартапами в период с 2015 по 2021 г.
 • Fig. 3. Volume of investments in startups with AI technology and number of investment deals with Russian startups from 2015 to 2021



• Рис. 4. Финансирование развития в ИИ в Российской Федерации в 2018–2021 гг., млн рублей
 • Fig. 4. Financing of development in the Russian Federation in 2018–2021, million rubles

Финансирование отрасли ИИ в России с 2021 г. осуществляется в рамках Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», одним из проектов которой является Федеральный проект «Искусственный интеллект» [6]. В 2018–2020 гг. финансирование ИИ осуществлялось через институты развития в виде отдельных программ [7], однако сейчас часть проектов и компаний по-прежнему финансируется через институты развития, а часть – через федеральные органы исполнительной власти России. Объемы финансирования в развитие ИИ показаны на рис. 4.

Анализ лидеров рынка искусственного интеллекта

На 2021 г. в отрасли ИИ было зафиксировано не менее 400 действующих компаний и предприятий. Ключевыми игроками рынка являются корпорация «Яндекс» (объем выручки – 209 млрд рублей, рост корпорации – 57 % к 2020 г.) и компания «VK» (объем выручки – 57 млрд рублей, рост компании – 22 % к 2020 г.). В рынок российского ИИ входят нескольких огромных корпораций, за-

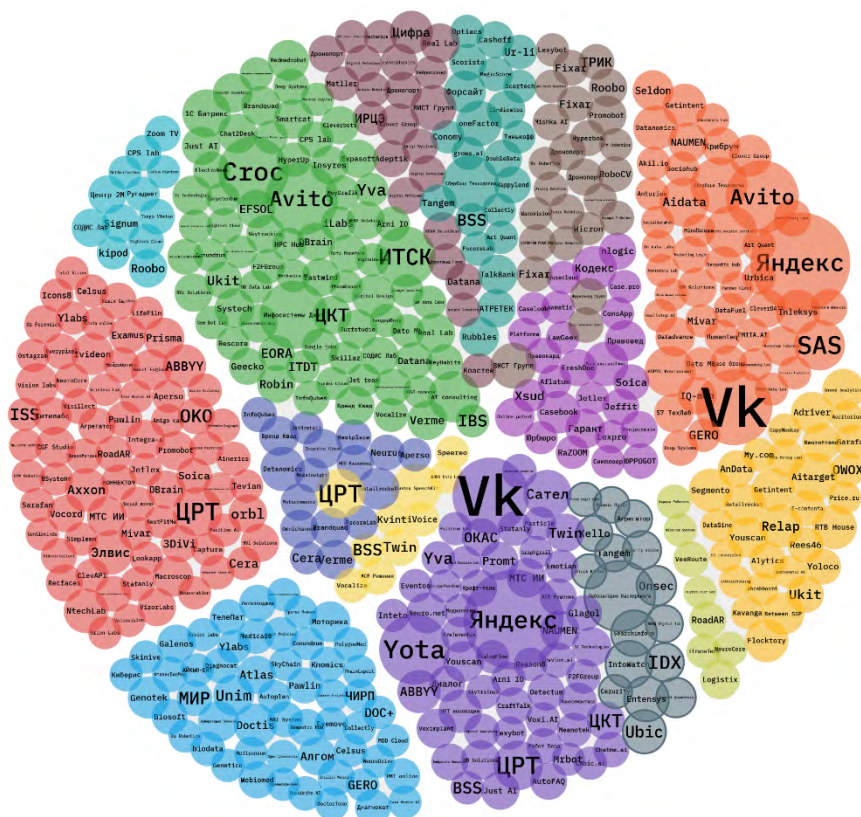
нимающих 98,5 % рынка, и большое число микро-предприятий, занимающих всего 1,5 % («Яндекс» и «VK» занимают 48 % рынка). Карта искусственного интеллекта России показана на рис. 5.

Исследование потребителей

По результатам исследования компании *International Data Corporation* (IDC) [8], посвященного оценке востребованности ИИ-решений в российских компаниях, технологиями ИИ пользовались около 30 % опрошенных компаний – лидеров в сфере информационных технологий.

Оставшаяся часть (70 % компаний) планировала внедрение программного обеспечения на основе ИИ и когнитивных технологий, включающих в себя компьютерное обучение, робототехнику и распознавание речи. Большая часть респондентов отмечали в качестве основных целей применения искусственного интеллекта повышение результативности рабочих, сокращение расходов и увеличение эффективности производства (рис. 6).

Среди технологий ИИ, которые опрошенные компании использовали или же планировали ис-



FinTech: 23
Robotics: 26
Логистика: 8
Реклама: 31
Data analysis: 49
Business Intelligence & Analytics: 77
Cyber Security: 17
Healthcare: 54
Retail: 17
Natural language processing: 56
Legaltech: 27
Computer Vision: 76
IoT / IIoT: 12
Speech recognition: 10
Промышленность: 23
Итого: 506

- Рис. 5. Компании, работающие в области ИИ в России в 2021 г. [9]
- Fig. 5. Companies working in the field of AI in Russia in 2021 [9]



• Рис. 6. Основные цели внедрения ИИ-решений среди опрошенных компаний
 • Fig. 6. Main objectives for implementing AI solutions among the surveyed companies



• Рис. 7. Технологии и разработки искусственного интеллекта, которые опрошенные компании уже используют и планируют внедрять
 • Fig. 7. Technologies and developments in artificial intelligence, which the surveyed companies already use and plan to implement

пользовать в дальнейшем, были отмечены аналитика больших данных, робототехника и распознавание речи (рис. 7).

Около половины респондентов отметили, что главными проблемами, препятствующими внедрению технологий ИИ, являются слишком высокая стоимость решений и отсутствие навыков для управления и интеграции систем искусственного интеллекта (рис. 8).

Проблема нехватки для управления или внедрения систем искусственного интеллекта решается за счет использования подходящих технологий и инструментов, предлагающих готовые модели, алгоритмы и методики реализации. Примером такой классификации может служить Реестр программного обеспечения Российской Федерации, в который на сегодняшний день уже включено около 16 тысяч единиц программного обеспечения [10].



• Рис. 8. Основные препятствия опрошенных компаний на пути внедрения систем искусственного интеллекта
 • Fig. 8. The main obstacles of the surveyed companies on the way of implementation of artificial intelligence systems



• Рис. 9. Ключевые показатели рынка искусственного интеллекта
 • Fig. 9. Key indicators of the artificial intelligence market

Соответственно, компании видят преимущества искусственного интеллекта и планируют дальнейшее применение этой технологии. Ключевые показатели проведенного анализа приведены на рис. 9.

Результаты исследования показали востребованность внедрения и развития в российских компаниях технологий ИИ и программного обеспечения с его использованием. Аналитики и эксперты прогнозируют развитие глобального рынка технологий искусственного интеллекта, однако использование устаревших технологий и методов, отсутствие компетентных кадров и малые инвестиции в последнее время оказывают негативное влияние на весь рынок в целом. В связи с этим, необходимо постоянно отслеживать состо-

яние отрасли и вовремя принимать соответствующие решения для развития бизнеса.

Заключение

Важно учитывать этические и социальные аспекты использования ИИ, чтобы не нарушать права и свободы людей. Кроме того, необходимо обеспечить безопасность и защиту данных, которые используются при работе с ИИ. В целом внедрение ИИ в бизнес-процессы может значительно повысить эффективность и конкурентоспособность компаний, но это требует серьезных усилий и вложений в развитие технологий и подготовку кадров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. М.: Стандартинформ, 2021. 16 с.
2. Экспертно-аналитический доклад «Прогноз развития рынков, включенных в направление “Технет” НТИ» / Инфраструктурный центр «Технет». М., 2022. 93 с. URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2022/12/31/2022_1220_Prognoz_razvitiya_rynkov_PPT_zashchishchennyj.pdf (дата обращения: 03.01.2023).
3. AI: Minds in machines: сайт. URL: https://www.zf.com/mobile/en/stories_7217 (дата обращения: 03.01.2023).
4. How AI for quality control enhances yield in manufacturing. URL: <https://postindustria.com/how-ai-for-quality-control-enhances-yield-in-ml-manufacturing/> (дата обращения: 03.01.2023).
5. Искусственный интеллект: альманах / Центр компетенций НТИ «Искусственный интеллект» на базе МФТИ; под ред. И. О. Пивоварова. 2022. 71 с.
6. Федеральный проект «Искусственный интеллект». URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/fed_proekt_iskusstvennyu_intellekt/ (дата обращения: 05.01.2023).
7. Институты развития с участием Российской Федерации. URL: https://minfin.gov.ru/ru/performance/international/development_institutions_participation_rf/# (дата обращения: 05.01.2023).
8. Рынок искусственного интеллекта в России / International Data Corporation (IDC). 2019. 38 с.
9. Карта искусственного интеллекта России. URL: <http://airussia.online> (дата обращения: 05.01.2023).
10. Единый реестр российского программного обеспечения для электронных вычислительных машин и баз данных. URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/> (дата обращения: 05.01.2023).

REFERENCES

1. GOST P 59277-2020. Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems. Moscow: Standardinform; 2021. 16 p. (In Russ.).
2. Expert and analytical report “Forecast of development of the markets included in the direction of “Technet” NTI / Technet Infrastructural Center. Moscow; 2022. 93 p. (In Russ.). Available from: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2022/12/31/2022_1220_Prognoz_razvitiya_rynkov_PPT_zashchishchennyj.pdf [Accessed 03 January 2023].
3. AI: Minds in machines: website. Available from: https://www.zf.com/mobile/en/stories_7217 [Accessed 03 January 2023].
4. How AI for quality control enhances yield in manufacturing. Available from: <https://postindustria.com/how-ai-for-quality-control-enhances-yield-in-ml-manufacturing/> [Accessed 03 January 2023].
5. Artificial intelligence almanac / Artificial intelligence STI competence center at MIPT; eds by I. O. Pivovarov. 2022. 71 p. (In Russ.).
6. Federal project «Artificial intelligence». Available from: https://www.economy.gov.ru/material/directions/fed_proekt_iskusstvennyu_intellekt/ [Accessed 05 January 2023].
7. Institutes of development with participation of the Russian Federation. Available from: https://minfin.gov.ru/ru/performance/international/development_institutions_participation_rf/# [Accessed 05 January 2023].

8. Artificial intelligence market in Russia / International Data Corporation (IDC). 2019. 38 p.
9. Map of artificial intelligence in Russia. Available from: <http://airussia.online> [Accessed 05 January 2023].
10. Unified registry of Russian software for electronic computers and databases: website. Available from: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/> [Accessed 05 January 2023].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Буйчик Диана Димовна, магистрант, инженер Инженерной школы Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – энергетика, силовая электроника, цифровая трансформация.

Солёная Оксана Ярославовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – энергосбережение и повышение энергетической эффективности, развитие методов оценки безопасности технологических объектов.

Поступила в редакцию 08.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Buichik Diana D., Master Student, Engineer at the Engineering School, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – power engineering, power electronics, digital transformation.

Solenaya Oksana Ya., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – energy saving and increasing of energy efficiency, development of methods for assessing the safety of technological objects.

Received 08.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Научная статья

УДК 004.896:621.313-77

DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-48-53

Концепция робототехнической системы для диагностики электрических машин при ремонте и техническом обслуживании

Сергей Юрьевич Лач¹

✉ serzh.lach@mail.ru

Сергей Валентинович Солёный¹

ssv@guap.ru, orcid.org/ 0000-0002-7919-3890

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены и проанализированы робототехнические системы, использующиеся для диагностики узлов электрических машин. Выявлена проблема использования робототехнических систем для повышения качества и ускорения процессов диагностики электрических машин в условиях производства, а также во время ремонтов на площадках заказчика. Рассмотрена методология применения датчика вибрации в робототехнической системе для определения плотности заклиновки пазов статора генератора.

Ключевые слова: электрические машины, генератор, ремонт, робототехническая система, испытания, автоматизация

Для цитирования: Лач С. Ю., Солёный С. В. Концепция робототехнической системы для диагностики электрических машин при ремонте и техническом обслуживании // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 48–53. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-48-53.

Original article

The concept of a robotic system for diagnosing electrical machines during repair and maintenance

Sergey Yu. Lach¹

✉ serzh.lach@mail.ru

Sergey V. Solyonyj¹

ssv@guap.ru, orcid.org/ 0000-0002-7919-3890

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The robotic systems used for diagnosing the units of electrical machines are considered and analyzed. The problem of using robotic systems to improve the quality and speed up the diagnostics of electrical machines in production conditions, as well as during repairs at customer sites, is presented. The methodology for using a vibration sensor in a robotic system to determine the wedging density of the generator stator slots is considered.

Keywords: electrical machines, generator, repair, robotic system, testing, automation

For citation: Lach S. Yu., Solyonyj S. V. The concept of a robotic system for diagnosing electrical machines during repair and maintenance. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):48–53. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-48-53.

Введение

Электрические приборы являются неотъемлемой частью современной жизни. С каждым годом растет количество потребляемой сетью электроэнергии, а значит, и необходимость в увеличении генерирующих мощностей. Соответственно, растет спрос на электрические двигатели и генераторы. Для ускорения процесса их производства и обслуживания появляется необходимость автоматизации сборочных (испытательных) линий. В данной статье проведен анализ существующих робототехнических систем и рассматривается

концепция создания роботизированной платформы, которая могла бы производить испытания электрических машин и анализировать полученные данные, выдавая отчет о дефектах и возможностях их устранения.

Рассматривая генераторы, устанавливаемые на электрических станциях, необходимо отметить, что для традиционного метода их осмотра и испытания необходим демонтаж ротора. При демонтаже ротора генератора возможны риски повреждения как самого ротора (например, бандажных колец или вентилятора), так и активной стали сердечника статора. Также процесс демонтажа

для осмотра состояния ротора занимает продолжительное время. Необходимо учитывать и то, что демонтаж предполагает последующую установку ротора в исходное положение.

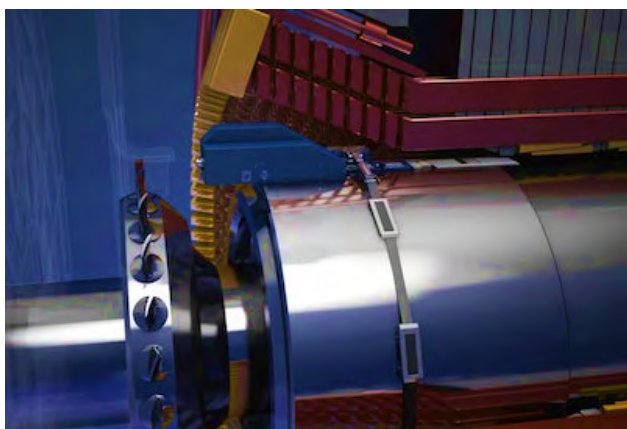
Материал и методы исследования

Для проведения диагностики ротора и пакетов активной стали статора генераторов компаниями *General Electric* и *Alstom* была разработана роботизированная система DIRIS (рис. 1).

Данная система представляет собой унифицированную платформу с различными модулями, набор которых может изменяться в зависимости от желания заказчика провести те или иные виды испытаний. Оборудование закрепляется на бандажном кольце ротора, что позволяет проводить измерения на 360°, не требуя постоянной перестановки для обследования каждого сектора. Диагностика проводится в воздушном зазоре между активным железом статора и ротором. Так как DIRIS представляет собой модульную систему, она может выполнять различные виды испытаний [1, 2].

При помощи модуля с видеозондом можно осуществить:

- проверку воздушного зазора на наличие посторонних предметов;
- обследование поверхности активной части железа статора на наличие царапин и отслаивающейся краски;
- осмотр поверхности активной части ротора на наличие посторонних предметов, отслаивающейся краски и царапин;
- визуальную проверку состояния клиньев ротора путем выявления загрязнений и движения клиньев в результате ослабления;



• Рис. 1. Роботизированная система DIRIS, закрепленная на бандажном кольце ротора
 • Fig. 1. DIRIS robotic system mounted on the rotor shroud

– обследование вентиляционных каналов на наличие посторонних предметов.

Возможна установка модуля испытаний активного железа сердечника для выявления вихревых токов, возникающих при повреждении листов электротехнической стали и изоляции между ними.

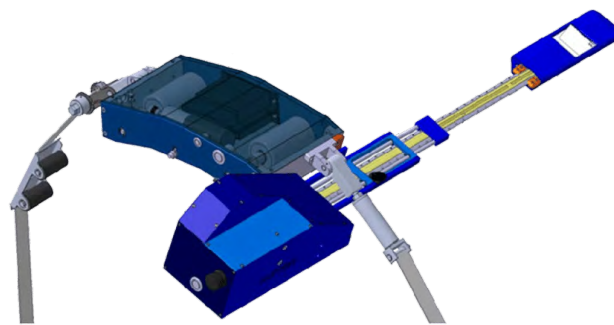
Также с помощью одного из модулей возможна проверка фиксации балансировочных болтов ротора на их ослабление для предотвращения повреждений магнитного сердечника и обмотки статора.

Конструктивно роботизированная система представляет собой ремень-крепление на бандажном кольце ротора, по которому в радиальном направлении передвигается сам комплекс. Робототехническая система состоит из двигательных частей, управляемых с помощью компьютера для передвижения в радиальном и осевом направлении. В осевом направлении на телескопической штанге крепится диагностический модуль, который, передвигаясь с помощью штанги по воздушному зазору, проводит необходимые испытания. Для управления данной системой используются два оператора: один контролирует передвижение робота при помощи специального программного обеспечения, а второй проверяет положение системы для контроля отсутствия препятствий на пути движения робота (рис. 2) [3].

Достоинства данного комплекса:

- 1) модульная система, позволяющая выполнять как отдельные, так и комплексные обследования;
- 2) возможность обследования ротора и статора генераторов во время простоя без демонтажа ротора;
- 3) отсутствие необходимости снятия щитов корпуса с обеих сторон генератора для проведения испытаний.

К недостаткам можно отнести необходимость тщательной проверки телескопической штанги



• Рис. 2. Схема составных частей робототехнической системы DIRIS
 • Fig. 2. Scheme of the components of the DIRIS robotic system

на наличие повреждений перед установкой робототехнической системы в генератор, а также наличие большого количества мелких частей, при ослаблении которых существует возможность попадания их в статор или ротор генератора.

Компанией *Toshiba* был разработан другой тип робототехнической системы. В связи с тем, что на крупных генераторах используются перегородки, которые разделяют зоны на горячие и холодные, движение робототехнических средств по воздушному зазору может быть затруднено. Инженерами *Toshiba* был предложен робот,двигающийся по поверхности ротора, при этом специальными рычагами упирающийся в поверхность статора (рис. 3) [4].

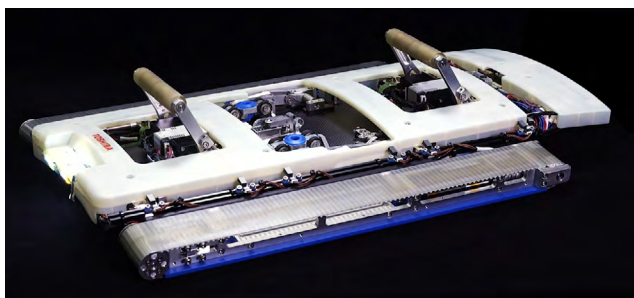
При обнаружении на пути следования робота перегородки первый из трех валиков опускается, движение системы при этом продолжается. После прохождения рычагом зоны перегородки он возвращается в исходное положение, обеспечивая фиксацию робототехнической системы. Данный тип робота предназначен для генераторов мощностью 200 МВт и выше.

Робототехнический комплекс может выполнять следующие типы испытаний:

- ультразвуковой контроль;
- акустическая диагностика плотности установки клиньев статора;
- визуальный контроль;
- электромагнитный поиск дефектов.

Ультразвуковой контроль предполагает поиск трещин на зубьях ротора и клиньях ротора, выполняется с помощью многоканального ультразвукового датчика. Перемещение данного датчика осуществляется в любую сторону для обеспечения наибольшей зоны охвата.

Для проверки плотности установки клиньев обмотки статора используется метод простукивания молотком. Робототехническая система содержит разработанный компанией *Toshiba ESS* ударный механизм, который в состоянии обеспечить достаточное усилие простукивания, а также высокоточный алгоритм акустической диагностики для снятия и обработки показаний.



• Рис. 3. Робот *Toshiba* для инспекции генераторов
• Fig. 3. *Toshiba Generator inspection robot*

Визуальный контроль предполагает осмотр поверхностей ротора и статора, а также их вентиляционных отверстий. Также с помощью камер выполняется позиционирование робота в воздушном зазоре генератора.

Электромагнитный поиск дефектов выполняется методом EL-CID, который подразумевает использование малого магнитного потока для определения повреждений изоляции между листами стали [5].

Достоинствами данного метода являются:

- 1) большая мобильность робототехнической системы;
- 2) возможность проведения диагностики генераторов, содержащих разделители зон охлаждения;
- 3) повышенная автономность за счет наличия алгоритмов анализа изображения, поступающего с камер.

В качестве недостатков можно отметить наличие большого количества мелких элементов, большую толщину робота (35 мм) и отсутствие возможности аварийного извлечения из воздушного зазора генератора.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим возможность внедрения робототехнической системы в процесс диагностики качества установки пазовых клиньев электрических машин отечественного производства, используемых на электрических станциях для выработки электроэнергии.

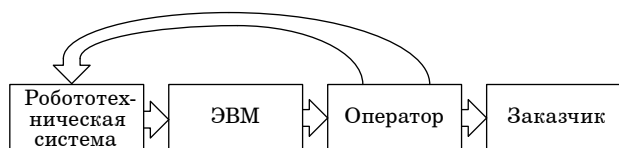
Так как процесс проведения данного испытания предполагает проверку на вибрацию каждого клина, установленного в пазы генератора, – это может занимать довольно продолжительное время. При традиционном способе дефектации молотком простукивается каждый клин, затем результат заносится в таблицу, после составления которой проводится анализ результатов [6]. Критерии могут различаться, в зависимости от производителя, но в большинстве случаев – это отсутствие отдельно стоящих или нескольких в ряду вибрирующих клиньев. Также на поверхности клиньев не должно быть забоев, которые могли образоваться при выполнении перекалиновки [7]. На каждом клине необходимо сделать несколько замеров, поэтому сроки испытаний зависят, в том числе, и от физического состояния специалистов, проводящих обследование. Также от этого зависит и качество выполненных работ по диагностике.

В связи с этими условностями при выполнении данных работ человеком, предлагается рассмо-

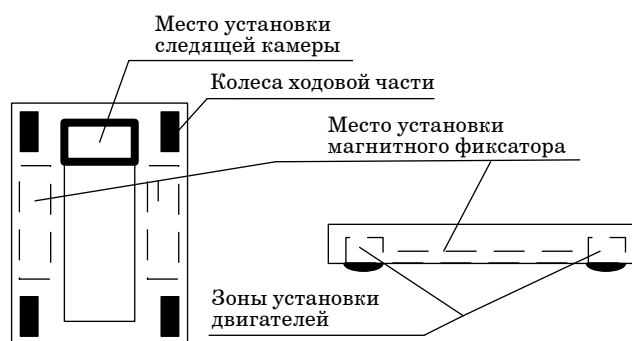
трение концепции робототехнической системы, которая, располагаясь в расточке статора электрической машины, могла бы проводить снятие необходимых данных, а далее, с помощью специализированного программного обеспечения, анализировать полученные результаты. Оператор выполняет управление движением ходовой базы, на которой закреплен модуль, отвечающий за снятие характеристики, которая передается на электронно-вычислительную машину (ЭВМ). ЭВМ производит сверку полученных значений с допустимыми и выдает результат непосредственно оператору. После завершения испытания отчет составляется автоматически или вручную оператором и передается последующим структурам для устранения дефектов при их выявлении (рис. 4).

Исходя из критериев, указанных выше, ходовая база должна обладать возможностью линейного передвижения, а также установки на нее полезной нагрузки в виде системы снятия показаний вибрации. Для исключения снятия ложных показаний при наличии какого-либо мусора или дефекта на клине необходима установка камеры, отслеживающей рабочую поверхность. В программном обеспечении также предполагается использование нейронных сетей, для выявления несоответствий на поверхности клина. Так как робототехническая система будет осуществлять движение по активной стали статора электрической машины, необходимо исключить возможность нанесения повреждений колесами и осуществить надежную фиксацию по курсу движения. Это возможно осуществить одним из следующих методов: использованием магнитов, для удержания ходовой базы «в колее», или же установкой дополнительных распорно-фиксирующих колес, не дающих корпусу сместиться. Данные способы могут и дополнять друг друга. На рис. 5 показана условная схема ходовой базы для переноса полезной нагрузки роботизированной системы.

Для охвата наибольшего количества испытаний, проводимых при производстве и диагностике электрических машин, предлагается использовать модульную конструкцию базы робототех-



• Рис. 4. Схема взаимодействия «оператор – робототехническая система»
 • Fig. 4. Interaction scheme «operator – robotic system»

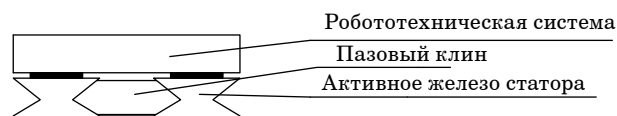


• Рис. 5. Условная схема ходовой базы
 • Fig. 5. Conditional scheme of the running gear

нической системы. В случае, рассматриваемом нами, необходима установка модуля, имеющего систему для снятия показаний вибрации клина. Такая система должна состоять из двух элементов – части, вызывающей вибрацию, и «ответной» части в виде датчика. Для примера рассмотрим систему, использующую молоток и датчик. Для снятия показаний могут использоваться различные типы датчиков, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки [8]. Выбор оптимального типа датчика будет произведен в последующих работах. Для удобства предположим, что в системе используется бесконтактный датчик, так как для использования контактного датчика необходимо непосредственное соприкосновение с поверхностью, а это влечет за собой усложнение конструкции модуля.

Для определения плотности установки клина молоток, находящийся в модуле, совершает удар по клину, бесконтактный датчик получает сигнал о том, что клин совершил некоторое перемещение, и передает его на ЭВМ, где происходит дальнейший анализ полученного сигнала.

Соответственно, работа такой системы будет заключаться в передвижении ходовой базы с помощью оператора или алгоритмов посредством определения текущего местоположения с помощью камеры. Сначала система устанавливается колесами на активное железо статора, так, чтобы модуль с датчиком находился над клиньями пазовой части (рис. 6). Далее над интересующим нас участком обследуемой поверхности производятся



• Рис. 6. Расположение робототехнической системы над пазом электрической машины
 • Fig. 6. The location of the robotic system above the groove of the electric machine

остановка и замер значения вибрации клина. При этом возможно автоматизировать определенные позиции для нанесения удара посредством анализа изображения, получаемого с камеры на ходовой части. Действие повторяется для каждого клина в пазе, далее ходовая часть переставляется на следующий паз.

Для обеспечения надежности передачи данных на ЭВМ и во избежание потери сигнала, а значит, и потери управления робототехническим комплексом передача сигнала должна осуществляться по кабелю, подключенному к торцевой зоне ходовой части и имеющему защиту от механических повреждений и перегибов.

После получения данных с датчика вибрации посредством специального программного обеспечения должна производиться сверка полученных и нормированных данных, а сверенный результат заносится и отображается в таблице с указанием клина и номера паза. Таким образом, по итогам обследования возможно быстрое и корректное визуальное нахождение дефектных клиньев, с дальнейшим принятием решений об устранении дефекта.

Заключение

Проанализированы системы робототехнического контроля электрических машин *General Electric* и *Alstom*, а также робот *Toshiba* и выявлены как положительные, так и отрицательные их характеристики.

На основе существующих систем предложен вариант модульного робототехнического комплекса для обследования генераторов отечественного производства. Имея модульную систему, данный комплекс может выполнять широкий спектр работ по диагностике электрических машин.

Использование робототехнических комплексов для диагностики электрических машин уменьшает время простоя блоков электростанций, соответственно, возможно повышение выработки электроэнергии. Также обследование с помощью роботов помогает уменьшить разброс получаемых данных на электрических машинах одного типа вследствие исключения человеческого фактора. При росте качества получаемых результатов испытаний возможна более точная оценка сроков следующих плановых ремонтов и остановок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Posedel Z.* Inspection of stator core for large machines with a low yoke induction method-measurement and analysis of interlamination short-circuits // *IEEE Transactions on energy conversion.* 2001. № 16. P. 81–86.
2. Aaron hand power plants deploy robots to inspect generators. URL: <https://www.automationworld.com/factory/oe/news/13315139/power-plants-deploy-robots-to-inspect-generators> (дата обращения: 10.01.2023).
3. *Savenkov M., Turner M.* New robotic technologies for inspecting two pole electric generators while the rotor remains in place // *Journal of power and energy engineering.* 2015. № 3. P. 123–127.
4. *Toshiba energy systems & solutions* (July 9 2018). URL: <https://www.global.toshiba/ww/news/energy/2018/07/news-20180709-01.html> (дата обращения: 10.01.2023).
5. *Toshiba energy systems & solutions* (October 12, 2022). URL: <https://www.global.toshiba/ww/news/energy/2022/10/news-20221012-01.html> (дата обращения: 10.01.2023).
6. *Самородов Ю. Н.* Дефекты генераторов. М.: Энергет. технологии, 2005. 350 с.
7. *Справочник по ремонту турбогенераторов / под ред. Х. А. Бекова, В. В. Барило.* М.: ИПКгосслужбы; ВИПКэнерго, 2006. 724 с.
8. Датчики вибрации. Виды, принцип действия, классификация. URL: <https://intellect.icu/datchiki-vibratsii-vidy-printsip-dejstviya-klassifikatsiya-9052> (дата обращения: 10.01.2023).

REFERENCES

1. *Posedel Z.* Inspection of stator core for large machines with a low yoke induction method-measurement and analysis of interlamination short-circuits. *IEEE Transactions on energy conversion.* 2001, no. 16, pp. 81–86.
2. Aaron hand power plants deploy robots to inspect generators. Available from: <https://www.automationworld.com/factory/oe/news/13315139/power-plants-deploy-robots-to-inspect-generators> [Accessed 10 January 2023].
3. *Savenkov M., Turner M.* New robotic technologies for inspecting two pole electric generators while the rotor remains in place. *Journal of power and energy engineering.* 2015;(3):123–127.
4. *Toshiba energy systems & solutions* (July 9 2018). Available from: <https://www.global.toshiba/ww/news/energy/2018/07/news-20180709-01.html> [Accessed 10 January 2023].

5. Toshiba energy systems & solutions (October 12, 2022). Available from: <https://www.global.toshiba/ww/news/energy/2022/10/news-20221012-01.html> [Accessed 10 January 2023].
6. Samorodov Yu. N. Defects of generators. Moscow: Energy technologies; 2005. 350 p. (In Russ.).
7. Handbook for the repair of turbogenerators; eds by H. A. Bekova, V. V. Barilo. Moscow: IPKgossluzhby, VIPKenergo; 2006. 724 p. (In Russ.).
8. Vibration sensors. Types, principle of action, classification. Available from: <https://intellect.icu/datchiki-vibratsii-vidy-printsip-dejstviya-klassifikatsiya-9052> [Accessed 10 January 2023].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лач Сергей Юрьевич, аспирант кафедры электро-механики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – электроэнергетика и электротехника, робототехника, методы автоматизации в электроэнергетике.

Солёный Сергей Валентинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электро-механики и робототехники, директор Инженерной школы Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – автоматизация, робототехника, электроэнергетика.

Поступила в редакцию 08.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Lach Sergey Y., Postgraduate Student at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – electric power industry and electrical engineering, robotics, automation methods in the electric power industry.

Solyonyj Sergey V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head at the Department of Electromechanics and Robotics, Director at the School of Engineering, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – automation, robotics, power industry.

Received 08.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Исследование способов применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательной и промышленной областях

Данил Павлович Бобрышов¹

✉ danil.bobryshov@mail.ru

Виталий Владимирович Романенко¹

sbvitaly@yandex.ru

Юрий Павлович Кузьменко¹

spider56boy@gmail.com

Владимир Павлович Кузьменко¹

mr.konnny@gmail.com. Author ID: 1111872

Сергей Валентинович Солёный¹

ssv555sv@yandex.ru. Author ID: 910148

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Виртуальной реальностью называют интерактивный мир, созданный с использованием современных компьютерных программ, который воспринимается человеком через основные органы чувств. Задача технологии заключается в погружении человека в созданную среду с использованием датчиков сенсорики. Дополненная реальность, в отличие от виртуальной, дополняет реальный мир цифровыми объектами в виде аудио, графики, текста в режиме реального времени с возможностью взаимодействия. Данная технология используется для обеспечения нового уровня взаимодействия пользователей с окружающим миром. Изучено применение технологий виртуальной реальности и дополненной реальности в образовательной сфере. Проведено исследование компаний, предоставляющих готовые решения, а также запросы на создание приложений виртуальной реальности для промышленных и образовательных учреждений.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, иммерсионные технологии, образование, промышленность

Для цитирования: Бобрышов Д. П., Романенко В. В., Кузьменко Ю. П., Кузьменко В. П., Солёный С. В. Исследование способов применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательной и промышленной областях // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 54–61. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-54-61.

Original article

Research of ways of using virtual and augmented reality technology in educational and industrial fields

Danil P. Bobryshov¹

✉ danil.bobryshov@mail.ru

Vitaly V. Romanenko¹

sbvitaly@yandex.ru

Yuri P. Kuzmenko¹

spider56boy@gmail.com

Vladimir P. Kuzmenko¹

mr.konnny@gmail.com. Author ID: 1111872

Sergey V. Solyonyj¹

ssv555sv@yandex.ru. Author ID: 910148

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. Virtual reality is an interactive world created with the use of modern computer programs, which is perceived by a person through the basic senses. The task of technology is to immerse people in the created environment, using sensors sensorica. Augmented reality, unlike virtual reality, augments the real world with digital objects in the form of audio, graphics and text in real time with the possibility of interaction. This technology is used to provide a new level of interaction between users and the world around them.

This article aims to study the application of virtual reality and augmented reality technologies in the educational sphere. The research of the companies providing ready-made solutions, as well as requests of industrial and educational institutions in this technology was made.

Keywords: virtual reality, augmented reality, immersion technologies, education, industry

For citation: Bobryshov D. P., Romanenko V. V., Kuzmenko Yu. P., Kuzmenko V. P., Solyonyj S. V. Research of ways of using virtual and augmented reality technology in educational and industrial fields. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):54–61. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-54-61.

Введение

За всю историю развития технологии виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) получили наиболее серьезное развитие в области развлечений и маркетинга. Инструменты по созданию виртуальных и дополненных реальностей стали источниками новых возможностей не только создания новых технологических отраслей, но и адаптации, с технической точки зрения, классических. На сегодняшний день технологии VR и AR используются во многих научных, технических, образовательных и развлекательных сферах: проектирование в дополненной реальности, подготовка и квалификация специалистов разных областей в виртуальной реальности, создание рабочих площадок для инженеров, дизайнеров, архитекторов, учителей и преподавателей. Виртуальная и дополненная реальности активно используются в медицине – разработанные обучающие программы и тренажеры, медицинские устройства и инструменты позволяют проводить обучение и безопасные тренировки путем моделирования реальных медицинских операций. Все это доступно благодаря развитию и постоянной доработке подобных технологий [1].

Термин «дополненная реальность» был впервые предложен Томом Коделлом в 1992 г. для описания цифровых дисплеев, которые использовались в конструкции самолетов. Монтажники носили портативные компьютеры и могли видеть чертежи и инструкции с помощью шлемов с полупрозрачными дисплеями. В 1992 г. Льюис Розенберг разработал одну из первых функционирующих систем дополненной реальности для Военно-воздушных сил Соединенных Штатов Америки. Экзоскелет Розенберга позволял военным виртуально управлять машинами из удаленного центра управления [2].

Применение VR- и AR-технологий

В компьютерных играх по-прежнему доминируют технологии виртуальной реальности. По мере того, как шлем виртуальной реальности становится все более и более современным, эти игры продолжают развиваться и дают пользователю сложный опыт погружения [2]. Однако,

когда речь заходит об увеличении промышленного производства, AR и VR ничем не заменить. Вместо виртуальной реальности, которая погружает пользователя в полностью виртуальный мир, именно AR находят наибольшее применение в промышленности [3]. Ниже приведены несколько примеров того, как технологии AR/VR активно используются в различных отраслях промышленности.

Розничная торговля: одна из самых популярных технологий AR используется в секторе розничной торговли. Фирменные мебельные магазины позволяют виртуально выбрать понравившуюся мебель или предметы интерьера и визуализировать, как они будут выглядеть в доме. Возможно перемещать объекты в разные места и мгновенно приобретать их, если они нравятся пользователю. Некоторые дома моды позволяют виртуально примерить платье, не заходя в примерочную, – это технология, применяемая в розничной торговле.

Автомобилестроение: существует множество вариантов использования AR/VR в автомобильной промышленности. Технологии AR/VR используются для демонстрации клиенту характеристик автомобиля, его внешнего вида, конкретной детали автомобиля; при потребности клиента инструкции и руководства AR могут заменить печатные; AR помогает инженерам-автомобилестроителям эффективнее и быстрее осваивать процесс производства и технического обслуживания автомобилей. Команда дизайнеров и прототипирования использует AR для ускорения процесса разработки. Это лишь несколько примеров того, как технологии AR/VR помогают совершенствовать автомобильную промышленность [3].

Производство технологий виртуальной и дополненной реальности: объединяя мощные устройства AR с передовыми технологиями распознавания изображений, устройствами Интернета вещей (IoT), большими данными и искусственным интеллектом (AI), производители технологий виртуальной и дополненной реальности могут сократить время разработки и вывода технологий VR и AR на рынок. В современном конкурентном мире технологии AR/MR дают импульс производственному сектору и повышают рентабельность его инвестиций. Моделирование AR/MR на основе сценариев позволяет командам

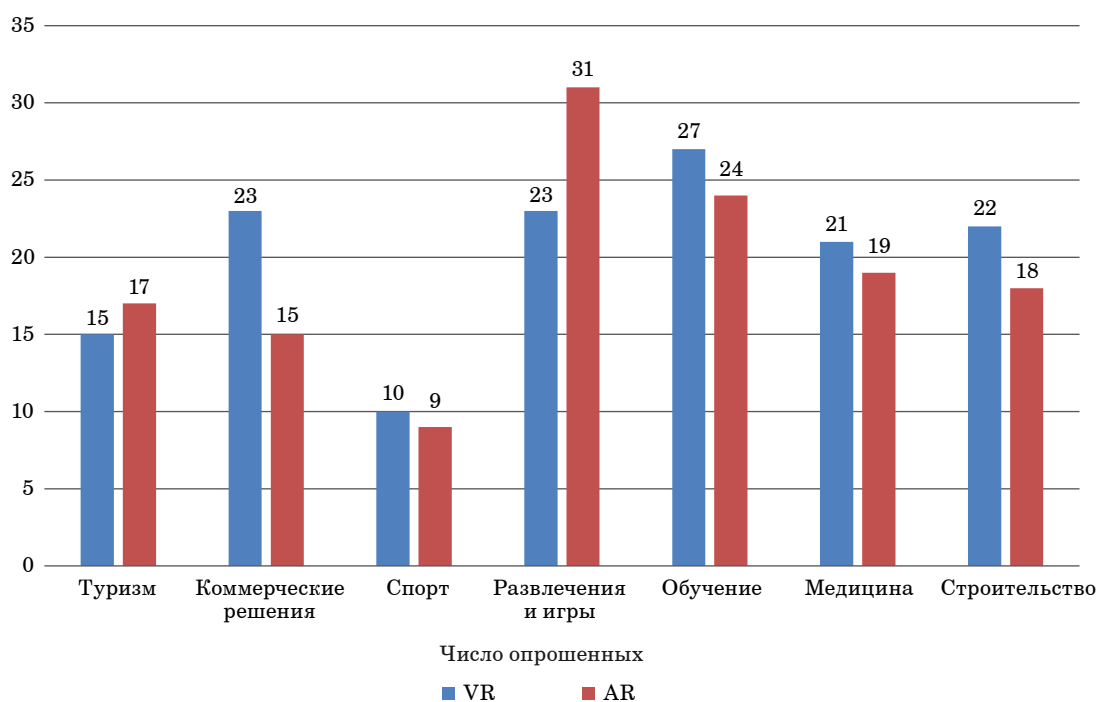
разработчиков технологий виртуальной и дополненной реальности совершенствовать свои навыки и учиться на своих ошибках.

Аэрокосмическая промышленность и оборона: преимущество устройств AR заключается в сочетании надежности компьютеров с человеческим фактором. Авиасимуляторы, используемые для обучения пилотов как коммерческих, так и оборонных самолетов, используют иммерсионные технологии AR/VR для обучения своих пилотов на начальном этапе. Кроме того, AR значительно повышает способность создавать новое оборудование и ускоряет процесс прототипирования и разработки. Обработка трапа – это набор услуг, предоставляемых специализированным персоналом, пока самолет еще находится на земле. Используя AR-очки, работники по обработке рампы могут сканировать специальные QR-коды, размещенные на грузовых контейнерах, что значительно ускоряет процесс погрузки [3].

Туризм: прошли те времена, когда можно было посмотреть видео, чтобы узнать больше о том или ином месте. В наши дни технологии виртуальной реальности заменяют обычные видеоролики для привлечения посетителей. В таких местах, как Антарктида, наблюдается наибольшее число посещений виртуальной реальности из-за морозной погоды и бесплодных ледяных земель. Популярные туристические места, такие как Эйфелева башня

и Пизанская башня, часто используются в технологиях VR. Виртуальная реальность обеспечивает не только визуальный стимул, но и слуховой, например, морской ветер и океанский бриз с душевными криками чаек. Индустрия гостеприимства использует технологию виртуальной реальности для обеспечения виртуальных посещений своих вилл и номеров.

Образование: как упоминалось ранее, AR помогает в обучении отдельных лиц, технология виртуальной реальности может быть использована для увязки различных учебных симуляций. Виртуальная реальность может помочь в обучении людей, которые берутся за сложные работы, такие как тушение пожаров, работа на нефтяных вышках и т. д. Виртуальная реальность помогла многим врачам разобраться в сложном устройстве человеческого тела, и это доказывает, что здравоохранение – это еще одна отрасль, для которой применение виртуальной реальности имеет важное значение [3]. Согласно статистическим опросам таких технологических компаний, как «Газпром нефть» и «Россети», потребность в наглядном обучении и аттестации сотрудников всегда стоит остро по причине невозможности передать полноценный процесс технологической работы. С данной задачей в состоянии справиться технология виртуальной реальности. Похожая ситуация наблюдается и в высших учебных заведениях.



• *Рис. 1. Перспективные области применения технологий виртуальной и дополненной реальности согласно ответам респондентов*

• *Fig. 1. Promising areas for the application of virtual and augmented reality technologies according to the respondents' answers*

Виртуальные медиа могут произвести революцию в предоставлении образовательных материалов. В настоящее время медиа добилась значительного прогресса во всем мире. Дополненная и виртуальная реальности применяются различными способами, чтобы сделать обучение более эффективным [3]. На рис. 1 показаны результаты статистического опроса людей о развитии технологий виртуальной и дополненной реальности в разных областях.

Иммерсионные классы на базе виртуальной реальности

Это программное обеспечение, предоставляющее виртуальные пространства, которые могут быть созданы с нуля и настроены в соответствии с потребностями пользователя, который затем может пригласить других пользователей присоединиться к классу. Участники класса могут обмениваться файлами, совместно использовать экраны своих компьютеров, делать заметки и разговаривать друг с другом [4]. Виртуальная реальность помогает преодолеть разрыв между преподавателями и учащимися и делает их сотрудничество более реальным, что особенно выгодно для дистанционных учащихся. Онлайн-репетиторы также могут извлечь большую пользу из интеграции обучения виртуальной реальности. Применение виртуальной реальности в онлайн-обучении делает его более интересным благодаря возможности создавать доски, рисовать, делать заметки и извлекать любой файл прямо в виртуальном пространстве.

Существует большое разнообразие сторонних VR-решений, предназначенных для помощи пользователям в обучении. Такие тренажеры содержат массу образовательного контента AR/VR, который могут использовать учителя. Они также предоставляют виртуальное пространство, которое учителя могут заполнить соответствующим контентом. Пользователи могут учиться в иммерсионной среде, которая полностью контролируется преподавателем [4]. Преимущество полного погружения в виртуальную реальность также заключается в уменьшении отвлекающих факторов во время дистанционного обучения, что поощряет студентов не отвлекаться на уроках.

AR/VR в высших учебных заведениях

Технологии AR/VR одинаково ценны в более продвинутых учебных средах. Преподаватели колледжей и университетов по разным дисципли-

нам внедряют иммерсионные технологии в свои курсы. Согласно данным проведенного в сети Интернет в 2018 г. опроса в высших учебных заведениях, более двух третей учреждений частично или полностью развернули решения AR/VR, а одна треть тестировали их. Некоторые академические учреждения даже ввели специальные пространства, которые позволяют студентам и преподавателям получать доступ к устройствам AR/VR и разрабатывать собственный контент. Эти специализированные лаборатории, а также оборудование, которым студенты либо владеют, либо заимствуют, создают новые возможности для студентов и преподавателей экспериментировать с погружением в обучение [5].

Одним из хорошо зарекомендовавших себя примеров применения AR/VR в высшем образовании является иммерсионное моделирование. Виртуальные симуляции предлагают относительно недорогие альтернативы традиционным очным сценариям, сохраняя при этом уровень погружения, который заставляет участников чувствовать, что они «действительно там». Это особенно полезно для сценариев с высокой стоимостью или высоким риском, например, для медицинского образования [5]. Действительно, стоимость необходимого программного обеспечения для виртуального моделирования может составлять всего одну десятую стоимости физических альтернатив в медицинском образовании [6]. Помимо применения в медицинском образовании, виртуальные симуляции могут также способствовать обучению «мягким» навыкам, таким как ведение переговоров и коммуникация. В технических направлениях к такой технологии можно отнести CAD-программы с возможностью моделирования тепловых, механических, индукционных процессов и т. д. К таким программам относятся Creo parametric, SolidWorks, Ansys и др. Иммерсионные технологии могут улучшить не только среду обучения, но и более широкие системы образования. Точно так же, как иммерсионные решения могут улучшить результаты обучения, они могут служить ценными инструментами для лучшей подготовки учителей. Виртуальное обучение позволяет преподавателям оттачивать свои навыки с моделируемыми виртуальными учениками, прежде чем делать это в реальном классе, где их действия могут существенно повлиять на учащихся во время урока. Поскольку технология продолжает развиваться, администраторы и должностные лица также могут извлечь выгоду из использования иммерсионных решений для совместной работы, коммуникации и вовлечения сообщества в технологию виртуальной реальности [6].

Платформы, на которых можно реализовать VR- и AR-проекты

Институт технического образования в 2017 г. запустил несколько проектов по использованию многоуровневой системы обучения 3D и VR – iCube. Эта компьютерная программа погружает учащихся в виртуальную реальность, где они окружены изображениями и звуками. iCube – это система, при которой в обучении могут участвовать от трех до шести человек. С помощью датчиков отслеживания движения пользователь погружается в виртуальную среду. Кроме того, образовательные пространства позволяют студентам наблюдать друг за другом и непосредственно участвовать в образовательном процессе. Во время обучения студенты решают смоделированные задачи, которые могут возникнуть в действительности, без трагических последствий, нарушения здоровья и безопасности [7].

Unity является мультифункциональной средой разработки 3D- и 2D-приложений. Программа позволяет реализовывать кроссплатформенные приложения, работающие на различных операционных системах (Windows, OS X), разного рода вычислительных устройствах – портативных компьютерах, мобильных телефонах, игровых установках и т. д. Главными преимуществами Unity, по сравнению с другими платформами, являются визуальная рабочая среда, система присоединяемых компонентов в случае необходимости конкретного рабочего модуля и вышеупомянутая функция разработки приложений для разных платформ. Среда разработки Unity использовалась и продолжает использоваться в создании компьютерных игр, симуляторов разного характера. Данной платформой пользуются многие известные студии разработчиков, начиная от крупных и известных и заканчивая мелкими, никому не известными инди-студиями.

ARCore – большой набор программных инструментов, подходящий для реализации приложений дополненной реальности. Для объединения реального мира с виртуальными объектами данная платформа использует камеру мобильного телефона. В своей работе ARCore использует три основные технологии. Первой из них является отслеживание движения. Данная функция позволяет смартфонам «понимать» физическое расположение в реальном мире. Второй функцией является «понимание окружающей среды», с помощью которой мобильное устройство способно оценить размеры и расположение поверхностей. Третья функция – оценка освещения. Данную технологию смартфоны используют, чтобы оценить условия освещения среды, окружающей пользователя [7].

Комплекс присоединяемых инструментов ARKit является устройством взаимодействия с дополненной реальностью. Подобная аппаратура позволяет разработчикам реализовывать приложения дополненной реальности, которыми смогут пользоваться несколько пользователей одновременно. Используя функции оценки освещения и габаритов помещения, приложение способно качественно адаптировать виртуальные объекты в реальный мир [7]. Немаловажным фактором является совместимость ARKit с iOS-устройствами, что делает данную площадку довольно популярной в мире. Реализованные приложения используются в разных областях, таких как учеба, интерактивные игры, коммуникация, изучение окружающего мира.

SDK – площадка разработки, позволяющая создавать приложения дополненной реальности для мобильных устройств на операционных системах Android и iOS. Разработанные приложения дают возможность распознавать объекты реального мира, используя камеру устройства для дальнейшего изучения. Приложение позволяет распознать абсолютно разные модели, такие как текст, маркеры, объекты, поверхности и др.

Запросы профильных организаций

Изучив прогресс развития VR-технологий, основатель компании *Oculus VR* предупредил, что инструменты виртуальной реальности станут доступными и мобильными не раньше, чем через десятилетие. Адаптация подобных технологий к повседневной деятельности людей позволит заменить смартфоны на уровне вычислительного инструмента. В середине 2019 г. компании *TAdviser* и *КРОК* провели совместное исследование, по результатам которого представили прогноз развития индустрии виртуальной реальности. Исходя из него, к 2022 г., по не самому удовлетворительному сценарию и среднегодовому темпу роста технологии в 55 %, российский рынок промышленных решений виртуальной и дополненной реальности может достичь 9,2 млрд рублей. При благоприятных условиях, объем рынка составит около 18,7 млрд рублей [9]. На рис. 2 изображена доля продаж в разных областях за 2021 г.

Более позднее исследование ассоциации *AVRA* информирует о том, что за ноябрь 2019 г. 34 % российских компаний располагали реализованными VR-кейсами, 18 % предприятий – AR-кейсами. Организация *KPMG* в том же году провела оценку интеграции технологий виртуальной и дополненной реальности в металлур-

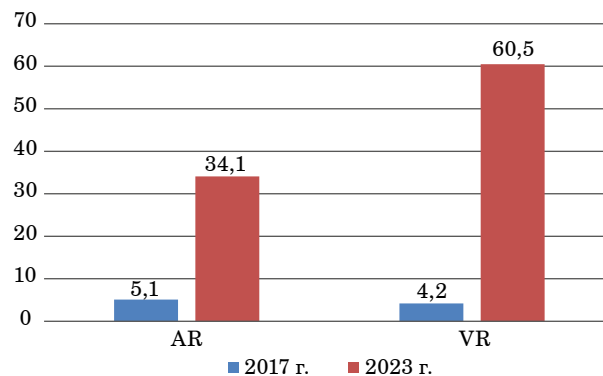


• Рис. 2. Доля продаж программного обеспечения виртуальной и дополненной реальности к 2025 г., млн долларов
 • Fig. 2. The share sales of the virtual and augmented reality software by 2025, million dollars

гической отрасли – 33 %, в нефтегазовой области – 25 %. Эксперты из *ICT.Moscow* прокомментировали положение VR/AR-индустрий как только зарождающихся промышленных направлений. Число компаний, использующих данные технологии, пока невелико, так как для работы в этом сегменте нужна глубокая экспертиза – знание сборочных операций, регламентов по обслуживанию оборудования, учет требований к пожарной безопасности. Совокупный объем рынков дополненной реальности и виртуальной реальности в 2020 г. составил 12 млрд долларов при значительном ежегодном росте на 54 %, что ведет к прогнозируемой оценке в 72,8 млрд долларов к 2024 г. (*IDC, 2020 г.*) [9]. Положение индустрии с точки зрения расходов: потребительские расходы составляют (53 %), после них следуют дистрибуция и услуги (15,8 %), производство и ресурсы (13,8 %), государственный сектор (12,7 %) и инфраструктура (3,2 %) (*IDC, 2020 г.*). В 2020 г. по объему расходов на технологии VR/AR лидирует Китай (5,8 млрд долларов), за ним следуют США (5,1 млрд долларов), Западная Европа (3,3 млрд долларов) и Япония (1,8 млрд долларов). Остальные страны потратили на данный вид технологии в сумме около 2,8 млрд долларов (*IDC, 2019 г.*). В 2020 г. на долю Китая приходилось 38,3 % мировой доли AR/VR. В 2021 г. она увеличилась до 56 % (*China Internet Watch, 2021 г.*) [9]. На рис. 3 изображен приблизительный прогноз рынка VR/AR-технологий на 2023 г., сделанный в 2018 г.

Заключение

Подводя итоги исследования использования VR- и AR-технологий, стоит отметить непосред-



• Рис. 3. Прогноз рынка технологий для виртуальной и дополненной реальности, млн долларов
 • Fig. 3. Forecast of the market of technologies for the virtual and augmented reality, million dollars

ственное достоинство данных информационных систем – возможность моделирования сложных процессов. Передача изображения высокого качества через виртуальную и дополненную реальность обеспечивает высокую степень погружения. Именно данная особенность делает технологию виртуальной реальности удобной при подготовке кадрового персонала.

В промышленности, согласно запросам профильных компаний, иммерсионные технологии помогут в преодолении и ознакомлении со сложными, опасными и наиболее важными процессами, которые физически невозможно смоделировать на практике. Во многих случаях виртуальная реальность поможет в преодолении субъективных, психологических барьеров обучаемого, аттестуемого.

В образовательной сфере иммерсионные технологии помогают в моделировании сложных технологических процессов для наиболее детального и обширного изучения теоретического материала. Сегодня многие технологии дополненной реальности используются на производствах, что подтверждает острую необходимость изучения, освоения и получения навыков работы с данными системами. Согласно исследованиям компании *VR LAB*, более 90 % учащихся успешно освоили материал с использованием технологий виртуальной реальности, что вселяет надежду на эффективное использование этого направления в образовании.

Одной из немногих проблем является полная интеграция этих технологий в образовательные и промышленные учреждения. Объем знаний об окружающем нас мире стремительно растет с каждым днем, что затрудняет своевременный перевод данных в интерактивный формат.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванова А. В. Технологии VR и AR: возможности и препятствия для применения. URL: https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/787?locale=en_US (дата обращения: 16.12.2022).
2. Дополненная реальность, виртуальная реальность и смешанная реальность. URL: <https://www.designtechsys.com/articles/ar-vr-mr-services> (дата обращения: 18.12.2022).
3. Рынок промышленных VR/AR-решений в России. Исследование TAdviser. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_промышленных_VR/AR-решений_в_России_\(исследование_TAdviser\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_промышленных_VR/AR-решений_в_России_(исследование_TAdviser)) (дата обращения: 19.12.2022)
4. Virtual reality and augmented reality for education / A. K. Jumani, W. A. Siddique, A. A. Laghari, A. Had. URL: https://www.researchgate.net/publication/358358757_Virtual_Reality_and_Augmented_Reality_for_Education (дата обращения: 25.12.2022).
5. Виртуальная реальность в образовании. URL: <https://hsbi.hse.ru/articles/virtualnaya-realnost-v-obrazovanii/> (дата обращения: 18.12.2022).
6. Применение VR- и AR-технологий в образовательном процессе. URL: https://www.researchgate.net/publication/346821330_Application_of_VR_and_AR_Technologies_in_Educational_Process (дата обращения: 19.12.2022).
7. Vlasov S., Borgest N. VR-приложений для удаленной работы, обучения, тренингов и многого другого. URL: <https://vrdigest.ru/articles/26-vr-prilozheniy-dlya-udalennoy-rabot-obutcheniya-treningov-i-mnogogo-drugogo/> (дата обращения: 19.12.2022).
8. Промышленный VR/AR: кейсы и особенности рынка. URL: <https://ict.moscow/news/vr-v-promyshlennosti/> (дата обращения: 20.12.2022).
9. Review on virtual reality and augmented reality in architecture, engineering and construction Industry / K. Purushottam, K. Chandramouli, J. Sree, N. Chaitanya. URL: https://www.researchgate.net/publication/354238765_A_Review_on_Virtual_Reality_and_Augmented_Reality_in_Architecture_Engineering_and_Construction_Industry (дата обращения: 25.12.2022).

REFERENCES

1. Ivanova A. V. VR & AR technologies: opportunities and application obstacles. Available from: https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/787?locale=en_US [Accessed 16 December 2022].
2. Article augmented reality, virtual reality and mixed reality. Available from: <https://www.designtechsys.com/articles/ar-vr-mr-services> [Accessed 18 December 2022].
3. Article the market of industrial VR/AR solutions in Russia. Available from: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_промышленных_VR/AR-решений_в_России_\(исследование_TAdviser\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_промышленных_VR/AR-решений_в_России_(исследование_TAdviser)) [Accessed 19 December 2022].
4. Jumani A. K., Siddique W. A., Laghari A. A., Ahad A. Virtual reality and augmented reality for education. Available from: https://www.researchgate.net/publication/358358757_Virtual_Reality_and_Augmented_Reality_for_Education [Accessed 25 December 2022].
5. Article virtual reality in education. Available from: <https://hsbi.hse.ru/articles/virtualnaya-realnost-v-obrazovanii/> [Accessed 18 December 2022].
6. Application of VR and AR technologies in educational process. Available from: https://www.researchgate.net/publication/346821330_Application_of_VR_and_AR_Technologies_in_Educational_Process [Accessed 19 December 2022].
7. Vlasov S., Borgest N. Article VR applications for remote work, training, trainings and much more. Available from: <https://vrdigest.ru/articles/26-vr-prilozheniy-dlya-udalennoy-rabot-obutcheniya-treningov-i-mnogogo-drugogo/> [Accessed 27 December 2022].
8. Article industrial VR/AR: cases and market features. Available from: <https://ict.moscow/news/vr-v-promyshlennosti/> [Accessed 20 December 2022].
9. Purushottam K., Chandramouli K., Sree J., Chaitanya N. A. Review on virtual reality and augmented reality in architecture, engineering and construction Industry. Available from: https://www.researchgate.net/publication/354238765_A_Review_on_Virtual_Reality_and_Augmented_Reality_in_Architecture_Engineering_and_Construction_Industry [Accessed 29 December 2022].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бобрышов Данил Павлович, студент кафедры информационных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, информационные системы, прикладная информатика, виртуальная реальность, дополненная реальность, искусственный интеллект, кибербезопасность, программная инженерия.

Романенко Виталий Владимирович, студент кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – технология беспроводной передачи электроэнергии, электроэнергетика, электромеханика, цифровые системы релейной защиты, электроснабжение.

Кузьменко Юрий Павлович, студент кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – светотехника, электроснабжение, электромеханика, электроэнергетика, энергетические системы, системы компенсации емкостных токов.

Кузьменко Владимир Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – электроэнергетика, электромеханика, цифровая энергетика, светотехника, оптические системы, электроснабжение энергетических систем, оценка качества электрической энергии.

Солёный Сергей Валентинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники, директор Инженерной школы Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – электроэнергетика, электромеханика, автоматизация, цифровые технологии, робототехника, электроснабжение энергетических систем, информационная безопасность, технологическое предпринимательство, искусственный интеллект.

Поступила в редакцию 09.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Bobryshov Danil P., Student at the Department of Information Systems and Technologies, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – information technologies, information systems, applied computer science, virtual reality, augmented reality, artificial intelligence, cybersecurity, software engineering.

Romanenko Vitaly V., Student at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – technology of wireless transmission of electricity, electric power engineering, electromechanics, digital relay protection systems, power supply.

Kuzmenko Yuri P., Student at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – lighting engineering, power supply, electromechanics, electric power industry, energy systems, capacitive current compensation systems.

Kuzmenko Vladimir P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Electromechanics and Robotics, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – electric power engineering, electromechanics, digital power engineering, lighting engineering, optical systems, power supply of energy systems, assessment of the quality of electric energy.

Solyonyj Sergey V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head at the Department of Electromechanics and Robotics, Director at the School of Engineering, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – electric power engineering, electromechanics, automation, digital technologies, robotics, power supply of power systems, information security, technological entrepreneurship, artificial intelligence.

Received 09.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Формальная идентификация периодических явлений в числовых рядах

Павел Владимирович Плехов¹

✉ onim@rambler.ru

Алина Равильевна Кудрева¹

cherezen@gmail.com

Алексей Андреевич Гусев¹

alekseygusev2019@gmail.com

¹ Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Березники, Российская Федерация

Аннотация. Рассматриваются проблема идентификации периодических явлений во временных рядах; понятие временного ряда, основные описывающие его математические модели, различные методы и гипотезы, применяемые в теории временных рядов. Также исследуются методы, применяемые в различных областях знаний, направленные на поиск и выявление периодической компоненты. Так как данные методы обладают определенными недостатками, для решения указанной проблемы предлагается применение модификации метода эмпирической модовой декомпозиции. Производится реализация данного алгоритма в виде программы и производится проверка ее работоспособности. Помимо этого, сравнивается эффективность работы предложенного модифицированного алгоритма с классическим вариантом.

Ключевые слова: временной ряд, периодические колебания, сезонность, цикличность, эмпирическая модовая декомпозиция, кубический сплайн, сплайн Акимы

Для цитирования: Плехов П. В., Кудрева А. Р., Гусев А. А. Формальная идентификация периодических явлений в числовых рядах // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 62–66. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-62-66.

Original article

Formal identification of periodic oscillations in numeral series

Pavel V. Plekhov¹

✉ onim@rambler.ru

Alina R. Kudreva¹

cherezen@gmail.com

Aleksey A. Gusev¹

alekseygusev2019@gmail.com

¹ Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University, Berezniki, Russian Federation

Abstract. We use the problem of identifying patterns of growth in time series. The main mathematical models that describe it, various methods and conclusions used in the theory of time series are considered. The methods used in various manifestations aimed at searching and identifying the periodic component are also considered. Since the data detects occurrences, a modification of the empirical mode decomposition method is used to solve this problem. The implementation of this algorithm in the form of a program was made and its performance was checked. In addition, the efficiency of the proposed modified algorithm is compared with the classical application.

Keywords: time series, forthcoming, seasonality, cyclicity, empirical mode decomposition, cubic spline, Akima's spline

For citation: Plekhov P. V., Kudreva A. R., Gusev A. A. Formal identification of periodic oscillations in numeral series. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):62–66. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-62-66.

Введение

В настоящее время в любой области науки, в которой производятся последовательные измерения какого-либо показателя, применяется теория временных рядов. Временной ряд представляет собой последовательность фиксированных значений какого-либо показателя в последова-

тельные моменты времени, обычно равноотстоящие друг от друга. Значения показателя могут быть взяты из технической, экономической, социальной или природной системы [1].

В разных отраслях науки преследуются разные цели и применяются различные методы анализа временных рядов. В статистике, эконометрике, финансах, сейсмологии основной целью

анализа временного ряда является прогнозирование. В обработке сигналов, инженерии и телекоммуникациях используются методы обнаружения и оценки сигналов, а в интеллектуальном анализе данных, распознавании образов и машинном обучении – кластеризация, классификация, обнаружение аномалий и прогнозирование.

В данной работе освещается проблема идентификации периодических явлений в длинных временных рядах. Актуальность рассматриваемой проблемы состоит в том, что во многих системах периодические колебания несут в себе важную информацию, которая может быть использована для прогнозирования развития процесса или установления обратной связи [2]. Иногда, напротив, периодические колебания не позволяют выявить закономерности и особенности системы, поэтому такие колебания необходимо удалить. Однако идентифицировать периодические явления в длинном временном ряду, описывающем процесс с большим количеством внешних и внутренних факторов, достаточно сложно, так как с течением времени система, в особенности социальная или экономическая, может изменяться. Графическое же представление длинного временного ряда малоинформативно, что затрудняет предварительный визуальный анализ.

Целью работы является разработка метода, позволяющего обнаружить и идентифицировать периодические колебания во временных рядах. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить теорию временных рядов, их особенности и области применения;
- 2) исследовать существующие методы анализа временных рядов, направленные на обнаружение и выделение периодической составляющей, выявить их достоинства и недостатки;
- 3) разработать метод идентификации периодических явлений во временных рядах;
- 4) разработать программное обеспечение, реализующее метод;
- 5) спланировать и разработать эксперимент для проверки эффективности метода;
- 6) провести анализ результатов исследования.

Объектом данного исследования являются временные ряды, предметом – проблема обнаружения и выделения периодической компоненты из временного ряда.

Алгоритм идентификации периодических явлений

В этой работе мы предлагаем алгоритм для решения проблемы идентификации периодично-

стей временного ряда. Метод можно представить в виде следующих шагов.

1. Декомпозиция исходного временного ряда на эмпирические моды:
 - а) поиск локальных минимумов и максимумов;
 - б) построение огибающих по минимумам и максимумам с методом кусочной интерполяции с применением сплайна Акимы;
 - в) вычисление средних значений по огибающим;
 - г) получение IMF (Intrinsic Mode Function – функции эмпирической моды) путем вычитания средних значений из исходного временного ряда;
 - д) получение семейства мод путем повторения шагов «а»–«д» до заданного критерия останова.
2. Представление исходного временного ряда в виде суммы полученных мод.

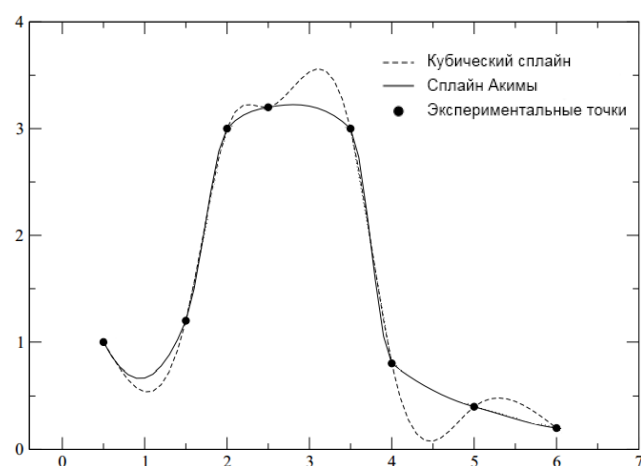
Сплайн Акимы

Для построения огибающих обычно применяется кусочная интерполяция кубическим сплайном. Однако данный вид сплайна обладает некоторыми недостатками. Так, кубический сплайн зачастую осциллирует в окрестности точки выброса [3]. В качестве решения этой проблемы предлагается использовать сплайн, который предложил Хироши Акима [4].

На рис. 1 в качестве примера показаны отличия в результате работы алгоритмов кубического сплайна и сплайна Акимы.

Более точное построение огибающих при модовой декомпозиции временного ряда сокращает погрешность, накапливаемую при построении огибающих кубическим сплайном.

Интерполяция сплайном Акимы представляет собой кусочную интерполяцию полиномами



• Рис. 1. Сравнение кубического сплайна и сплайна Акимы
 • Fig. 1. Comparison of cubic spline and Akima spline

третьего порядка. Для вычисления коэффициентов интерполяционного полинома используются только данные из соседних точек. Данный метод позволяет обходиться без решения больших систем уравнений, что делает его эффективным в расчетах. Для всей кривой не предполагается никакой функциональной формы и учитывается только небольшое число точек, в результате чего полученная кривая не содержит неестественных колебаний.

Интерполяционная функция для построения сплайна Акимы выглядит следующим образом:

$$y = p_0 + p_1(x - x_i) + p_2(x - x_i)^2 + p_3(x - x_i)^3.$$

Существует два ограничения на данный многочлен: функция слева от x_i дает то же значение, что и справа от x_i ; на каждую точку накладывается ограничение, что наклон t в точке x_i равен:

$$t_i = \frac{(|m_{i+1} - m_i| |m_{i-1}| + |m_{i-1} - m_{i-2}| |m_i|)}{|m_{i+1} - m_i| + |m_{i-1} - m_{i-2}|},$$

где каждая m определяется как

$$m_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}.$$

В частном случае, когда знаменатель в формуле для t_i обращается в ноль, применяется следующая формула:

$$t_i = \frac{m_i + m_{i+1}}{2}.$$

Для вычисления секущих для двух точек слева и двух точек справа необходимо произвести экстраполяцию, предположив, что эти точки лежат на квадратичной функции, определяемой как

$$y = g_0 + g_1(x - x_i) + g_2(x - x_i)^2.$$

Экстраполированные секущие, предшествующие первому значению, вычисляются по формулам:

$$m_{-2} = 2m_{-1};$$

$$m_{-1} = 2m_0 - m_1.$$

Предпоследняя и последняя секущие вычисляются по формулам:

$$m_{n+2} = 2m_{n+1} - m_n;$$

$$m_{n+3} = 2m_{n+2} - m_{n+1}.$$

На основании вышеприведенных формул могут быть получены интерполирующие коэффициенты кубического многочлена между любой парой данных:

$$p_0 = y_i;$$

$$p_1 = t_i;$$

$$p_2 = \frac{3 \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} - 2t_i - t_{i+1}}{x_{i+1} - x_i};$$

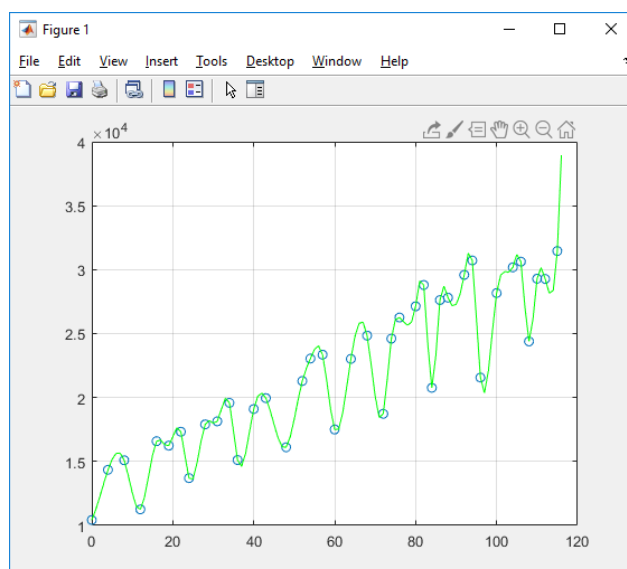
$$p_3 = \frac{t_i + t_{i+1} - 2 \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}}{(x_{i+1} - x_i)^2}.$$

Таким образом, с применением рассмотренных формул строятся огибающие, проходящие через точки локальных минимумов и максимумов [4].

Сравнение эффективности сплайна Акимы и кубического сплайна

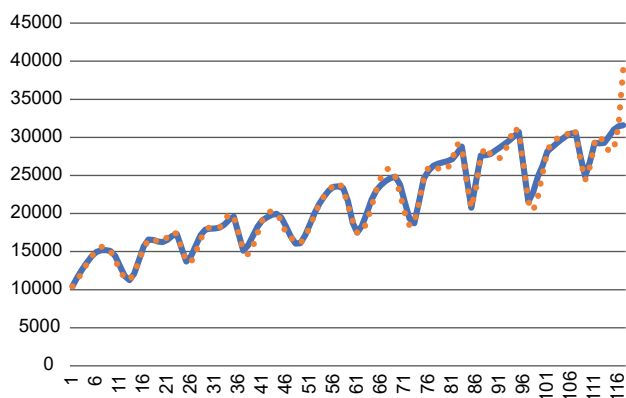
Для наглядности сравнения построим огибающую по минимумам при помощи кубического сплайна в MatLab (рис. 2).

Кубический сплайн ведет себя не так точно, как сплайн Акимы. Между предпоследней и последней известными точками образовался «провал», а экстраполированный «хвост» ушел значительно выше остальных точек.

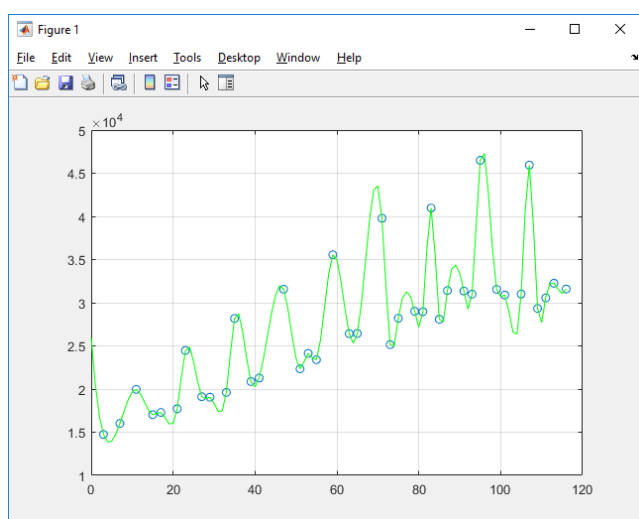


• Рис. 2. Огибающая по минимумам, построенная при помощи кубического сплайна
 • Fig. 2. Envelope by minima, built using a cubic spline

Для визуального сравнения построим оба сплайна в одной системе координат. Сплошной линией обозначим огибающую, построенную при помощи сплайна Акимы, а пунктирной линией – огибающую, построенную при помощи кубического сплайна (рис. 3).



• Рис. 3. Огибающие, построенные при помощи кубического сплайна и сплайна Акимы
 • Fig. 3. Envelopes built using cubic spline and Akima's spline



• Рис. 4. Огибающая, построенная при помощи кубического сплайна
 • Fig. 4. Envelope built using a cubic spline

В целом оба сплайна обладают одинаковым характером, но в конце временного ряда кубический сплайн ведет себя менее точно.

Аналогично построим огибающую по локальным максимумам. Кубический сплайн выглядит следующим образом (рис. 4).

Построенный по максимальным точкам кубический сплайн экстраполирует начальные значения огибающей, при этом получая значение, более чем в два раза превосходящее соответствующий уровень исходного временного ряда.

На этом этапе можно заметить существенные отклонения: кубический сплайн имеет большую амплитуду колебаний и обладает низкой точностью в начальной точке, которая была экстраполирована.

Моды отличаются друг от друга. Особенно большая разница заметна на концах моды, где кубический сплайн интерполирован. Помимо этого, кубический сплайн создал несколько колебаний в точках, в которых нет колебаний у исходного временного ряда.

Заключение

В результате проведенного исследования можно прийти к выводу, что кубический сплайн обладает большей гладкостью, чем сплайн Акимы, но при этом огибающая выходит за пределы минимальных/максимальных значений. Кроме того, в тех точках, где кубический сплайн экстраполирован, заметна большая ошибка. При исследовании временного ряда, содержащего большое количество разночастотных колебаний, накопленное отклонение и созданные самим сплайном колебания могут привести к неправильной декомпозиции временного ряда.

Таким образом, сплайн Акимы при использовании метода эмпирической модовой декомпозиции имеет неоспоримое преимущество перед кубическим сплайном, позволяя строить огибающие с большей точностью, что сказывается на процессе декомпозиции временного ряда.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Затонский А. В., Сиротина Н. А. Преимущества дифференциальной модели сложной экономической системы // Образование. Наука. Научные кадры. 2012. № 8. С. 98–102.
2. Затонский А. В., Варламова С. А. Информационное обеспечение поддержки принятия решений на примере составления расписания занятий образовательной организации // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2018. Т. 18, № 3. С. 88–106.
3. Романов В. В., Лясич В. А., Смирнов И. В. Сплайновая интерполяция в задачах динамического исследования машинного агрегата // Вестн. Костром. гос. технолог. ун-та. 2010. № 1 (23). С. 60–64.

4. Akima H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures // Journal of the ACM. 1970. № 5. P. 589–602.
5. Разработка алгоритмов трассировки технологических соединений с использованием многопроцессорной техники / С. Я. Егоров [и др.] // Вестн. Тамбов. гос. техн. ун-та. 2012. Т. 18, № 3. С. 583–587.

REFERENCES

1. Zatonckij A. V., Sirotina N. A. Advantages of the differential model of a complex economic system. Education. The science. Scientific personnel. 2012;(8):98–102. (In Russ.)
2. Zatonckij A. V., Varlamova S. A. Information support for decision-making on the example of scheduling classes in an educational organization. Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics. 2018;18(3):88–106. (In Russ.)
3. Romanov V. V., Ljasich V. A., Smirnov I. V. Spline interpolation in problems of dynamic study of a machine unit. Bulletin of the Kostroma State Technological University. 2010;(1(23)):60–64. (In Russ.)
4. Akima H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. Journal of the ACM. 1970;(5):589–602.
5. Egorov S. Ja., Fursov I. S., Bojkov S. Ju. et al. Development of process connection tracing algorithms using multi-processor technology. Bulletin of the Tambov State Technical University. 2012;18(3):583–587. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Плехов Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – применение микропроцессорных систем в социально-технических объектах автоматизации.

Кудрева Алина Равильевна, магистрант Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – информационные системы, поддержка принятия решений.

Гусев Алексей Андреевич, студент Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – информатика и вычислительная техника, информационные системы, базы данных.

Plekhov Pavel V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation of Technological Processes, Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University.

Research interests – application of microprocessor systems in socio-technical automation objects.

Kudreva Alina R., Master Student, Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University.

Research interests – information systems, decision support.

Gusev Aleksey A., Student, Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University.

Research interests – informatics and computer technology, information systems, databases.

Поступила в редакцию 08.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 08.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Идентификация пользователя на основе клавиатурного почерка

Светлана Александровна Варламова¹

✉ varlamovasa@mail.ru

Елена Алексеевна Вавилина¹

varlamovasa@mail.ru

¹ Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Березники, Российская Федерация

Аннотация. Выдвигается гипотеза о том, что у каждого человека индивидуальный подход к набору текста на клавиатуре. Таким образом, можно сделать предположение, что данный параметр можно использовать для идентификации пользователей как биометрический показатель. Среди методов биометрической аутентификации предложенный подход относится к категории динамических методов, что затрудняет похищение шаблона почерка пользователя. В работе кратко описаны существующие методы и способы идентификации пользователей по клавиатурному почерку и выполнено исследование применения оценочного параметра времени удержания клавиш для определения пользователя. В результате исследования доказано, что время удержания клавиш способно идентифицировать пользователей в 85 % случаев.

Ключевые слова: аутентификация, идентификация, защита информации, клавиатурный почерк

Для цитирования: Варламова С. А., Вавилина Е. А. Идентификация пользователя на основе клавиатурного почерка // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 67–71. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-67-71.

Original article

User identification based on keypad handwriting

Svetlana A. Varlamova¹

✉ varlamovasa@mail.ru

Elena A. Vavilina¹

varlamovasa@mail.ru

¹ Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University, Berezniki, Russian Federation

Abstract. The paper suggests that each person has an individual approach to typing on the keyboard. Thus, it can be assumed that this parameter can be used to identify users as a biometric indicator. Among the biometric authentication methods, the proposed approach belongs to the category of dynamic methods, which makes it difficult to steal the user's handwriting template. The paper briefly describes the existing methods and methods for identifying users by keyboard handwriting and a study of the use of the estimated key holding time parameter to determine the user. As a result of the study, it was proved that the key hold time is able to identify users in 85 % of cases.

Keywords: authentication, identification, information security, keyboard handwriting

For citation: Varlamova S. A., Vavilina E. A. User identification based on keypad handwriting. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):67–71. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-67-71.

Люди в современном обществе очень большой объем конфиденциальной информации доверяют компьютерным системам – это могут быть как личные данные, пароли, документы, так и коммерческая информация, хранящаяся на компьютерах предприятий. Существует достаточно много способов защиты информации, однако они имеют тенденции к устареванию. Одними из способов защиты информации являются алгоритмы идентификации пользователей во время работы за компьютером. В общем случае алгоритм системы идентификации может быть представлен четырьмя основными шагами:

- 1) запись – запись в систему физических или поведенческих данных пользователя;
- 2) выделение – из данных выделяется уникальная информация о пользователе (каких-либо параметрах) для дальнейшего определения пользователя;
- 3) сравнение – после того, как пользователь вводит свои данные, система начинает сравнивать данный образец с тем, который записан в его память;
- 4) решение – система решает, допустить пользователя или нет, проверяет совпадение уникальной информации, которая записана в системе,

с той, которую ввел пользователь. Если она совпадает или отличается в допустимом диапазоне, то система пропускает пользователя, иначе – нет.

Одним из параметров, который может использоваться для идентификации пользователя за компьютером, является клавиатурный почерк. Клавиатурный почерк – это динамическая характеристика человека, которая зависит от скорости ввода символов, интервала времени между отпусканьем и нажатием одной клавиши, а также интервала между нажатиями на них (т. е. времени нажатия соседних клавиш), количества ошибок при вводе, использования комбинаций «горящих» клавиш.

Многие исследования доказали, что ритм работы на клавиатуре является достаточно уникальным и вполне может применяться для идентификации пользователя [1–6].

Существует два типа распознавания клавиатурного почерка. Первый тип применяется для аутентификации пользователя при попытке получения доступа к вычислительным ресурсам. Второй тип осуществляет мониторинг уже после получения доступа, и если система обнаружит, что за компьютером работает другой пользователь, то доступ к ресурсу будет заблокирован. Для оценки почерка используются временные интервалы: время между нажатием клавиш и время удержания клавиш [7–9]. Такие методы достаточно легко реализуемы, так как не требуют специального оборудования.

На практике применяется два способа идентификации по компьютерному почерку:

- 1) по вводу заранее подготовленной фразы;
- 2) по вводу случайно взятого текста.

Идентификация пользователя по компьютерному почерку пока не получила широкого распространения. Однако компании, внедрившие его в свои проекты, дорожат этой технологией и представляют ее как уникальную [10]. Поэтому тематика исследования является достаточно актуальной и имеет практическую значимость.

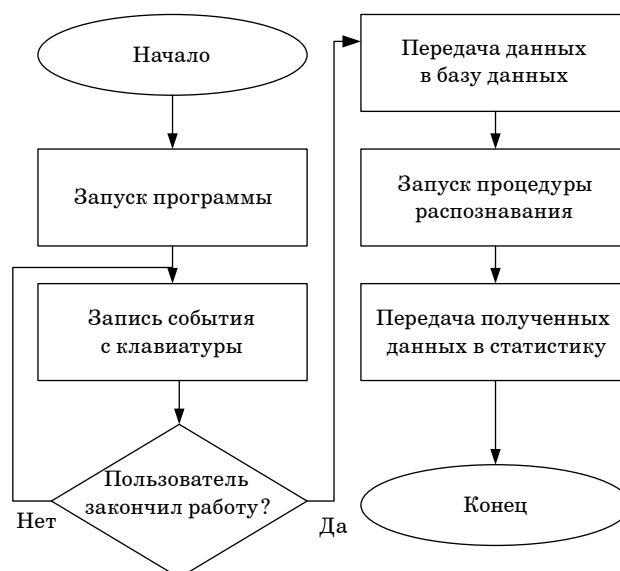
В сети Интернет существуют готовые алгоритмы, позволяющие провести идентификацию пользователя по вводу логина и пароля, они работают с двумя параметрами – временем удержания клавиши и интервалами между нажатиями клавиш. При тестировании метода он хорошо показал себя при выполнении первичной идентификации пользователя. Однако для длительной работы такой алгоритм не подошел. Так как во время длительной работы за компьютером человек задумывается, отвлекается на что-то, и интервал между нажатиями клавиш может меняться в зависимости от выполняемой работы. Поэтому в рамках данной работы исследовали только один параметр – время удержания клавиши,

который потребовал модификации алгоритма работы.

В любом случае, независимо от исследуемых параметров, алгоритмы анализа клавиатурного почерка содержат два этапа – обучения и непосредственно идентификации. Этап обучения можно представить алгоритмом, показанным на рис. 1.

Данные для анализа поведения пользователя по клавиатурному почерку были получены в результате серии экспериментов. Всего было проведено 500 экспериментов. На этапе обучения системы пользователям было предложено набрать один и тот же текст, объем которого – 1930 символов. Во время обучения для каждого пользователя программа создает файл, в который записывается результат – символ и время его удержания. На рис. 2 показан вид файлов со статистическими данными, подлежащими обработке.

После получения результатов эксперимента проводили обработку файлов.



• Рис. 1. Обучение системы распознавания компьютерного почерка

• Fig. 1. Training the computer handwriting recognition system

03.04.2022	03.04.2022	04.04.2022	05.04.2022	02.04.2022	02.04.2022	03.04.2022	03.04.2022
'j' 88	'j' 71	'j' 200	'j' 183	'j' 109	'j' 192	'j' 127	'j' 88
'j' 72	'x' 63	'j' 87	'j' 47	'x' 74	'x' 107	'x' 87	'x' 128
'x' 71	't' 32	'x' 96	'x' 119	't' 67	't' 116	't' 80	't' 79
't' 80	'y' 79	't' 71	't' 80	'y' 70	'y' 85	'y' 119	'y' 71
'y' 71	'm' 79	'y' 55	'm' 55	'm' 64	'm' 125	'm' 96	'm' 55
'm' 96	'x' 95	'm' 79	'm' 55	'x' 102	'x' 101	'x' 136	'x' 95
'x' 72	'f' 80	'x' 104	'x' 87	'f' 83	'f' 83	'f' 79	'f' 79
'f' 56	'c' 72	'f' 79	'f' 88	'c' 77	'c' 88	'c' 71	'c' 111
'c' 103	'n' 31	'c' 103	'c' 87	'n' 85	'j' 130	'n' 71	'n' 64
'n' 47	'j' 79	'n' 56	'n' 39	'j' 98	'n' 158	'j' 64	'j' 63
'j' 16	'g' 127	'j' 104	'j' 127	'g' 64	'j' 129	'g' 79	'g' 71
'v' 63	'h' 175	'g' 80	'g' 88	'h' 75	'g' 116	'h' 72	'h' 64
's' 79	'b' 79	'h' 79	'h' 55	'b' 50	'h' 17	'b' 55	'b' 56
'c' 72	'h' 55	'b' 72	'b' 63	'h' 63	'b' 95	'h' 63	'h' 56
'd' 56	'f' 72	'h' 88	'h' 71	'f' 71	'h' 102	'f' 72	'f' 112
'c' 40	'6' 79	'f' 71	'f' 79	'6' 100	'f' 75	'6' 80	'6' 63
'g' 71	'j' 79	'j' 88	'6' 64	'j' 68	'6' 109	'j' 64	'j' 55
'j' 55	'n' 87	'j' 71	'j' 79	'n' 70	'j' 106	'n' 63	'n' 64

• Рис. 2. Примеры файлов фиксации набора текста

• Fig. 2. Examples of typing commit files

На этапе распознавания пользователя проводили такие расчеты, как подсчет количества нажатий конкретных клавиш, время их среднего удержания, генеральная дисперсия, отклонение, доверительные интервалы, а также расчет критерия распределения Стьюдента.

Анализ полученных экспериментальных данных состоял из следующих этапов:

1) для каждого образца клавиатурного почерка были сделаны подсчеты среднего времени удержания клавиши, а также количества ее нажатий. После чего были найдены дисперсия для каждой клавиши и стандартное отклонение для подсчета доверительных интервалов;

2) из всех клавиатурных почерков был выбран один почерк, который было принято считать эталонным;

3) после того, как были обработаны все полученные результаты экспериментов, была составлена таблица, где по ее значениям и условию вхождения в доверительный интервал был сделан подсчет попаданий в доверительный интервал сравниваемого образца;

4) составлены графики для наглядного сравнения клавиатурных почерков (сравниваемый почерк, почерк истинного пользователя, а также почерк иного пользователя);

5) после анализа полученных данных были выбраны те клавиши, которые встречаются чаще всего: «А», «Е», «И», «О», «У», «Ы», «Э», «Я», а также «В», «С», «П», «Т» и «Н»;

6) для анализа сравниваемого почерка с другими результатами была найдена погрешность с помощью распределения Стьюдента, построены графики распределения, в которых указаны критические границы погрешности, точкой – фактическая погрешность, которая была получена с помощью расчета.

Для подсчета дисперсионных значений была выбрана генеральная дисперсия, для подсчета отклонения – корень из подсчитанной дисперсии. Для расчета доверительных интервалов использовали коэффициент Стьюдента, который находили в таблице распределения Стьюдента.

Для анализа сравнения клавиатурных почерков и наглядного представления сравним образцы клавиатурного почерка одного пользователя (рис. 3). Видно, что результаты времени удержания клавиши одной и той же буквы у одного и того же пользователя входят в доверительный интервал. На рис. 3 показан полный введенный текст по среднему времени удержания клавиши. В процессе сравнения удержания одного символа время удержания у сравниваемого образца варьируется от 146 до 176 мс.

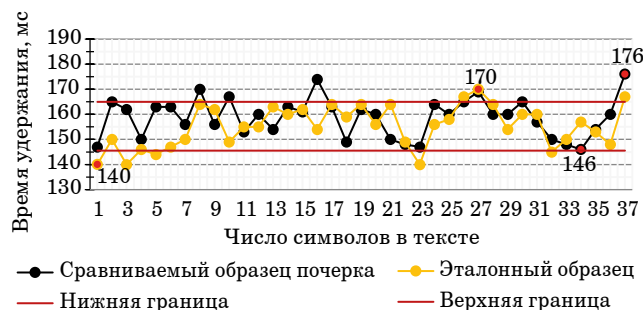
Если же сравнивать образцы клавиатурного почерка разных пользователей (рис. 4), видно,

что в доверительный интервал сравниваемого образца не будут входить результаты эталонного образца клавиатурного почерка. Образец почерка, входящий в доверительный интервал, имеет значения от 140 до 170 мс, а другой образец имеет значения от 23 до 95 мс. Таким образом, можно утверждать, что на графике приведены образцы почерков разных пользователей. На рис. 5 показано, что большая часть букв эталонного образца входит в доверительный интервал сравниваемого образца клавиатурного почерка.

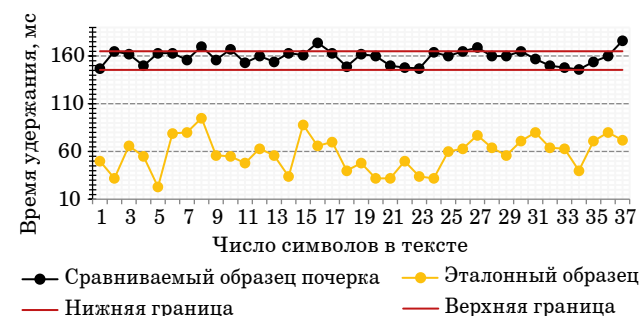
При рассмотрении экспериментально полученных данных для всего введенного текста можно сделать следующие выводы.

Среднее время удержания клавиши для сравниваемого образца клавиатурного почерка варьируется от 86 до 248 мс, в то время как у эталонного образца почерка на графике слева – от 90 до 230 мс. При этом усредненное время удержания клавиш составляет 142,4 мс для сравниваемого образца, для эталонного усредненное время удержания составляет 141,5 мс. Среднее расхождение по всем буквам составило менее 1 мс.

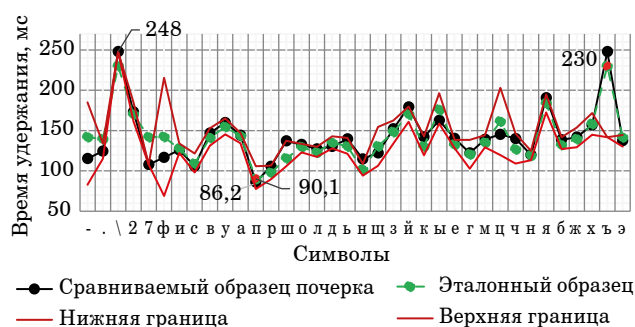
Таким образом, усредненное время удержания оказывается практически одинаковым для разных образцов клавиатурного почерка одного выбранного пользователя. Наибольшее расхож-



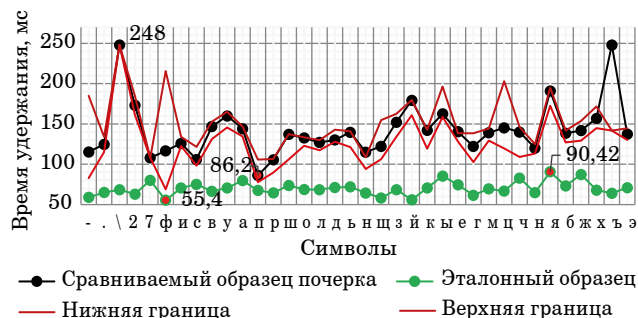
• Рис. 3. Сравнение почерков одного пользователя
• Fig. 3. Comparison of handwriting of one user



• Рис. 4. Сравнение клавиатурных почерков различных пользователей
• Fig. 4. Comparison of keyboard handwriting of different users



• Рис. 5. Сравнение почерка одного пользователя
 • Fig. 5. Comparison of the handwriting of one user



• Рис. 6. Сравнение почерка разных пользователей
 • Fig. 6. Comparison of handwriting of different users

дение значений времени наблюдается при печати сравнительно редко используемых клавиш – например, «Ф», «Ц», «Ш», «Щ», «Ъ».

На рис. 6 среднее время удержания клавиши для эталонного образца на графике варьируется от 55,4 до 90,42 мс. Для данного образца усредненное время удержания всех клавиш составляет 70,7 мс. Таким образом, усредненное время удержания клавиш имеет гораздо большее отклонение, чем при сравнении двух образцов клавиатур-

ного почерка одного пользователя, и составляет более 70 мс. Из этого можно сделать вывод, что на графике показаны образцы почерка разных пользователей.

Таким образом, можно сделать вывод, что сравнение клавиатурных почерков по одному параметру позволяет определить с точностью 85 %, что за персональным компьютером истинного пользователя работал другой человек.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Vacca J. R. Biometric technologies and verification system. Butterworth: Heinemann, 2007. 656 p.
2. Bryan W. L., Harter N. Studies in the physiology and psychology of the telegraphic language // Psychological review. 1987. № 4 (1). P. 27–53.
3. Coppentrath and associates biometric solutions by classification. URL: <http://www.lfca.net/Reference%20Documents/Biometric%20Solutions%20By%20Classification.pdf> (дата обращения: 01.02.2023).
4. Shaffer L. H. Timing in the motor programming of typing // Quarterly journal of experimental psychology. 1978. Vol. 30, № 2. P. 333–345.
5. Иванов А. И. Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. Пенза, 2000. 188 с.
6. Jain A. K., Ross A., Prabhakar S. An introduction to biometric recognition // IEEE transactions on circuits and systems for video technology. Special issue on image and video based biometrics. 2004. Vol. 14, № 1. P. 4–20.
7. Матюшина С. Н., Куликов С. С. Клавиатурный почерк в парольной аутентификации пользователей // Auditorium. 2019. № 4 (24). С. 77–82.
8. Крыжевич Л. С., Матюшина С. Н. Обеспечение доступа к электронному оборудованию на основе распознавания компьютерного почерка // Актуальные исследования в области математики, информатики, физики и методики их изучения в современном образовательном пространстве. Результаты исследований в области математики, информатики, физики и методики их изучения в современном образовательном пространстве: сб. ст. Курск, 2016. С. 83–88.
9. Варламова С. А., Затонский А. В. Информационно-управляющая система филиала вуза как неотъемлемый элемент системы качества образования // Фундамент. исслед. 2007. № 12–3. С. 447–451.
10. Митюков Е. А., Затонский А. В., Плехов П. В. Аудит безопасности SCADA-систем // Защита информации. Инсайд. 2016. № 4 (70). С. 72–77.

REFERENCES

1. Vacca J. R. Biometric technologies and verification system. Butterworth: Heinemann; 2007. 656 p.
2. Bryan W. L., Harter N. Studies in the physiology and psychology of the telegraphic language. Psychological review. 1987;(4(1)):27–53.

3. Coppenrath and associates biometric solutions by classification. Available from: <http://www.lfca.net/Reference%20Documents/Biometric%20Solutions%20By%20Classification.pdf> [Accessed 01 February 2023].
4. Shaffer L. H. Timing in the motor programming of typing. *Quarterly journal of experimental psychology.* 1978;30(2):333–345.
5. Ivanov A. I. Biometric identification of a person by the dynamics of subconscious movements. Penza; 2000. 188 p. (In Russ.).
6. Jain A. K., Ross A., Prabhakar S. An introduction to biometric recognition. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology. Special issue on image and video based biometrics.* 2004, vol. 14, no. 1, pp. 4–20.
7. Matjushina S. N., Kulikov S. S. Keystroke as password authentication of users. *Auditorium.* 2019;4(24):77–82. (In Russ.).
8. Kryzhevich L. S., Matjushina S. N. Providing access to electronic equipment based on computer handwriting recognition. *Actual research in the field of mathematics, computer science, physics and methods of their study in the modern educational space.* Kursk; 2016, pp. 83–88. (In Russ.).
9. Varlamova S. A., Zatonskij A. V. Information and control system of a university branch as an integral element of the education quality system. *Basic research.* 2007;(12–3):447–451. (In Russ.).
10. Mitjukov E. A., Zatonskij A. V., Plehov P. V. Security audit of SCADA systems. *Data protection. Insider.* 2016;4(70):72–77. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Варламова Светлана Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – информационные методы поддержки принятия решений в социально-экономических системах.

Вавилина Елена Алексеевна, магистрант кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Область научных интересов – информационные методы поддержки принятия решений в социально-экономических системах.

Varlamova Svetlana A., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Automation of Technological Processes, Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University.

Research interests – information methods of decision support in socio-economic systems.

Vavilina Elena A., Master Student at the Department of Automation of Technological Processes, Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University.

Research interests – information methods of decision support in socio-economic systems.

Поступила в редакцию 08.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 08.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Метод голосовой идентификации диктора

Екатерина Сергеевна Шамакова¹

✉ shamaich0168@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6746-9378

Владимир Сергеевич Коломойцев¹

dekoros@guap.ru, orcid.org/0000-0001-7282-033X

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Предложен новый подход к формированию векторов признаков, основанный на семантических особенностях речи диктора. Отличительной особенностью предложенного метода является то, что, помимо анализа голосовых характеристик диктора, также анализируются и речевые – особенности построения предложений, их семантика, словарный запас и т. д. Разработан программный модуль идентификации личности на основе предложенного метода и проведено сравнение с традиционно используемым при решении задачи идентификации дикторов методом, основанным на мел-частотных кепстральных коэффициентах. Сравнительный анализ показал, что рассматриваемый подход позволяет увеличить точность идентификации личности, однако при этом он требует больших временных затрат.

Ключевые слова: распознавание голоса, искусственный интеллект, машинное обучение, аутентификация, морфологический анализ, нейронные сети

Для цитирования: Шамакова Е. С., Коломойцев В. С. Метод голосовой идентификации диктора // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 72–76. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-72-76.

Original article

The method of voice identification of the speaker

Ekaterina S. Shamakova¹

✉ shamaich0168@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6746-9378

Vladimir S. Kolomoitcev¹

dekoros@guap.ru, orcid.org/0000-0001-7282-033X

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. In this paper, a new approach to the formation of feature vectors based on the semantic features of the speaker's speech is proposed. A distinctive feature of the proposed method is that in addition to analyzing the speaker's voice characteristics, speech characteristics are also analyzed: features of sentence construction, their semantics, vocabulary, etc. A software module for identification of a person based on the proposed method has been developed, and a comparison has been made with the method traditionally used in solving the speaker identification problem based on mel-frequency cepstrum coefficients. Comparative analysis has shown that the considered approach allows to increase the accuracy of identification of a person, but at the same time it requires more time.

Keywords: voice recognition, artificial intelligence, machine learning, authentication, morphological analysis, neural networks

For citation: Shamakova E. S., Kolomoitcev V. S. The method of voice identification of the speaker. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):72–76. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-72-76.

Введение

На сегодняшний день созданы десятки различных систем распознавания голоса, причем для разных приложений необходимы специальные параметры и требования к процессу идентификации. К сожалению, существующие разработанные голосовые биометрические системы не способны обеспечить должный уровень надежности при относительной простоте обучения и удобстве использования [1]. В результате они часто используются в качестве дополнительного

средства аутентификации там, где требуется высокая надежность системы идентификации [2].

Основной областью применения голосовых биометрических систем является телефония. Другие биометрические идентификаторы в настоящее время к данной сфере не применяются [3]. Приложения с высоким уровнем безопасности, такие как телефонный банкинг и мобильная коммерция, являются перспективными областями применения голосовых технологий. Распознавание голоса можно использовать для диктовки текста устройству и управления им.

В настоящее время более 20 компаний активно работают в этом секторе биометрического рынка. Сектор биометрических систем на основе голоса составляет около 3 % [4].

На основании исследования признано, что основные проявления индивидуальности человеческого голоса существуют в двух выделенных группах признаков [5]. Первая из них – это анатомические и физиологические характеристики механизма речеобразования человека, а вторая – артикуляционная деятельность, которая зависит от деятельности центральной нервной системы.

Однако существуют и другие признаки, содержащие дополнительную информацию о говорящем, которые можно использовать для повышения точности распознавания. Одной из таких характеристик являются семантические особенности речи говорящего. Помимо анализа голосовых признаков диктора, в качестве дополнительной проверки можно анализировать его речевые признаки – особенности построения предложений, их семантику, наиболее употребляемые слова и в целом словарный запас. Далее предлагается рассмотреть подход, основанный на вычислении мел-частотных кепстральных коэффициентов для выделения полезной информации об акустических сигналах, дополненный выделением и анализом речевых признаков диктора.

Идентификация диктора с использованием семантического анализа

В существующих системах голосовой аутентификации пользователя наиболее важными этапами являются выделение индивидуальных голосовых характеристик речи говорящего (построение модели голоса) и процесс определения степени схожести получившейся модели претендента с моделью зарегистрированного пользователя [6].

В настоящее время эффективными системами распознавания речи принято считать те, структура которых схожа с человеческим механизмом восприятия речи. Хорошо известно, что орган слуха человека имеет нелинейную частотную характеристику. Мел – это единица измерения высоты тона, основанная на восприятии звука нашими органами слуха [7].

Одним из таких методов является расчет мел-частотных кепстральных коэффициентов [8]. Его особенностью является то, что он позволяет рассчитать многомерный вектор признаков, на котором будут основываться будущие алгоритмы классификации, используя меру частоты сигнала, преобразованную в высоту в мелах.

Алгоритм вычисления выглядит следующим образом.

1. Входящий сигнал разбивается на кадры (фреймы) таким образом, чтобы они перекрывали следующие за ним и предыдущие. В основном принимаются значения в диапазоне от 20 до 40 мс [9].

2. Для каждого фрейма вычисляется его спектр с помощью дискретного преобразования Фурье [10]:

$$x_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn}, k = 0, \dots, N-1, \quad (1)$$

где N – размерность дискретного отрезка сигнала; x_n – амплитуда n -го сигнала; X_k – амплитуда синусоидальных сигналов, которые составляют основной сигнал.

3. Полученные спектральные коэффициенты фреймов накладываются на мел-частотные окна. Данные окна сосредотачиваются ближе к низким частотам, так как это наиболее близко к механизму восприятия высоты звука: чем ниже частота, тем меньше отличаются соседние частоты [10].

4. Производится вычисление энергии каждого кадра по формуле [10]:

$$S(m) = \ln \left(\sum_{k=0}^{N-1} |X_k|^2 H_{m,k} \right), m = 0, \dots, M, \quad (2)$$

где $H_{m,k}$ – весовые коэффициенты полученных фильтров; M – число фильтров.

5. Наконец, применяется дискретно-косинусное преобразование, и на выходе получается многомерный вектор, представляющий характеристики сигнала. Получившиеся признаки и являются мел-частотными кепстральными коэффициентами.

В данной работе для решения задачи классификации выбран метод случайного леса, поскольку его точность сопоставима с другими методами построения моделей классификации (статистические методы, нейронные сети) [11]. Помимо этого, построение моделей классификации с использованием алгоритма построения случайного леса может быть выполнено за гораздо меньшее время, чем, например, обучение нейронных сетей. Также полученный конечный вес итоговой модели имеет относительно небольшой объем [11].

Однако при классификации лишь по мел-частотным кепстральным коэффициентам точность составляет лишь 85 % [12]. Для усовершенствования данного результата предлагается анализировать также семантическую составляющую речи говорящего, поэтому добавляется еще несколько этапов.

1. Проверка соответствия диктора зарегистрированному пользователю. Если соответствие претендента близко к пороговому (± 2 %) или равно для нескольких пользователей, вводится дополнительная оценка семантического содержимого речи.

2. Извлечение текстовых данных из голосовой записи пользователя: используется существующая система распознавания речи из библиотеки python SpeechRecognition. Данная библиотека действует как оболочка для нескольких популярных речевых API и, таким образом, является чрезвычайно гибкой и показывает достаточно высокую точность распознаваемой речи. Нами была выбрана система CMU Sphinx, использующая скрытые марковские цепи и n -граммовую статистическую языковую модель.

Суть используемой модели заключается в том, что ее можно аппроксимировать как стационарный процесс, рассматривая сигналы малой длительности (от 5 до 10 мс).

3. Анализ семантических особенностей. Для обработки естественного языка необходимо перевести его в векторное представление, сохраняя при этом семантику текста. Для перевода текста в векторный формат необходимо предварительно разбить его на токены, перевести их по отдельности в векторное пространство с использованием техники Word2Vec библиотеки python Gensim. Далее, с использованием заранее обученной модели, слова компонуются в последовательность, при этом сохраняется семантика предложения [13].

4. Классификация пользователей по семантическим особенностям речи. Для данного признака также выбран метод случайного леса в целях упрощения объединения двух заранее обученных моделей в одну.

5. Объединение результатов классификации. Рассмотренные этапы являются продолжением работы метода классификации диктора на основе его голосовых признаков, а именно – мел-частотных кепстральных коэффициентов.

Обсуждение результатов

Для оценки предложенного подхода результаты его работы сравниваются с результатами классификации с использованием только мел-частотных кепстральных коэффициентов. Анализ точности аутентификации пользователей заключается в подаче одинакового тестового набора данных, включающего в себя 2700 голосовых записей 27 различных пользователей, на вход уже обученных моделей. Для оценки каче-

ства моделей используются метрики, основанные на матрице ошибок, приведенные в табл. 1.

Таким образом, ошибки классификации бывают двух типов: False Negative, или ложноотрицательные (FN), и False Positive, или ложноположительные (FP).

В качестве критериев эффективности были выбраны следующие метрики:

– accuracy – доля правильных ответов:

$$\text{accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}; \quad (3)$$

– precision – доля объектов, признанных классификатором положительными и при этом действительно являющихся положительными:

$$\text{precision} = \frac{TP}{TP + FP}; \quad (4)$$

– recall – доля объектов положительного класса из всех объектов положительного класса, которые нашел алгоритм:

$$\text{recall} = \frac{TP}{TP + FN}; \quad (5)$$

– F_1 – среднее гармоническое precision и recall:

$$F_1 = 2 \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}. \quad (6)$$

В результате сравнительного анализа были получены соответствующие матрицы ошибок (табл. 2). Так как в данном примере классификация является мультиклассовой, а большинство рассматриваемых метрик определены лишь для задачи двоичной классификации, матрицы были переведены в двоичный формат посредством усреднения.

Результаты сравнения на основе метрик приведены в табл. 3.

Из полученных данных видно, что анализ не только голосовых характеристик диктора, но и семантических особенностей его речи позволяет

- Таблица 1. Матрица ошибок
- Table 1. Confusion matrix

Ответ алгоритма на объект	Истинная метка класса на объекте	
	$y=1$	$y=0$
$y' = 1$	TP	FP
$y' = 0$	FN	TN

- Таблица 2. Сравнение эффективности методов голосовой аутентификации пользователей (матрицы ошибок)
- Table 2. Comparison of effectiveness of voice user authentication methods (confusion matrices)

Метрика	Алгоритм	
	классификация по голосовым признакам	классификация по голосовым и семантическим признакам
TP	1827	1900
TN	466	556
FP	226	101
FN	181	143

- Таблица 3. Сравнение эффективности методов голосовой аутентификации пользователей (метрики)
- Table 3. Comparison of the effectiveness of voice user authentication methods (metrics)

Алгоритм	Метрика			
	accuracy	precision	recall	F ₁
Классификация по голосовым признакам	0,85	0,89	0,91	0,89
Классификация по голосовым и семантическим признакам	0,91	0,95	0,93	0,94

улучшить точность классификации. Однако стоит заметить, что данный подход будет работать лишь в случае текстозависимой аутентифика-

ции, а значит, для него необходимо большее количество данных.

Основным недостатком рассматриваемого подхода является то, что он требует больших временных затрат, так как анализ речевых признаков диктора является дополнением метода, основанного на вычислении мел-частотных кепстральных коэффициентов.

Заключение

В работе был предложен подход к идентификации пользователя, основанный не только на голосовых признаках, но и на семантических.

Указанный подход предполагает то, что в дополнение к традиционно используемому при решении задачи идентификации дикторов методу, основанному на вычислении мел-частотных кепстральных коэффициентов, была использована классификация на основании их речевых признаков. Для этого голосовые данные претендента с помощью распознавания речи переводились в текстовый формат, после чего анализировалась семантическая составляющая речи пользователя.

Также в рамках данной работы было произведено тестирование разработанного метода, которое показало, что данный подход к обработке акустических данных демонстрирует хорошие характеристики по сравнению с существующим методом. Этот подход может быть применен при построении эффективной системы голосовой аутентификации пользователей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кулемзин Д. В., Данилюк С. С., Селезнев Д. В. Анализ существующих технологий аутентификации личности по голосовому сигналу // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 10-1. С. 80–83. Doi: 10.17513/snt.39350.
2. Винцюк Т. К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов. Киев: Наукова думка, 1987. 264 с.
3. Ворона В. А., Костенко В. О. Биометрические технологии идентификации в системах контроля и управления доступом // Computational nanotechnology. 2016. № 3. С. 224–241.
4. Частикова В. А., Титова А. А., Войлова Д. О. Аналитический обзор методов идентификации личности на основе биометрических характеристик // Вестн. Адыгей. гос. ун-та. Сер. 4: Естественно-математ. и техн. науки. 2022. № 1 (296). С. 92–112. Doi: 10.53598/2410-3225-2022-1-296-92-112.
5. Аграновский А. В. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов. М.: Радио и связь, 2014. 164 с.
6. Многоканальная система анализа речевой активности участников совещания / В. Ю. Будков, М. В. Прищепа, А. Л. Ронжин, К. Марков // Анализ разговорной русской речи: Третий междисциплинар. сем. АРЗ – 2009. СПб., 2009. С. 57–62.
7. Ganchev T., Fakotakis N., Kokkinakis G. Comparative evaluation of various MFCC implementations on the speaker verification task // 10th International conference on speech and computer. Patras, Greece, 2005. Vol. 1. P. 191–194.
8. Жилияков Е. Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным. Белгород: Изд-во БелГУ, 2017. 160 с.
9. Berni N., Walter I. Segmentation and vowel recognition // Information processes. 2021. Vol. 4, № 2. P. 202–220.

10. *Рабинер Л. Р., Шафер Р. В.* Цифровая обработка речевых сигналов / пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981. 496 с.
11. The elements of statistical learning / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, J. Franklin. New York: Springer, 2017. 764 p.
12. *Sharma A. M.* Speaker recognition using machine learning techniques. San Jose State University, 2019. 685 p.
13. *Белокуров Д. А., Шамакова Е. С., Коломойцев В. С.* Использование методов машинного обучения для идентификации бот-аккаунтов в социальной сети // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: XXIV Междунар. науч. конф. СПб., 31 мая – 4 июня 2021 г. СПб., 2021. С. 10–17.

REFERENCES

1. Kulemzin D. V., Danilyuk S. S., Seleznev D. V. Analysis of existing technologies of identity authentication by voice signal. Modern science-intensive technologies. 2022;(10-1):80–83. (In Russ). Doi: 10.17513/snt.39350.
2. Vintsyuk T. K. Analysis, recognition and interpretation of speech signals. Kiev: Naukova dumka; 1987. 264 p. (In Russ.).
3. Vorona V. A., Kostenko V. O. Biometric identification technologies in access control and management systems. Computational nanotechnology. 2016;(3):224–241. (In Russ.).
4. Chastikova V. A., Titova A. A., Voilova D. O. Analytical review of identification methods based on biometric characteristics. Bulletin of Adygei State University. Series 4: Natural and mathematical and technical sciences. 2022;(1(296)):92–112. (In Russ.). Doi: 10.53598/2410-3225-2022-1-296-92-112.
5. Agranovsky A. V. Theoretical aspects of speech signal processing and classification algorithms. Moscow: Radio and Communications; 2014. 164 p. (In Russ.).
6. Budkov V. Y., Prischepa M. V., Ronzhin A. L., Markov K. Multichannel system of analysis of speech activity of meeting participants. Analysis of spoken Russian speech: Third interdisciplinary seminar AR3 – 2019. SPb.; 2019, pp. 57–62. (In Russ.).
7. Ganchev T., Fakotakis N., Kokkinakis G. Comparative evaluation of various MFCC implementations on the speaker verification task. 10th International conference on speech and computer. Patras, Greece; 2005, vol. 1, pp. 191–194.
8. Zhilyakov E. G. Variation methods of analysis and construction of functions on empirical data. Belgorod: Publishing house “BelGU”; 2017. 160 p. (In Russ.).
9. Berni N., Walter I. Segmentation and vowel recognition. Information processes. 2021;4(2):202–220.
10. Rabiner L. R., Schafer R. W. Digital processing of speech signals. Moscow: Radio and communications; 1978. 496 p. (In Russ.).
11. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J., Franklin J. The elements of statistical learning. New York: Springer; 2017. 764 p.
12. *Sharma A. M.* Speaker recognition using machine learning techniques. San Jose State University; 2019. 685 p.
13. *Belokurov D. A., Shamakova E. S., Kolomoitcev V. S.* Using machine learning methods to identify bot accounts in a social network. Wave electronics and infocommunication systems: XXIV International scientific conference. SPb.; 2021, pp. 10–17. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шамакова Екатерина Сергеевна, студентка Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационная безопасность, машинное обучение, наука о данных.

Коломойцев Владимир Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – построение информационных систем в защищенном исполнении, нормативно-правовая защита информации, оценка эффективности систем защиты информации, построение киберфизических систем.

Поступила в редакцию 08.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Shamakova Ekaterina S., Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Research interests – information security, machine learning, data science.

Kolomoitcev Vladimir S., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Security, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – design of information systems in a secure form, regulatory and legal protection of information, effectiveness of information security systems, designing cyberphysical systems.

Received 08.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Формульный метод аутентификации пользователя

Владимир Сергеевич Коломойцев¹

✉ dekoros@guap.ru, orcid.org/0000-0001-7282-033X

Евгений Станиславович Марковский¹

mes-2010@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-3918-1278

Дарья Александровна Дубровина¹

dariadub17@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5514-195X

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Изучены вопросы применения многофакторной аутентификации как метода повышения защиты данных от несанкционированного доступа в процессе их хранения и передачи. Рассмотрены наиболее популярные методы многофакторной аутентификации, выявлены их достоинства и недостатки. Предложен метод многофакторной аутентификации, лишенный части имеющихся недостатков в исследуемых методах, – формульный метод аутентификации пользователей. Метод позволяет без существенных технических изменений и увеличения нагрузки на систему проводить безопасную аутентификацию пользователей.

Ключевые слова: многофакторная аутентификация, защита информации, несанкционированный доступ, информационные системы, биометрика, пароль

Для цитирования: Коломойцев В. С., Марковский Е. С., Дубровина Д. А. Формульный метод аутентификации пользователя // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 77–83. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-77-83.

Original article

Formulaic user authentication method

Vladimir S. Kolomoitcev¹

✉ dekoros@guap.ru, orcid.org/0000-0001-7282-033X

Eugeniy S. Markovskiy¹

mes-2010@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-3918-1278

Daria A. Dubrovina¹

dariadub17@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5514-195X

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The work discusses the use of multi-factor authentication as a method of increasing data protection from unauthorized access during their storage and transmission. Several of the most popular methods of multi-factor authentication are considered and their advantages and disadvantages are revealed. A method of multi-factor authentication is proposed, which solves part of the existing shortcomings in the methods under study, – the formulaic method of user authentication. The method allows for secure authentication of users without significant technical changes and an increase in the load on the system.

Keywords: multi-factor authentication, information protection, unauthorized access, information systems, biometrics, password

For citation: Kolomoitcev V. S., Markovskiy Eu. S., Dubrovina D. A. Formulaic user authentication method. Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation. 2023;2(3):77–83. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-77-83.

Введение

В современном мире почти каждый человек повседневно пользуется различными электронными ресурсами, такими как электронная почта, социальные сети, сетевые мобильные и компьютерные приложения и т. д. Однако процесс их использования не всегда является безопасным. Сохранение данных в процессе использования электронных ресурсов является одним из наи-

более важных приоритетов в открытой сети Интернет [1].

Существуют различные виды защиты от несанкционированного доступа, которые могут снизить вероятность доступа к информации посторонними лицами к минимуму. Каждый метод защиты имеет свои преимущества и недостатки, которые также влияют на удобство использования системы, в рамках которой они применяются [1].

Зачастую защита хранимых и передаваемых данных происходит с помощью шифрования, в процессе которого используется парольная защита. Однако пользователь не всегда может создать надежный пароль для обеспечения высокого уровня безопасности, а также обеспечить правильное его использование [1].

Понятие аутентификации

Процесс доступа к информации включает в себя три ключевых процесса – аутентификацию, идентификацию и авторизацию [2].

Идентификация – это точное установление личности пользователя на основании признаков (логин). Авторизация – это процесс определения прав и ограничений для конкретного пользователя. В зависимости от предоставляемой информации о пользователе, доступ либо открывается, либо закрывается [2]. Аутентификация – это процедура проверки подлинности пользовательского идентификатора, которая позволяет удостовериться, что субъект, который хочет получить доступ к информации, является тем, за кого себя выдает. Главным из описанных процессов, в первую очередь отвечающих за обеспечение защиты данных, является процесс аутентификации. Механизмы аутентификации динамически улучшаются, поскольку постоянно совершенствуются способы несанкционированного доступа к защищаемой информации [3].

Процедура аутентификации представляет набор последовательных действий (рис. 1):

- 1) субъект инициализирует процедуру;
- 2) субъект предоставляет фактор аутентификации;
- 3) определение подлинности субъекта;
- 4) в случае подтверждения подлинности субъекту предоставляется право доступа;

5) в противном случае субъект не наделяется определенными правами.

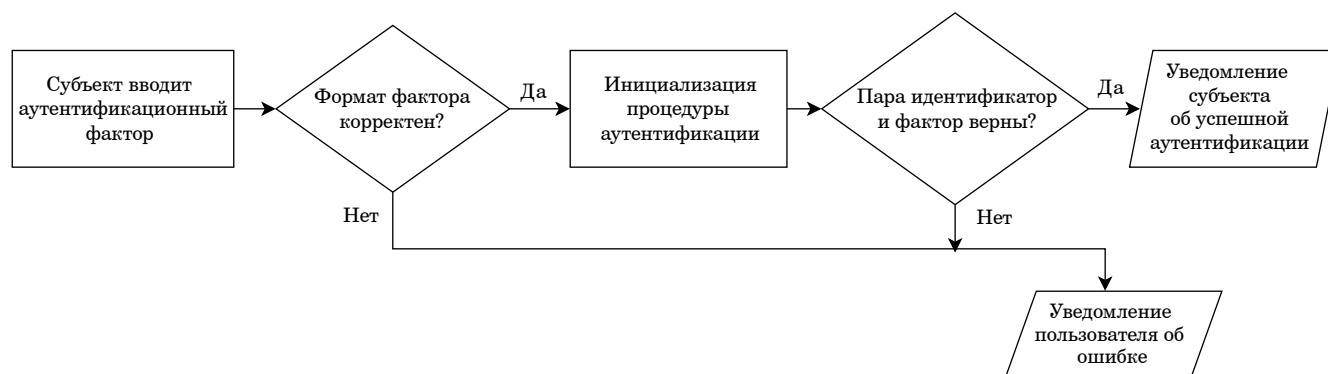
Для того, чтобы процесс аутентификации прошел успешно, следует проверить несколько факторов (признаков):

- что знает пользователь – пароль, PIN-код, кодовую фразу и т. д.;
- что есть у пользователя – идентификационная карта, токен безопасности;
- то, что является неотъемлемой частью пользователя, – биометрику.

Выделяют две общие категории методов аутентификации – однофакторную и многофакторную. При однофакторной аутентификации необходимо указать только один вид аутентификационных данных, наряду с идентификатором, например, имя и пароль. В данный момент этот метод становится менее актуальным, поскольку подобрать пароль теперь намного проще, чем ранее. Наиболее распространенной считается аутентификация по двум и более факторам, или, другими словами, многофакторная аутентификация, например, использование временного и постоянного паролей (как с одним и тем же идентификатором, так и с другим – косвенным) [4, 5]. Постоянный пароль заранее известен пользователю, а при попытке аутентификации он получает на персональное устройство код. Многофакторная аутентификация не гарантирует абсолютную защиту, но она создает один из барьеров к получению данных [3, 6].

Виды аутентификации

Рассмотрим подробнее виды многофакторной аутентификации. Одним из простейших вариантов реализации многофакторной аутентификации является SMS-аутентификация.



• Рис. 1. Процедура аутентификации
 • Fig. 1. Authentication procedure

SMS-аутентификация – способ, предполагающий генерацию одноразового пароля, полученного пользователем по SMS на его телефон (рис. 2). Сценарий осуществления аутентификации пользователем будет следующим:

- 1) ввод субъектом своего номера телефона;
- 2) номер телефона передается на сервер;
- 3) сервером генерируется временный пароль;
- 4) сервер отправляет пароль на телефон субъекта;
- 5) субъект вводит пароль;
- 6) пароль передается обратно на сервер;
- 7) сравнение сервером полученного и сгенерированного паролей;
- 8) при совпадении паролей считается, что пользователь прошел аутентификацию.

Указанный метод аутентификации получил широкое распространение благодаря своей простоте: пользователю не нужно придумывать и запоминать сложный пароль, а телефон имеется у большинства пользователей под рукой.

Однако этот метод имеет значительные недостатки, связанные с безопасностью. Было множество случаев, когда сообщение с кодом перехватывали с помощью вредоносного программного обеспечения, установленного на устройство пользователя. Злоумышленник может завладеть телефоном или SIM-картой пользователя, чего достаточно, чтобы «обойти» данный способ [7].

Другим вариантом реализации многофакторной аутентификации является использование биометрической составляющей пользователя. Аутентификация на основе биометрии предполагает проверку по физиологическим характеристикам субъекта, например, по отпечатку пальца, сетчатке глаза и т. д. Биометрия – технология, позволяющая измерять, классифицировать и сравнивать естественные, присущие каждому человеку физические характеристики [8]. При этом стоит учитывать, что указанный метод является

одним из наиболее дорогостоящих методов аутентификации.

В процессе аутентификации эталонный и предъявленный субъектом образцы сравниваются с погрешностью. Погрешность подбирается для установления соотношения двух основных характеристик:

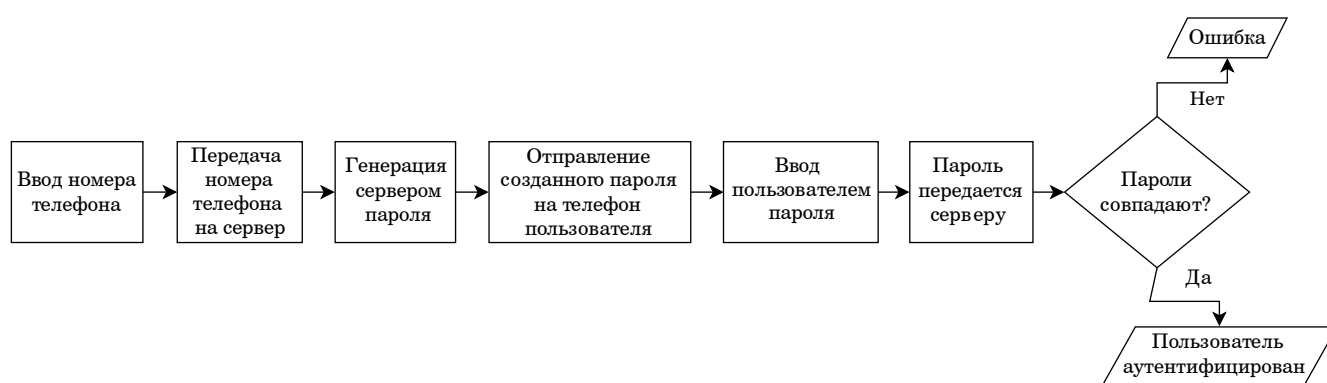
- 1) FAR (False Accept Rate) – коэффициент ложного принятия;
- 2) FRR (False Reject Rate) – коэффициент ложного отказа.

Обе характеристики получают с использованием методов математической статистики. Чем ниже эти показатели, тем точнее распознавание объекта.

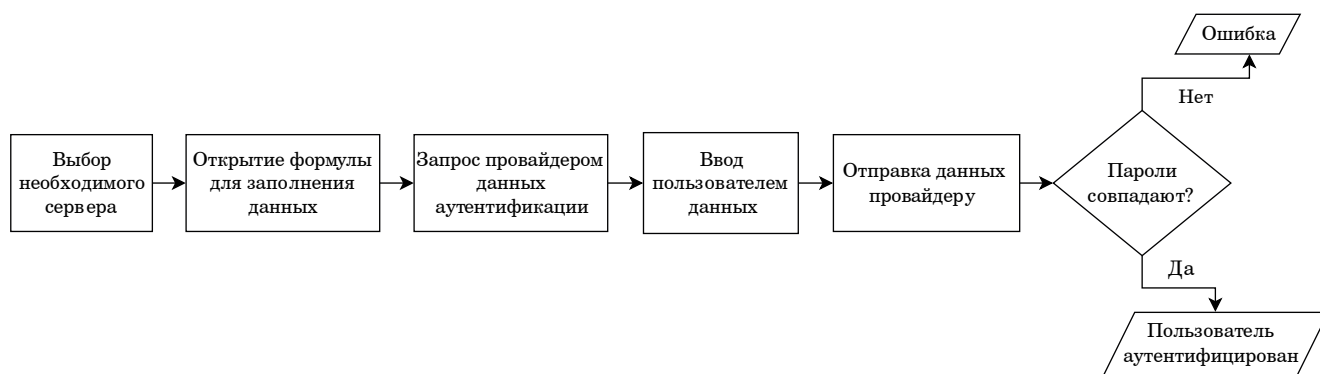
Аутентификация на основе биометрии имеет как свои достоинства, так и недостатки. Например, к достоинствам данного метода относятся надежность аутентификации, а также удобство использования, так как биометрические признаки уникальны, что сводит к минимуму ошибки при распознавании. Общий недостаток биометрической аутентификации – это необходимость в дорогостоящем оборудовании для считывания биометрических характеристик [9].

Третьим методом является аутентификация на основе OpenID. Он заключается в проверке подлинности от имени приложения через различные сервисы (рис. 3). Реализация такого вида аутентификации выглядит следующим образом:

- 1) отображается форма с возможностью выбрать необходимый сервис;
- 2) пользователь выбирает провайдера;
- 3) открывается форма для заполнения;
- 4) пользователь заполняет форму;
- 5) данные передаются провайдеру;
- 6) проверка провайдером на корректность данных, введенных пользователем;
- 7) если проверка прошла успешно, то пользователь прошел аутентификацию.



• Рис. 2. Аутентификация с помощью SMS
 • Fig. 2. SMS-authentication



• *Рис. 3. Аутентификация через OpenID*
 • *Fig. 3. Authentication via OpenID*

Аутентификация на основе OpenID имеет ряд преимуществ. Например, простота использования. Если пользователь ранее вошел в сервис, то от него не потребуются повторного подключения. Основным недостатком является то, что если злоумышленнику удалось зайти в сервис, который используется для аутентификации, то сразу все зарегистрированные сайты могут оказаться под угрозой несанкционированного доступа [10, 11].

Формульная аутентификация пользователя

Каждый из представленных методов многофакторной аутентификации обладает не только достоинствами, но и существенными недостатками. По этой причине предложим иной метод многофакторной аутентификации, который частично позволит устранить ряд ранее указанных недостатков.

Предлагаемый метод предполагает использование каждый раз при прохождении процедуры аутентификации некоторой формулы с изменяемыми параметрами (дата, время и т. д.), кото-

рую пользователь определяет при регистрации (рис. 4). Реализация процесса аутентификации включает в себя следующие этапы:

- 1) на этапе регистрации в системе субъект (пользователь) выбирает необходимую формулу из предложенных системой. Параметрами формулы являются текущая дата (или время) и (или) иное псевдослучайное числовое значение, известное как системе, так и пользователю в момент прохождения аутентификации;
- 2) в момент аутентификации сервер генерирует пароль (числовое значение), исходя из формулы, выбранной пользователем;
- 3) пользователь также производит необходимые расчеты по известной ему формуле и передает получившееся в результате расчетов числовое значение (одноразовый пароль) на сервер;
- 4) сервер сравнивает полученное от пользователя и рассчитанное сервером числовые значения;
- 5) при совпадении паролей считается, что пользователь прошел аутентификацию.

Предложенный метод позволяет решить часть проблем в исследуемых ранее видах много-



• *Рис. 4. Аутентификация пользователя с использованием формулы*
 • *Fig. 4. User authentication using a formula*

факторной аутентификации. Так, в сравнении с SMS-аутентификацией, при которой, как было отмечено, злоумышленник может завладеть телефоном или на телефон пользователя может быть поставлено вредоносное программное обеспечение, формульный метод аутентификации не предполагает использования конкретного устройства для прохождения аутентификации. Пароль, генерируемый сервером, не отправляется на какое-либо устройство.

Главным недостатком метода биометрических данных, как было сказано, является использование дорогостоящего оборудования. В предложенном методе аутентификации требований к специфичности оборудования не предъявляется.

Главной проблемой аутентификации на основе OpenID является то, что при взломе системы, использующей данный метод, все зарегистрированные сервисы могут оказаться под угрозой несанкционированного доступа. В предложенном методе такой проблемы нет, так как для разных сайтов есть возможность использовать разные формулы, и в случае, если злоумышленник вычислит одну из них, у него не получится воспользоваться этой же формулой при входе на другие ресурсы.

Метод имеет также ряд недостатков. Он менее надежен, чем биометрический метод, поскольку формула, которую выбирает пользователь, может быть легко взламываемой, а также используется тот же канал связи, что и для ввода основного пароля. Также стоит учесть, что время, затрачиваемое на процесс аутентификации с использованием указанного метода, может существенно различаться от пользователя к пользователю. Это может приводить к тому, что с целью сокращения времени на аутентификацию некоторые поль-

зователи будут выбирать более простые для вычисления формулы, тем самым, как отмечалось ранее, снижать эффективность метода.

Заключение

Угрозы, связанные с несанкционированным доступом к информации, – одни из самых распространенных в инфокоммуникационных системах. Одним из решений по снижению вероятности реализации таких угроз является использование многофакторной аутентификации пользователей системы.

В статье были рассмотрены наиболее популярные методы аутентификации, такие как SMS-аутентификация, аутентификация на основе биометрии, аутентификация на основе OpenID. Каждый из рассмотренных методов имеет свои достоинства и недостатки. Для разных сервисов, в зависимости от предъявляемых к ним требований, могут быть использованы разные варианты многофакторной аутентификации, в том числе в различных их сочетаниях.

В статье предложен метод аутентификации, благодаря которому можно снизить влияние некоторых недостатков, присущих другим видам многофакторной аутентификации. Метод предполагает использование формулы с изменяемыми параметрами как дополнительного аутентифицирующего элемента. При этом он не требует применения какого-либо специального устройства для работы, что позволяет использовать его в любых информационных системах. Однако затрачивается большое количество времени для аутентификации, а также формула может быть легко взламываемой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смит Р. Э. Аутентификация: от паролей до открытых ключей. М.: Вильямс, 2002. 432 с.
2. Chapman N., Chapman J. Authentication and authorization on the web. Edinburgh: MacAvon Media, 2012. 246 p.
3. Логиновский О. В., Коваль М. Е., Шинкарев А. А. Применение метода идеальной точки для поиска наилучшего способа аутентификации в корпоративных информационных системах // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2022. Т. 22, № 3. С. 5–18. Doi: 10.14529/ctcr220301.
4. Ometov A., Bezzateev S., Koucheryavy Y. Multi-factor authentication: a survey // Cryptography. 2018. № 2. P. 4–10. Doi: 10.3390/cryptography2010001.
5. Lakshmi C. Three-factor authentication for fortified login to ensure privacy preservation and improved security // International journal of applied engineering research. 2018. № 13. P. 183–190. Doi: 10.32628/IJSRSET218324.
6. Digital authentication guide. Authentication and lifecycle management // NIST special publication 800-63B. Doi: 10.6028/NIST.SP.800-63b. URL: <https://pages.nist.gov/800-63-3/sp800-63b.html> (дата обращения: 15.12.2022).
7. Ryu G., Kim S.-H., Choi D. Implicit secondary authentication for sustainable SMS authentication // Sustainability. 2019. Vol. 11, № 1. P. 1–14. Doi: 10.3390/su11010279.
8. Исследование и сравнительный анализ методов аутентификации / Л. Е. Мартынова, М. Ю. Умницын, К. Е. Назарова, И. П. Пересыпкин // Молодой ученый. 2016. № 19 (123). С. 90–93.

9. Юсупов А. Р. Сравнительный анализ возможности использования технологий биометрической идентификации // Молодой ученый. 2016. № 19 (123). С. 90–93.
10. OpenID connect as a security service in cloud-based diagnostic imaging systems / W. Ma [et al.] // Proceedings of SPIE. Vol. 9418. Medical imaging – 2015: PACS and imaging informatics: Next generation and innovations. 2015. P. 1–10. Doi: 10.1117/12.2082519.
11. Khan R., Ylitalo J., Ahmed A. OpenID authentication as a service in OpenStack // 7th Int. Conf. Information assurance and security (IAS). Melacca, 2011. P. 372–377. Doi: 10.1109/ISIAS.2011.6122782.

REFERENCES

1. Smith R. E. Authentication: from passwords to public keys. Moscow: Williams; 2002. 432 p. (In Russ.).
2. Chapman N., Chapman J. Authentication and authorization on the web. Edinburgh: MacAvon Media; 2012. 246 p.
3. Loginovskiy O. V., Koval M. E., Shinkarev A. A. Using the ideal point method to search the best authentication method in corporate information systems. Bulletin of the South Ural State University. Ser.: Computer technologies, automatic control, radio electronics. 2022;22(3):5–18. (In Russ.). Doi: 10.14529/ctcr220301.
4. Ometov A., Bezzateev S., Koucheryavy Y. Multi-factor authentication: a survey. Cryptography. 2018;(2):4–10. Doi: 10.3390/cryptography2010001.
5. Lakshmi C. Three-factor authentication for fortified login to ensure privacy preservation and improved security. International journal of applied engineering research. 2018;(13):183–190. Doi: 10.32628/IJSRSET218324.
6. Digital authentication guide. Authentication and lifecycle management // NIST Special Publication 800-63B. Doi: 10.6028/NIST.SP.800-63b. Available from: <https://pages.nist.gov/800-63-3/sp800-63b.html> [Accessed 15 December 2022].
7. Gwonsang R., Kim S., Choi D. Implicit secondary authentication for sustainable SMS authentication // Sustainability. 2019;11(1)1–14. Doi: 10.3390/su11010279.
8. Martynova L. E., Umnitsyn M. Y., Nazarova K. E., Peresyppkin I. P. Research and comparative analysis of authentication methods. Young scientist. 2016;(19(123)):90–93. (In Russ.).
9. Yusupov A. R. Comparative analysis of the possibility of using biometric identification technologies. Young scientist. 2016;(19(123)):118–123. (In Russ.).
10. Ma W., Sartipi K., Sharghi H. et al. OpenID connect as a security service in cloud-based diagnostic imaging systems. Proceedings of SPIE. Vol. 9418. Medical imaging – 2015: PACS and imaging informatics: Next generation and innovations. 2015, pp. 1–10. Doi: 10.1117/12.2082519.
11. Khan R., Ylitalo J., Ahmed A. OpenID authentication as a service in OpenStack. 7th Int. Conf. Information Assurance and Security (IAS). Melacca. 2011, pp. 372–377. Doi: 10.1109/ISIAS.2011.6122782.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Коломойцев Владимир Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – построение информационных систем в защищенном исполнении, нормативно-правовая защита информации, оценка эффективности систем защиты информации, построение киберфизических систем.

Марковский Евгений Станиславович, студент кафедры информационной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – методы аутентификации, оценка эффективности систем защиты информации.

Kolomoitcev Vladimir S., PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Security, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – design of information systems in a secure form, regulatory and legal protection of information, effectiveness of information security systems, designing cyberphysical systems.

Markovskiy Eugeniyy S., Student at the Department of Information Security, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – authentication methods, evaluation of the effectiveness of information security systems.

Дубровина Дарья Александровна, студентка кафедры информационной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – методы аутентификации, оценка эффективности систем защиты информации.

Поступила в редакцию 08.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Dubrovina Daria A., Student at the Department of Information Security, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – authentication methods, evaluation of the effectiveness of information security systems.

Received 08.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Моделирование работы следящего электропривода с учетом температуры окружающей среды

Юрий Михайлович Крылов¹

✉ cryloff.yury2018@yandex.ru, orcid.org/ 0000-0001-5138-0419

Александр Александрович Агапов¹

alex0894080418@yandex.ru, orcid.org/ 0000-0002-6881-4129

Александр Михайлович Литвиненко¹

litamix11@gmail.com orcid.org /0000-0001-7878-9388

¹ Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. Рассматривается влияние температуры окружающей среды на динамические свойства следящего электропривода.

Ключевые слова: математическое моделирование, электродвигатель, динамические характеристики

Для цитирования: Крылов Ю. М., Агапов А. А., Литвиненко А. М. Моделирование работы следящего электропривода с учетом температуры окружающей среды // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 84–90. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-84-90.

Original article

Modeling of the operation of a tracking electric drive taking into account the ambient temperature

Yuri M. Krylov¹

✉ cryloff.yury2018@yandex.ru, orcid.org/ 0000-0001-5138-0419

Alexander A. Agapov¹

alex0894080418@yandex.ru, orcid.org /0000-0002-6881-4129

Alexander M. Litvinenko¹

litamix11@gmail.com orcid.org /0000-0001-7878-9388

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

Abstract. The influence of ambient temperature on the dynamic properties of a tracking electric drive is considered.

Keywords: mathematical modeling, electric motor, dynamic characteristics

For citation: Krylov Yu. M., Agapov A. A., Litvinenko A. M. Modeling of the operation of a tracking electric drive taking into account the ambient temperature. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):84–90. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-84-90.

Введение

На сегодняшний день следящие электроприводы получили поистине небывалое развитие. Применение разветвленных адаптивных алгоритмов работы вкупе с многокомпонентной аппаратной частью вывели данные системы на совершенно новый уровень. По своей сути следящий электропривод представляет собой сложносоставные динамические системы, включающие в себя целые группы устройств, имеющих различные характеристики и назначение, но, тем не менее, работающие согласованно в составе единого объекта. Необходимо отметить, что раз-

работка такого рода систем требует учета целого ряда различных факторов, которые впоследствии и будут определять допустимые пределы функционирования комплекса, в результате чего требуется еще на этапе первичной конструкторской проработки оценить возможности системы при воздействии тех или иных факторов внешнего воздействия.

К наиболее важным параметрам следящих электроприводов можно отнести такие параметры, как амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики (АЧХ и ФЧХ). Данные характеристики определяют реакцию всей системы на различные внешние факторы, т. е.

эффективность применения следящего электропривода.

При воздействии на систему внешних факторов, в том числе случайных, носящих единичный характер, в структуре электропривода могут образовываться дополнительные стохастические составляющие различного амплитудно-частотного спектра с недетерминированностью процессов, нарушающих работу основного контура системы и влекущих за собой выход из строя всего объекта. Например, в авиационной технике данные случаи недопустимы, поэтому для повышения эффективности системы по факторам функционирования необходимо обеспечивать нечувствительность структуры к различного рода флуктуациям, а также вводить резервирование всех элементов электропривода [1, 2].

Так как нами была упомянута авиационная техника, рассмотрим на ее примере влияние температуры окружающей среды на работу электропривода.

В современном обществе широко применяется авиационная техника, так как она зачастую является единственным способом доставки ресурсов в отдаленные труднодоступные районы, находящиеся как в условиях Крайнего Севера с температурой, достигающей $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, так и в пустынях с температурой $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более. Соответственно, происходит значительный разброс характеристик электропривода.

Однако с точки зрения возможностей компенсации указанных возмущений программным способом необходимо провести комплексный анализ влияния температуры окружающей среды на динамические характеристики электропривода [3, 4].

Целями исследования являются анализ воздействия температурных воздействий на динамические характеристики следящих электроприводов, а также формирование основных рекомендаций по построению стабильной системы управления с учетом исследованных особенностей работы структуры в целом [5].

Материал и методы исследования

Система автоматического регулирования (САР) построена на основе классических принципов управления угловым положением по отклонению. Отклонение действительного значения угла поворота выходного вала от требуемого измеряется с помощью датчиков рассогласования между преобразованным в цифровой код аналоговым сигналом задания угла и сигналом обратной связи от потенциометрического датчика. Ошибка по

положению через основной регулятор положения, устройство дополнительной коррекции и преобразователь – цифровой код-ШИМ (широтно-импульсной модуляции) – поступает на усилитель мощности и обрабатывается исполнительным электродвигателем в сочетании с управляемой электромагнитной муфтой, которая через редуктор поворачивает выходной вал электропривода и датчик обратной связи в соответствии с задающим сигналом [6–9].

С учетом вышеизложенного для дальнейшего исследования принята схема исполнительного следящего рулевого электропривода, которая показана на рис. 1.

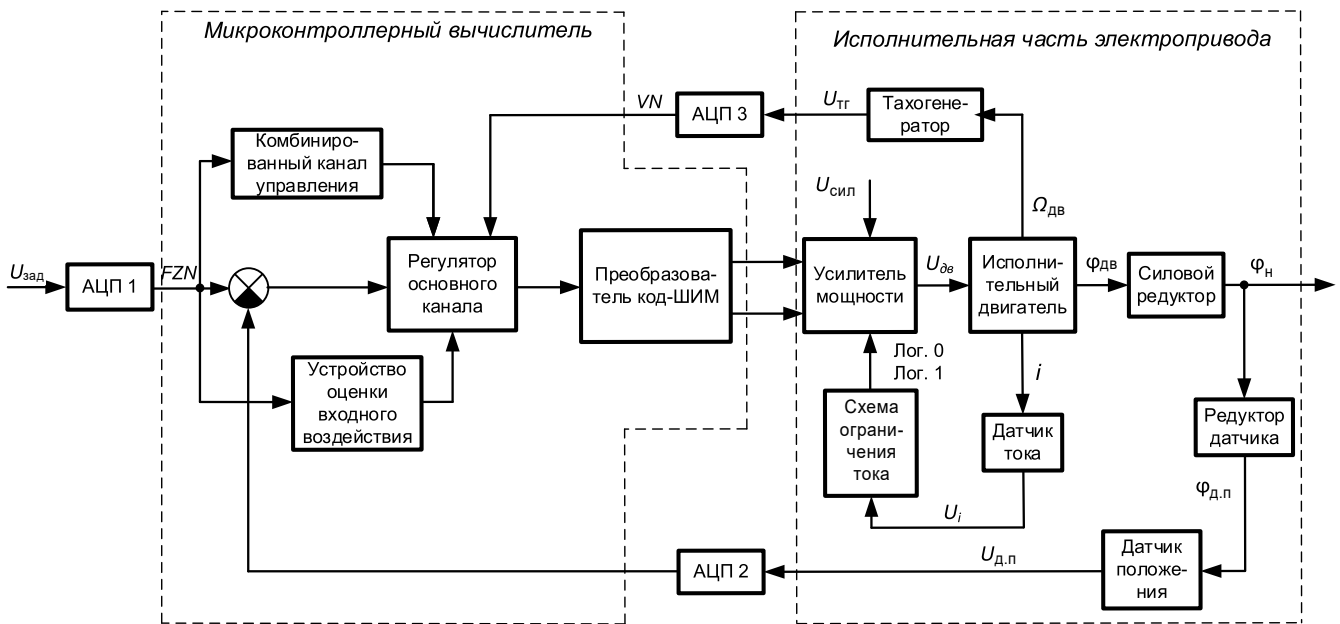
На рис. 2 приведена математическая модель исполнительных звеньев электропривода в комплексе математического моделирования MatLab. Исполнительные звенья предназначены для определения поведения исследуемой системы при влиянии различных внешних параметрических возмущений и факторов. Входным управляющим воздействием при моделировании данной системы является сигнал различной частоты, амплитуды и формы, подаваемый как в аналоговой форме, так и в цифровом виде.

Питание системы находится в диапазоне $40\text{...}70\text{ В}$ при базовом питающем сигнале 60 В . Такого рода граничные условия вводят ограничение на функционирование объекта и позволяют оценить возможность работы комплекса при самых неблагоприятных сценариях [10].

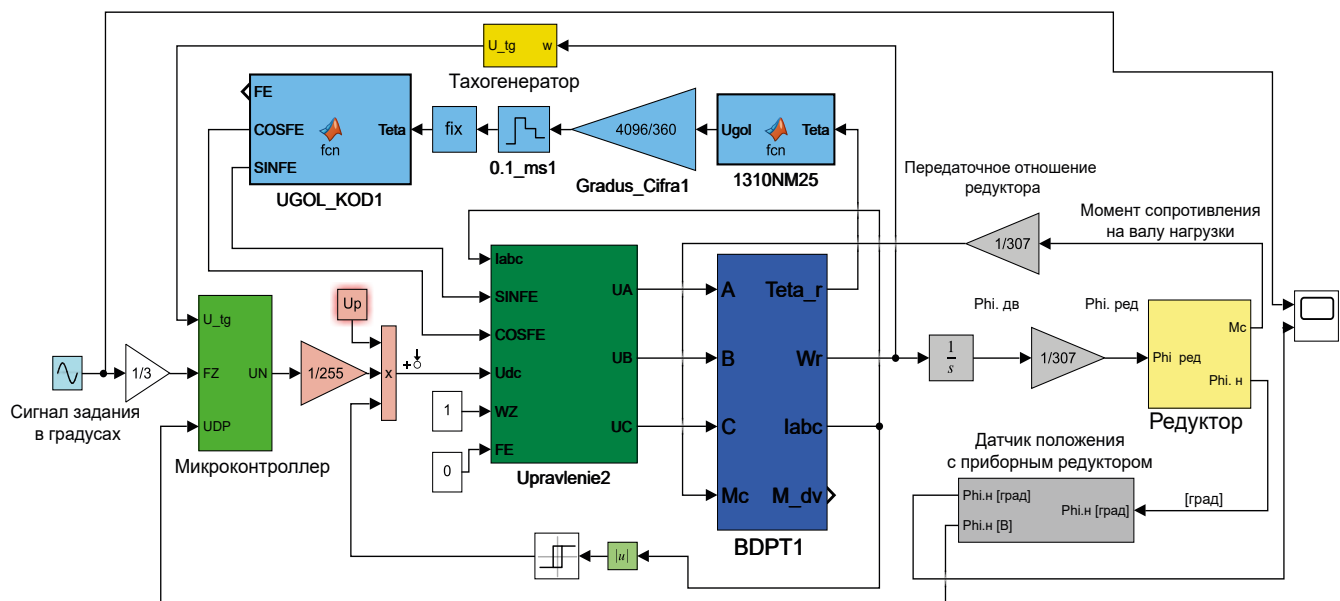
В процессе работы электропривод должен выполнять перемещение выходного звена с заданной точностью и скоростью, независимо от различных параметрических неопределенностей.

Математическая модель электродвигателя показана на рис. 3.

Параметры электрической машины в зависимости от температуры могут изменяться, зачастую в довольно широких пределах, что необходимо учитывать в системах, работающих при значительных температурных перепадах [11, 12]. Значительное влияние перепады температуры оказывают на обмотку электрической машины. К примеру, обмотка, выполненная из медного провода, при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет удельное сопротивление $0,0172\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, также в различных справочниках можно встретить значения до $0,018\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ – такая величина удельного сопротивления относится к электротехнической меди, которая имеет специальную обработку. Например, отжиг после вытягивания («волоочения») проволоки уменьшает удельное сопротивление меди на несколько процентов, хотя проводится он, в первую очередь, для изменения механических, а не электрических свойств.



• Рис. 1. Схема следящего рулевого электропривода
 • Fig. 1. Diagram of the tracking steering electric drive



• Рис. 2. Математическая модель исполнительных звеньев электропривода
 • Fig. 2. Mathematical model of the executive links of the electric drive

Согласно (1), а также принимая во внимание, что температурный коэффициент меди α ориентировочно равен $0,004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, можно рассчитать удельное сопротивление медного провода:

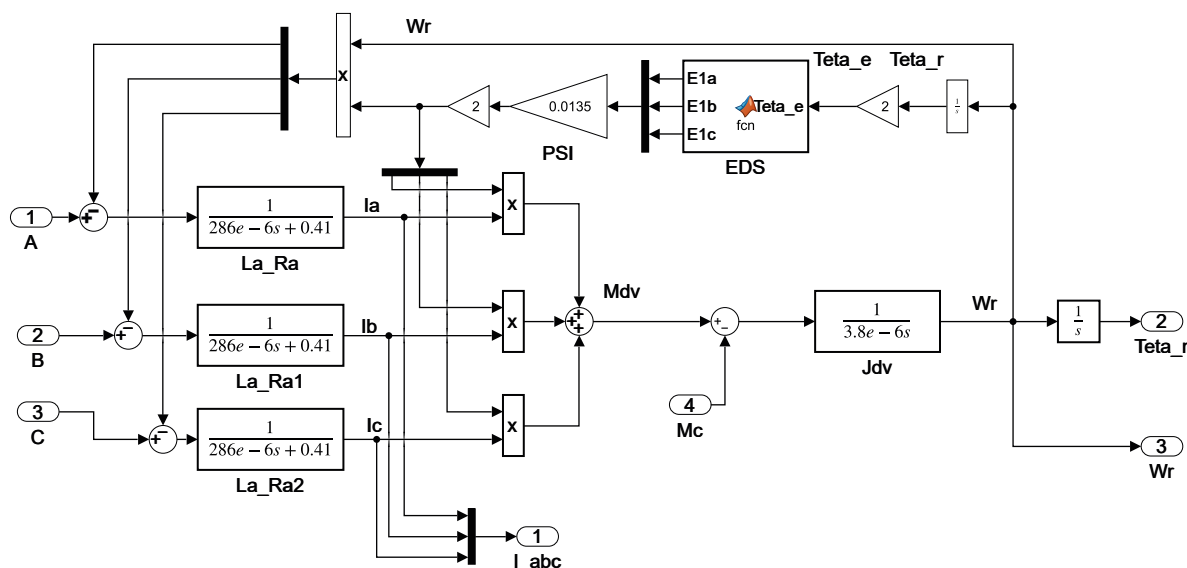
$$\rho_{t2} = \rho_{t1} (1 + \alpha (t_2 - t_1)), \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление при определенной температуре; α – температурный коэффициент

удельного сопротивления для данного материала;

$$\begin{aligned} \rho_{100} &= 0,0172 \cdot (1 + 0,004 \cdot (100 - 20)) = \\ &= 0,023 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}. \end{aligned}$$

Согласно проведенному расчету, удельное сопротивление меди увеличилось на 34 %.



• Рис. 3. Математическая модель электродвигателя
 • Fig. 3. Mathematical model of the electric motor

Также воздействие перепадов температуры может повлиять на величину магнитного потока магнита индуктора исполнительного двигателя. Хотя современные редкоземельные магниты имеют достаточно высокую температурную стабильность, даже в условиях радиационного нагрева они также подвержены изменению параметров при воздействии перепадов температур [13, 14].

Экспериментально установлено, для используемого в матмодели бесконтактного исполнительного электродвигателя при пониженной температуре окружающей среды сопротивление обмотки уменьшается на 33 % (0,67 R), а коэффициенты противо-ЭДС (Ce) и момента (Cm) увеличиваются на 10 % (1,1 Cm; 1,1 Ce), при этом электромагнитная постоянная времени (Tя) также увеличивается вдвое (2 Tя). В свою очередь, при воздействии повышенной температуры среды сопротивление обмотки двигателя увеличивается на 40 % (1,4 R), коэффициенты противо-ЭДС и момента уменьшаются на 12 % (0,88 Cm; 0,88 Ce), а электромагнитная постоянная времени также уменьшается вдвое (0,5 Tя).

Результаты исследования и их обсуждение

Проведено моделирование электропривода при температуре в -60 и +100 °C при отработке синусоидального воздействия амплитудой 3° и 0,3°. Данные климатические условия создаются при помощи изменения параметров двигателя, описанных выше.

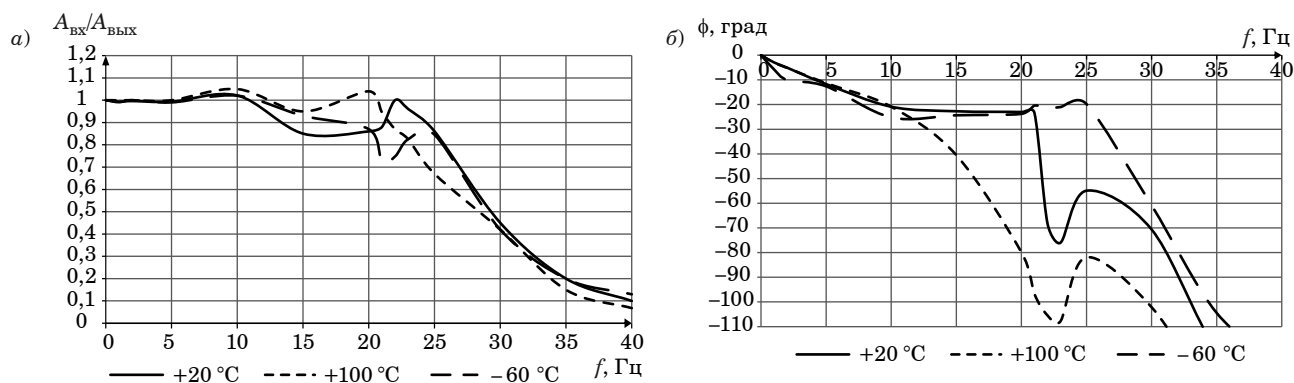
В ходе моделирования были сняты осциллограммы отработки синусоидальных воздействий

на частотах 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 Гц. На основе полученных осциллограмм построены АЧХ- и ФЧХ-характеристики, предназначенные для определения реакции системы на внешние параметрические возмущения и определения запасов устойчивости электропривода [17, 18].

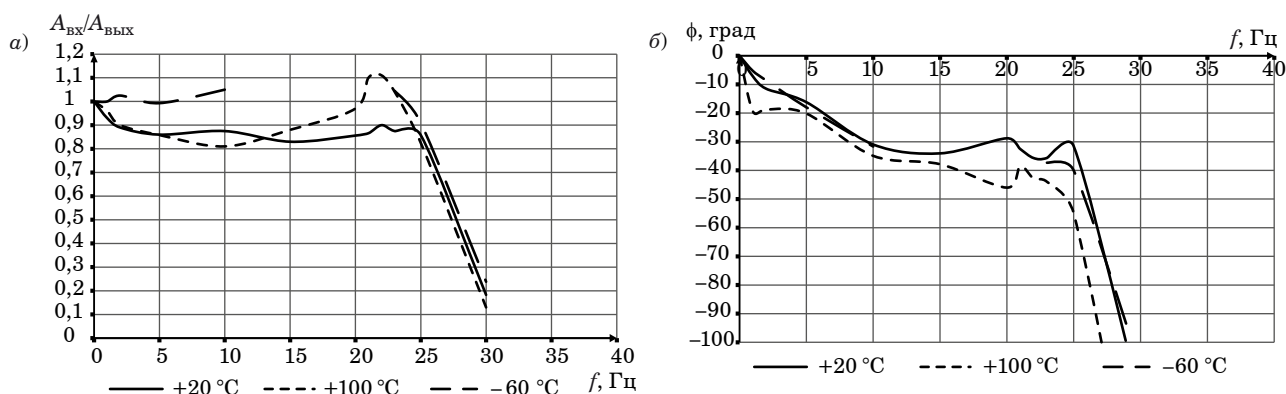
В качестве примера на рис. 4; 5 приведены АЧХ- и ФЧХ-характеристики электропривода при изменении параметров исполнительного электродвигателя в зависимости от температуры окружающей среды. Сплошной линией показана система с фактическими значениями исполнительного электродвигателя, полученными экспериментально, а пунктирной линией – система с измененными параметрами, полученными в ходе расчета и экспериментов.

Для системы с амплитудой входного воздействия 3° (рис. 4) АЧХ в диапазоне частот от 10 до 30 Гц имеют расхождение. Полоса пропускания по уровню -3 дБ составляет 23 Гц для характеристики +100 °C, 26 Гц для характеристик +20 и -60 °C. ФЧХ в диапазоне частот от 10 до конца измерительного отрезка имеют расхождение. Фазовое запаздывание для характеристики +100 °C на частоте 10 Гц составило -22°, для характеристики +20 °C на частоте 21 Гц составило -22° и -20°, соответственно, для характеристики -60 °C на частоте 25 Гц. Фазовое запаздывание на частоте пропускания составило для +20 °C -57°; для +100 °C было равно -100°; для -60 °C было равно -2929°.

Для системы с амплитудой входного воздействия 0,3° (рис. 5) АЧХ-характеристики для системы -60 °C в диапазоне частот от 10 до 23 Гц имеют резонансные явления. Полоса пропускания по уров-



• *Рис. 4. АЧХ- (а) и ФЧХ-характеристики (б) под влиянием температуры окружающей среды с амплитудой входного сигнала 3°*
 • *Fig. 4. Amplitude frequency response- (a) and phasefrequency response-characteristics (b) under the influence of ambient temperature with an input signal amplitude of 3°*



• *Рис. 5. АЧХ (а) и ФЧХ-характеристики (б) под влиянием температуры окружающей среды с амплитудой входного сигнала 0,3°*
 • *Fig. 5. Amplitude frequency response- (a) and phasefrequency response-characteristics (b) under the influence of ambient temperature with an input signal amplitude of 0.3°*

ню -3 дБ составляет 26 Гц для характеристик +20, +100 и -60 °С. ФЧХ-характеристики -60 °С в диапазоне частот от 10 до 23 Гц имеют резонансные явления. Частота среза для характеристики +100 °С составила 23 Гц при фазовом запаздывании -44°; для характеристики +20 °С на частоте 25 Гц -30° и -40°, соответственно, для характеристики -60 °С на частоте 25 Гц. Фазовое запаздывание на частоте пропускания (20 Гц) составило для +20 °С -40°; для +100 °С было равно -63°; для -60 °С было равно -53°.

Заключение

Исполнительный элемент электропривода имеет крайне важное значение, так как в большинстве случаев именно он определяет массогабаритные, прочностные и энергетические показатели всего электропривода.

Нами проведено исследование влияния температурных воздействий на динамические харак-

теристики электропривода с целью определения влияния тех или иных параметров исполнительного элемента на работу электропривода в целом и для компенсации данных неопределенностей при разработке алгоритмов управления программными или аппаратными средствами.

Из всех элементов исполнительного механизма наиболее подверженным температурным воздействиям является исполнительный электродвигатель: в частности, при изменении температуры меняются сопротивление обмоток, электромагнитные постоянные, а также коэффициенты противо-ЭДС и момента.

Результаты моделирования показали, что изменение параметров исполнительного двигателя ведет к значительному разбросу частотных характеристик, что отрицательно сказывается на работе электропривода, вплоть до неработоспособности системы. Поэтому необходимо разработать ряд мер для уменьшения влияния данных температурных факторов на электропривод.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Воронин С. Г.* Электропривод летательных аппаратов: учеб.-метод. комплекс. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 171 с.
2. *Беляев Б. М.* Современные методы проектирования следящих систем и регуляторов: учеб. пособие. Л.: СЗПИ, 1985. 80 с.
3. *Изерман Р.* Цифровые системы управления / пер. с англ. М.: Мир, 1984. 541 с.: ил.
4. *Бесекерский В. А.* Цифровые автоматические системы. М.: Наука, 1976. 576 с.
5. *Смирнова В. И., Петров Ю. А., Разинцев В. И.* Основы проектирования и расчета следящих систем: учеб. для техникумов. М.: Машиностроение, 1983. 295 с.: ил.
6. *Овсянников Е. М.* Электрический привод: учебник. М.: ФОРУМ, 2011. 224 с.
7. *Чемоданов Б. К.* Следящие приводы: в 2 кн. Кн. 1. М.: Энергия, 1976. 480 с.
8. *Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г.* Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-е. 1982. 392 с.
9. *Крылов Ю. М., Агапов А. А., Литвиненко А. М.* Исследование и математическое моделирование следящих электроприводов с учетом конструктивных особенностей исполнительного механизма // Вестн. ЛГТУ. 2021. № 3. С. 23–30.
10. *Герман-Галкин С. Г.* Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учеб. пособие. СПб.: КОРОНА принт, 2001. 320 с.
11. *Зайцев Г. Ф.* Синтез следящих систем высокой точности. Киев: Техника, 1971. 191 с.
12. Справочник конструктора точного приборостроения / Г. А. Верховин [и др.]; под общ. ред. К. Н. Явленского, Б. П. Тимофеева, Е. Е. Чаадаевой. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1989. 791 с.
13. *Тимофеев Б. П., Сачков М. Ю.* Передаточные механизмы приводов. СПб.: ИТМО, 2015. 103 с.
14. Патент РФ № 2399017 МПК⁷ F 42В 15/01. Следящий рулевой электропривод / А. В. Булатов, А. С. Гончаров, В. В. Романов, С. М. Миронов, А. И. Попов; ЗАО «НИИ механотроники-АЛЬФА-НЦ», г. Воронеж. Опубл. 10.09.2010. Бюл. 25.
15. *Хлыпало Е. И.* Расчет и проектирование нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах. Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-е, 1982. 272 с.
16. Теория систем с переменной структурой / под ред. С. В. Емельянова. М.: Наука, 1970. 592 с.
17. *Квакернаак Х., Сиван Р.* Линейные оптимальные системы управления. М.: Мир, 1977. 650 с.
18. Проектирование следящих систем / Л. В. Рабинович [и др.]. М.: Машиностроение, 1969. 498 с.

REFERENCES

1. Voronin S. G. Electric drive of aircraft: educational and methodical complex. Chelyabinsk: SUSU Publishing House; 2006. 171 p. (In Russ.).
2. Belyaev B. M. Modern methods of design of tracking systems and regulators: textbook. Leningrad: SZPI; 1985. 80 p. (In Russ.).
3. Izerman R. Digital control systems; translated from English. Moscow: Mir; 1984. 541 p. (In Russ.).
4. Besekersky V. A. Digital automatic systems. Moscow: Nauka; 1976. 576 p. (In Russ.).
5. Smirnova V. I., Petrov Yu. A., Razintsev V. I. Fundamentals of design and calculation of tracking systems: textbook for technical schools. Moscow: Mashinostroenie; 1983. 295 p. (In Russ.).
6. Ovsyannikov E. M. Electric drive: textbook. Moscow: FORUM; 2011. 224 p. (In Russ.).
7. Suitcases B. K. Tracking drives: in 2 books. Book 1. Moscow: Energy; 1976. 480 p. (In Russ.).
8. Basharin A. V., Novikov V. A., Sokolovsky G. G. Control of electric drives: textbook. Handbook for universities. Leningrad: Energoatomizdat, Leningr. otd-nie; 1982. 392 p. (In Russ.).
9. Krylov Yu. M., Agapov A. A., Litvinenko A. M. Research and mathematical modeling of tracking electric drives taking into account the design features of the actuator. Bulletin of LGTU. 2021;(3):23–30. (In Russ.).
10. Herman-Galkin S. G. Computer modeling of semiconductor systems in MATLAB 6.0: textbook. SPb.: KORONA print; 2001. 320 p. (In Russ.).
11. Zaitsev G. F. Synthesis of high-precision tracking systems. Kiev: Technika; 1971. 191 s. (In Russ.).
12. Verkhovyn G. A., Goloveshkin E. N., Golubkov V. A. et al. Handbook of the designer of precision instrumentation; eds by K. N. Yavlensky, B. P. Timofeev, E. E. Chaadaeva. Leningrad: Mechanical engineering, Leningr. otd-nie, 1989. 791 p. (In Russ.).
13. Timofeev B. P., Sachkov M. Yu. Transmission mechanisms of drives. SPb.: ITMO University, 2015. 103 p. (In Russ.).

14. Bulatov A. V., Goncharov A. S., Romanov V. V., Mironov S. M., Popov A. I. Patent RF no. 2399017 MPK7 F 42B 15/01. Tracking steering electric drive; CJSC "Research Institute of Mechatronics-ALFA-NC". Voronezh. 2010. Byul. 25. (In Russ.).
15. Khlypalo E. I. Calculation and design of nonlinear corrective devices in automatic systems. Leningrad: Energoizdat, Leningr. otd-nie, 1982. 272 p. (In Russ.).
16. Theory of systems with variable structure; eds by S. V. Emelyanov. Moscow: Nauka; 1970. 592 p. (In Russ.).
17. Kvakernaak H., Sivan R. Linear optimal control systems. Moscow: Mir; 1977. 650 p. (In Russ.).
18. Rabinovich L. V., Petrov B. I., Terskov V. G. et al. Design of tracking systems. Moscow: Mashinostroenie; 1969. 498 p. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Крылов Юрий Михайлович, аспирант кафедры электропривода, автоматике и управления в технических системах Воронежского государственного технического университета.

Область научных интересов – математическое моделирование, программирование микроконтроллеров, схемотехническая реализация электроприводов.

Агапов Александр Александрович, аспирант кафедры электропривода, автоматике и управления в технических системах Воронежского государственного технического университета.

Область научных интересов – разработка электродвигателей, математическое моделирование.

Литвиненко Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электропривода, автоматике и управления в технических системах Воронежского государственного технического университета.

Область научных интересов – математическое моделирование электроприводов, разработка электродвигателей.

Krylov Yuri M., Postgraduate Student at the Department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems, Voronezh State Technical University.

Research interests – mathematical modeling, programming of microcontrollers, circuit design of electric drives.

Agapov Alexander A., Postgraduate Student at the Department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems, Voronezh State Technical University.

Research interests – development of electric motors, mathematical modeling.

Litvinenko Alexander M., D. Sc. in Technical Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Electric Drive, Automation and Control in Technical Systems, Voronezh State Technical University.

Research interests – mathematical modeling of electric drives, development of electric motors.

Поступила в редакцию 08.02.2023

Поступила после рецензирования 15.02.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 08.02.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 30.03.2023

Подходы к организации производства конкурентоспособной электронной продукции с учетом типа организационной структуры и технологических возможностей предприятия

Иван Алексеевич Иванов¹

✉ greentem@yandex.ru

Геннадий Иванович Коршунов¹

kgi@pantes.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Предложены апробированные на предприятии среднего бизнеса подходы к созданию структуры, обеспечивающей гибкое и своевременное управление технологическими и другими ресурсами. Для обеспечения конкурентоспособности электронной и приборной продукции использованы оптимизационные модели Парето и Нэша. Эти модели оптимизируют выбор заказчика, распределение ресурсов в условиях неполной определенности, равные условия конкурентоспособности всех видов продукции и услуг. Приведенная ретроспектива структур от малого до среднего бизнеса получена на основе опыта и не затрагивает известные типы структур.

Ключевые слова: структура, средний бизнес, электронная продукция, конкурентоспособность, оптимизация

Для цитирования: Иванов И. А., Коршунов Г. И. Подходы к организации производства конкурентоспособной электронной продукции с учетом типа организационной структуры и технологических возможностей предприятия // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2, № 3. С. 91–96. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-91-96.

Original article

Approaches to organizing the production of competitive electronic products, taking into account the type of organizational structure and technological capabilities of the enterprise

Ivan A. Ivanov¹

✉ greentem@yandex.ru

Gennady I. Korshunov¹

kgi@pantes.ru

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. Approved at a medium-sized enterprise, approaches to creating a structure that provides flexible and timely management of technological and other resources are proposed. Pareto and Nash optimization models were used to ensure the competitiveness of electronic and instrumentation products. These models optimize the choice of the customer, the distribution of resources in conditions of incomplete certainty, equal conditions for the competitiveness of all types of products and services. This retrospective of SME structures is based on experience and does not use known types of structures.

Keywords: structure, medium business, electronic products, competitiveness, optimization

For citation: Ivanov I. A., Korshunov G. I. Approaches to organizing the production of competitive electronic products, taking into account the type of organizational structure and technological capabilities of the enterprise. *Innovacionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*. 2023;2(3):91–96. (In Russ.). DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-91-96.

Введение

Вопросы повышения качества и конкурентоспособности продукция и услуг в области производства электроники остаются актуальными для всех отраслей. Для производства электронных продуктов необходимо создать и совместить различные этапы производственного процесса. Эти

этапы могут проходить в рамках одного предприятия, а могут представлять собой цепь, где для создания конечного продукта нужно пройти через ряд предприятий и каждое производство выполняет свою функцию. Вопросы обеспечения качества на этапах, предшествующих производству, рассмотрены в [1, 2]. Как и в любом бизнесе, в контрактном производстве существует конку-

ренция. На российском рынке присутствует несколько десятков компаний, предоставляющих услуги в данной сфере. С развитием этой области таких компаний становится больше, что приводит к усилению конкурентной борьбы.

Цель статьи – сформулировать подходы к созданию конкурентоспособного производства на основе полноценной, адаптированной к особенностям предприятия структуры, Парето-оптимального управления и обеспечения равновесного по Нэшу уровня конкурентоспособности продукции и услуг.

Следует отметить, что нами использован термин «подходы», так как особенностями среднего бизнеса являются постоянное творческое развитие и адаптация, а не известные рекомендации. Такие рекомендации и другие нормативные документы по выбору типа структуры [3], методам организации и оптимизации [4] не носят обязательного характера, и их полное или частичное использование зависит от особенностей конкретного предприятия. Реальная деятельность не ограничивается приведенными методами оптимизации и требует отдельного рассмотрения для единичного, мелко- и крупносерийного производства.

Развитие организационной структуры

Нами будет рассмотрено производственное предприятие, прошедшее развитие от малого до среднего бизнеса [5]. Предложенные подходы обеспечили определенный коммерческий успех и достижение высоких результатов за счет целенаправленного и эффективного развития. Реализация подходов может быть осуществлена на аналогичных предприятиях с разработкой соответствующих методик.

На начальном этапе существования компании была сформирована небольшая организация по контрактному производству электроники с численность около 10–15 человек и с определенной структурой (рис. 1).

В рамках конкретного предприятия для данного периода характерны следующие особенности:

- большое число различных обязанностей у каждого сотрудника;
- необходимость найма новых сотрудников вследствие увеличения числа задач;
- высокая скорость принятия управленческих решений;
- поиск заказчиков руководителем;
- малое число клиентов для успешного функционирования;
- ручное производство;
- малая численность сотрудников, до одного человека в некоторых отделах.

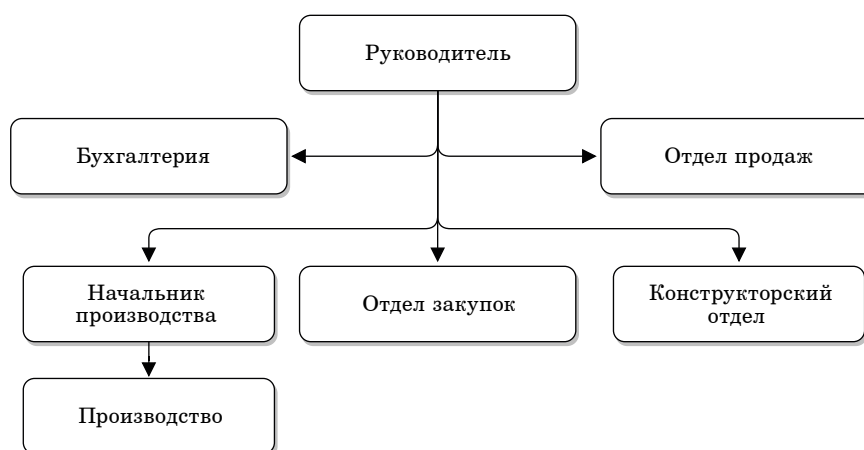
На момент формирования малого бизнеса у организации уже существовали конкуренты, предлагающие большую скорость, качество и разнообразие предлагаемых услуг. Однако, в силу особенностей, основной доход удавалось получить за счет работы с небольшим числом клиентов и выполнения мелких заказов. Все это позволило начать денежный оборот, который привел к получению первых денежных ресурсов, использованных для дальнейшего развития.

Происходит формирование первых автоматизированных процессов за счет внедрения базы данных – формирование первой CRM-системы. Идет постепенное расширение персонала с появлением новых отделов, дополняющих организационную структуру, – появляются руководители отделов (рис. 2).

Последующее развитие предполагает внедрение автоматизации на производство путем закупки первого автоматизированного оборудования – автомата-установщика, печи оплавления, трафаретного принтера. Данная техника позволяет экономить определенное количество времени при выполнении производственных процессов, но ей требуется оператор. Однако за счет этого растет и общая производительность предприятия, и, как следствие, увеличивается денежный оборот. Появляется необходимость в новых клиентах из-за высоких производственных мощностей, вследствие чего формируется отдел маркетинга. Параллельно с этим, для поддержания качества продукции, формируется отдел технического контроля, а из-за увеличения числа сотрудников



• Рис. 1. Организационная структура малого бизнеса
 • Fig. 1. Organizational structure of small business



• *Рис. 2. Организационная структура малого бизнеса на переходной стадии развития*
 • *Fig. 2. Organizational structure of small business at the transitional stage of development*

в некоторых отделах также появляются начальники (рис. 3).

С увеличением денежных и людских ресурсов появляются новые возможности:

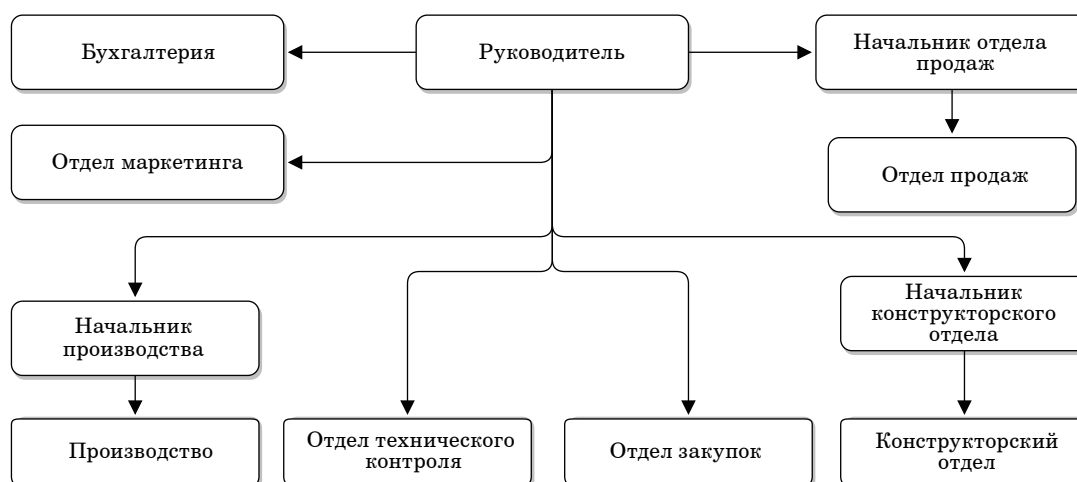
- вводится полноценная автоматическая линия производства;
- разрабатывается и сертифицируется система менеджмента качества;
- создается технологическая служба;
- значительно увеличивается численность персонала, появляются отдел кадров, руководители в каждом отделе организации;
- появляется новый элемент структуры – заместитель генерального директора – вследствие увеличения масштабов всей организации;
- расширяется набор предоставляемых услуг;
- формируется отдел планирования из-за значительного увеличения числа заказов;

– появляются возможности для внутреннего обучения сотрудников с целью снижения числа ошибок (рис. 4).

Методы и модели повышения результативности и оптимизации производства

Эффективное взаимодействие всех элементов структуры позволяет сосредоточиться на реализации принципов, которые положительно сказываются на общей эффективности предприятия. Нами не охвачены все аспекты деятельности предприятия, акцент сделан на обеспечение конкурентоспособности продукции и услуг для заказчиков.

Множество заказчиков представлено множеством $\{C_i\}$, где $0 \leq i \leq n$. Учитывая, что каждый i -й



• *Рис. 3. Организационная структура формирующегося среднего бизнеса*
 • *Fig. 3. Organizational structure of the emerging medium-sized business*



• Рис. 4. Организационная структура среднего бизнеса
 • Fig. 4. Organizational structure of medium-sized businesses

заказчик потенциально принесет прибыль, рассчитаем прибыль по методике расчета чистого приведенного дохода и составим приоритетный ряд:

$$C_1 > C_2 > \dots > C_n.$$

В соответствии с принципом Парето [6], организация получает больший процент своей прибыли с нескольких заказчиков, которые составляют лишь малый процент от общего числа клиентов.

С 20 % клиентов получаем 80 % прибыли. Эти 20 % представляют собой первую группу, которой дается особый приоритет. В первую очередь, вся деятельность должна быть ориентирована именно на них.

Следующая группа заказчиков – около 30 % клиентской базы, и приносит она 15 % от всей прибыли. Они также являются важными для компании и требуют к себе внимания. Работа с данной группой куда меньше влияет на общую прибыль, однако ценность этих клиентов заключается в потенциальной возможности перейти в первую группу. Для развития и существования в долгосрочной перспективе предприятию важно уметь эффективно работать и со второй группой потребителей.

Третья группа представляет собой, условно, половину клиентской базы, приносящей 5 % от общей прибыли. Ресурсы организации выделяются

на данную группу в последнюю очередь. Среди них могут быть клиенты, которые могут перейти во вторую группу или принести какую-либо нематериальную выгоду – опыт или рекламу.

Организация, грамотно распределяющая свои ресурсы за счет расстановки приоритетов с помощью данного метода, значительно повысит свою эффективность и, как следствие, конкурентоспособность.

Данный подход является стратегией организации – достижение качества за счет эффективного распределения ресурсов.

В условиях импортозамещения, проблем логистики и других видов неопределенности предложено применение Парето-оптимального распределения ресурсов [7]. Это означает, что для каждого заказчика из $\{C_j\}$, где $0 \leq i \leq j$, ни один вид ресурса не может быть улучшен без ухудшения какого-либо другого показателя. Это можно продемонстрировать на примере, когда комплектующие элементы не поставлены в срок, и, следовательно, производственные или иные ресурсы могут быть использованы для другого заказа без ущерба сторон.

Следующим принципом, который реализуется на предприятии, является равновесие Нэша [8]. Конкурентоспособность производства электроники необходимо поддерживать для всех видов продукции и услуг. В условиях оптимизации по Нэшу ни один из заказов не может получить больше ресурсов, решая это в одностороннем по-

рядке. Это противоречит стратегии конкурентоспособности всей продукции.

Основная идея оптимизации по Нэшу заключается в том, что если один из участников начнет менять свою стратегию с целью выигрыша, то и другие участники тоже начнут это делать, чтобы не остаться в проигрыше, и, как следствие, никто не выиграет.

Организация применяет данный метод с целью, скорее, не проиграть, чем победить. Существуют различные способы ведения конкурентной борьбы, которые напрямую влияют на итоговый для потребителя продукт на рынке. В рамках здоровой конкуренции все участники стремятся победить за счет своих внутренних возможностей: предложить качество, цену или же скорость по реализации товара или услуги. В конечном итоге, потребитель будет иметь большое количество различных предложений на рынке. В альтернативном варианте, где борьба осуществляется за счет различных действий, направленных на ухудшение работоспособности конкурентов, потребитель будет иметь меньшее количество вариантов.

Соответственно, в рамках принципа Нэша предприятие стремится поддерживать здоровую конкуренцию за счет негласных правил и положительных взаимоотношений с конкурентами. Примером может послужить то, что фирма не использует «горячие звонки» в адрес тех клиентов, которые уже работают с конкурентами. Разумеется, заказчик может прийти к организации, если его что-то не устраивает в конкуренте, но это будет уже ошибка самого конкурента, а не какие-либо действия со стороны предприя-

тия. Использование концепции Нэша позволило правильно взаимодействовать с конкурентами, вследствие чего на рынке поддерживается определенное равновесие, где все могут остаться в выигрыше.

Заключение

Развитие рынка электронной продукции порождает конкуренцию, которая вынуждает организации корректно подходить к вопросу конкурентоспособности предприятия. Сформированная структура, представленная в статье, развивалась с течением времени и формировалась под конкретные особенности предприятия. Ее использование позволило эффективно распределять ресурсы для достижения высокого качества производства. Понимание и реализация закона Парето позволяют четко и корректно сформировать приоритеты, которые позволили добиться высокой результативности. Использование вышеперечисленных пунктов дало возможность сформировать высокоэффективное производство, которое выигрывает конкурентную борьбу за счет скорости и качества производства. Реализация принципа Нэша дает возможность поддерживать определенные взаимоотношения с конкурентами, способствующие формированию здоровой конкуренции, где все могут достичь определенных результатов. Реальная практика не ограничивается приведенными методами оптимизации и требует отдельного рассмотрения для единичного, мелко- и крупносерийного производства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Korshunov G. I., Zaicev P. S., Petrushevskaya A. A. Methods and algorithms of technological preparation for organizing automatic surface mount of printed circuit boards // Journal of physics conference series. 2019. № 3. P. 033076. Doi: 10.1088/1742-6596/1399/3/033076.
2. Сольницыв Р. И., Коршунов Г. И. Об инструментарии проектирования и производства киберфизических систем // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 6 (108). С. 102–107.
3. Быкова А. Организационные структуры управления. М.: ОЛМА-ПРЕСС Инвест, 2003. С. 22–59.
4. Управление качеством процессов и продукции: в 3 кн. Кн. 2: Инструменты и методы менеджмента качества процессов в производственной, коммерческой и образовательной сферах: учеб. пособие / С. В. Пономарев [и др.]; под ред. д-ра техн. наук, проф. С. В. Пономарева. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. С. 78–161.
5. Компания «ПАНТЕС» – крупнейший российский производитель высокотехнологичной электроники. URL: <https://www.pantes.ru/> (дата обращения: 03.02.2023).
6. Кох Р. Принцип 80/20 / пер. с англ. М.: Эксмо, 2012. 443 с.
7. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 256 с.
8. Nash J. F. The bargaining problem // Econometrica. 1950. Vol. 18, № 2. P. 155–162.

REFERENCES

1. Korshunov G. I., Zaicev P. S., Petrushevskaya A. A. Methods and algorithms of technological preparation for organizing automatic surface mount of printed circuit boards. *Journal of physics conference series*. 2019;(3):033076. Doi: 10.1088/1742-6596/1399/3/033076.
2. Solnitsev R. I., Korshunov G. I. On the tools for designing and manufacturing cyber-physical systems. *Science and business: ways of development*. 2020;(6(108)):102–107. (In Russ.).
3. Bykova A. Organizational management structures. Moscow: OLMA-PRESS Invest; 2003, pp. 22–59. (In Russ.).
4. Quality management of processes and products: in 3 books. Book 2: Tools and methods of process quality management in industrial, commercial and educational spheres: textbook / S. V. Ponomarev, G. A. Neighbors, E. S. Mishchenko et al.; eds by Dr. Tech. of Sciences, prof. S. V. Ponomareva. Tambov: Publishing House of FSBEI HPE “TSTU”, 2012, pp. 78–161. (In Russ.).
5. The PANTES company is the largest Russian manufacturer of high-tech electronics. URL: <https://www.pantes.ru/> [Accessed 03 February 2023].
6. Koch R. The 80/20 Principle; trans. from English. Moscow: Eksmo; 2012. 443 p. (In Russ.).
7. Podinovskiy V. V., Nogin V. D. Pareto-optimal solutions of multicriteria problems. Moscow: Nauka; 1982. 256 p. (In Russ.).
8. Nash J. F. The bargaining problem. *Econometrica*. 1950;18(2):155–162.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Иванов Иван Алексеевич, магистрант кафедры бизнес-информатики и менеджмента Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – организация производства, управление качеством.

Коршунов Геннадий Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – организация производства, управление качеством, киберфизические системы.

Ivanov Ivan A., Master Student at the Department of Business Informatics and Management, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – organization of production, quality management.

Korshunov Gennady I., D. Sc. in Technical Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests – organization of production, quality management, cyberphysical systems.

Поступила в редакцию 03.03.2023

Поступила после рецензирования 09.03.2023

Принята к публикации 30.03.2023

Received 03.03.2023

Revised 09.03.2023

Accepted 30.03.2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Епифанцев К. В., Ефремов П. Ю. Исследование влияния скорости трассировки на точность измерения шероховатости профилометром SurfTest SJ-410..... 5

Комаров Т. И., Чабаненко А. В. Автоматизация системы поисковой оптимизации веб-ресурса..... 12

**Чупринова О. В., Степашкина А. С.,
Помазан Е. В.** Метод машинного зрения для контроля качества продукции..... 17

РАДИОТЕХНИКА, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

**Солёный С. В., Воропаев И. А.,
Профирко Е. А.** Анализ платформ для обучения основам информационной безопасности 21

Солёная О. Я., Стекленёв А. Ю. Сравнительный анализ программного обеспечения, применяемого для решения электроэнергетических задач..... 28

Куприянов М. С., Левина А. Б. Вопросы безопасности интеллектуальных систем..... 36

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Буйчик Д. Д., Солёная О. Я. Анализ состояния рынка искусственного интеллекта в России 41

Лач С. Ю., Солёный С. В. Концепция робототехнической системы для диагностики электрических машин при ремонте и техническом обслуживании..... 48

**Бобрышов Д. П., Романенко В. В.,
Кузьменко Ю. П., Кузьменко В. П.,
Солёный С. В.** Исследование способов применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательной и промышленной областях..... 54

CONTENTS

INSTRUMENTATION, METROLOGY, STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT

Epifancev K. V., Efremov N. Yu. Investigation of the effect of tracing speed on the accuracy of roughness measurement profilometer SurfTest SJ-410 5

Komarov T. I., Chabanenko A. V. Automation of the system of search engine optimization of a web resource..... 12

**Chuprinova O. V., Stepashkina A. S.,
Pomazan E. V.** Machine vision method for product quality control..... 17

RADIO ENGINEERING, INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES AND COMMUNICATION SYSTEMS

Solyonyj S. V., Voropaev I. A., Prozhirko E. A. Analysis of the platform for teaching the basics of information security 21

Solenaya O. Ya., Steklenev A. Yu. Comparative analysis of software for electrical power tasks 28

Kupriyanov M. S., Levina A. B. Security issues of intelligent systems 36

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Buichik D. D., Solenaya O. Ya. The analysis of the state of the artificial intelligence market in Russia 41

Lach S. Yu., Solyonyj S. V. The concept of a robotic system for diagnosing electrical machines during repair and maintenance 48

**Bobryshov D. P., Romanenko V. V.,
Kuzmenko Yu. P., Kuzmenko V. P., Solyonyj S. V.** Research of ways of using virtual and augmented reality technology in educational and industrial fields..... 54

.....

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ
И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Плехов П. В., Кудрева А. Р., Гусев А. А. Формальная идентификация периодических явлений в числовых рядах.....	62
Варламова С. А., Вавилина Е. А. Идентификация пользователя на основе клавиатурного почерка.....	67
Шамакова Е. С., Коломойцев В. С. Метод голосовой идентификации диктора.....	72
Коломойцев В. С., Марковский Е. С., Дубровина Д. А. Формульный метод аутентификации пользователя.....	77
Крылов Ю. М., Агапов А. А., Литвиненко А. М. Моделирование работы следящего электропривода с учетом температуры окружающей среды.....	84
Иванов И. А., Коршунов Г. И. Подходы к организации производства конкурентоспособной электронной продукции с учетом типа организационной структуры и технологических возможностей предприятия.....	91

FUNDAMENTAL SCIENCES AND APPLIED RESEARCH

Plekhov P. V., Kudreva A. R., Gusev A. A. Formal identification of periodic oscillations in numeral series.....	62
Varlamova S. A., Vavilina E. A. User identification based on keypad handwriting	67
Shamakova E. S., Kolomoitcev V. S. The method of voice identification of the speaker	72
Kolomoitcev V. S., Markovskiy E. S., Dubrovina D. A. Formulaic user authentication method.....	77
Krylov Yu. M., Agapov A. A., Litvinenko A. M. Modeling of the operation of a tracking electric drive taking into account the ambient temperature.....	84
Ivanov I. A., Korshunov G. I. Approaches to organizing the production of competitive electronic products, taking into account the type of organizational structure and technological capabilities of the enterprise.....	91